

SISTEMAS OPERATIVOS

Capítulo 1. Conceptos Hardware

Sistema operativo

2

- Aprovecha los recursos del hardware de uno o más procesadores
- Proporciona una serie de servicios a los usuarios del sistema
- Controla la memoria secundaria y los dispositivos de E/S

Elementos básicos

3

- Procesador
- Memoria principal
 - ▣ volátil
 - ▣ también denominada memoria real o memoria primaria
- Módulos de E/S
 - ▣ dispositivos de memoria secundaria
 - ▣ equipos de comunicaciones
 - ▣ terminales
- Bus del sistema
 - ▣ Comunicación entre los procesadores, la memoria principal y los módulos de E/S

Procesador

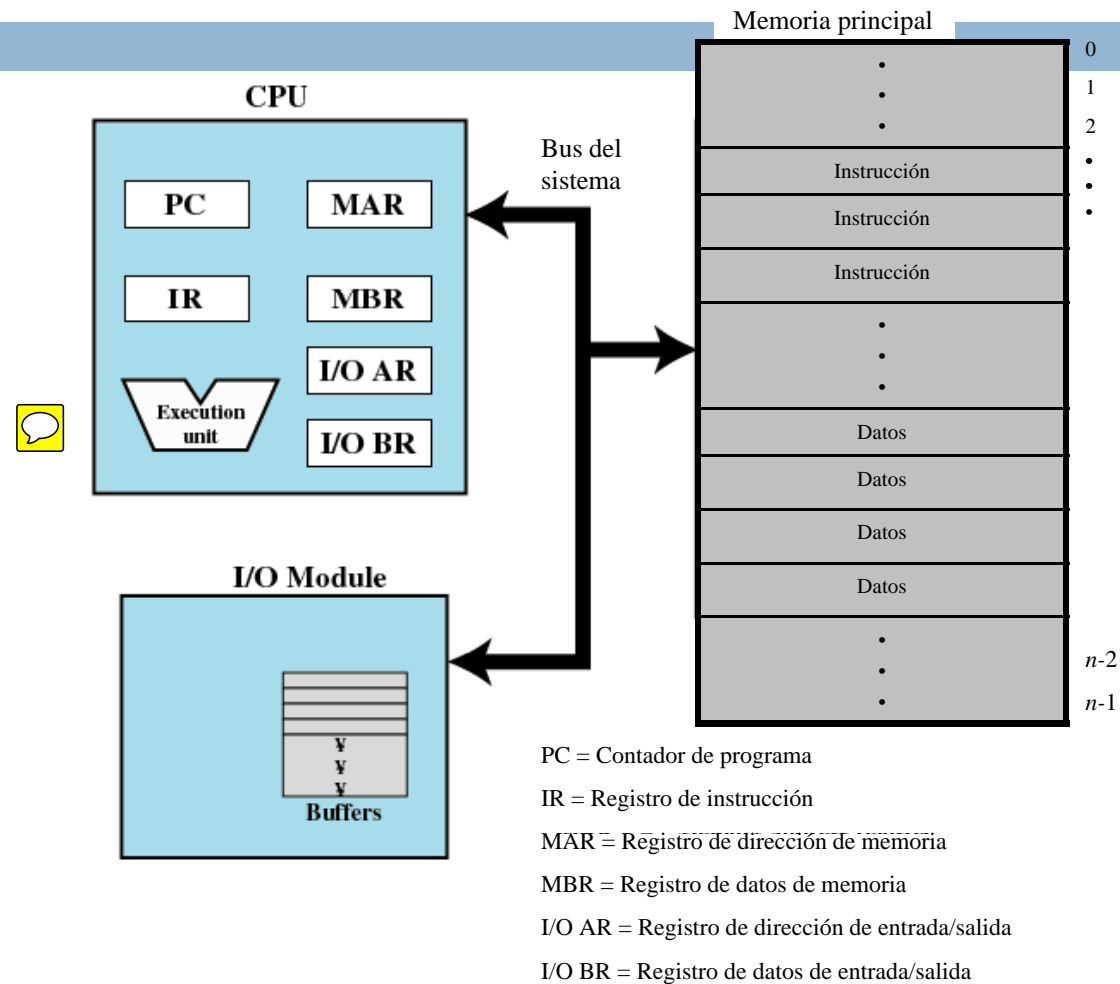
4

□ Dos registros internos

- Registro de dirección de memoria [RDIM o MAR (*Memory Address Register*)]
 - Especifica la dirección para la próxima lectura o escritura
- Registro de datos de memoria [RDAM o MBR (*Memory Buffer Register*)]
 - Contiene datos escritos en la memoria o recibe datos leídos de la memoria
- Registro de dirección de E/S
- Registro de datos de E/S

Componentes de alto nivel

5



-Componentes de un computador: visión de alto nivel

Registros del procesador

6

- Registros visibles para el usuario
 - ▣ Permiten al programador minimizar las referencias a la memoria principal optimizando el uso de registros
- Registros de control y estado
 - ▣ Usados por el procesador para controlar su operación
 - ▣ Usados por rutinas privilegiadas del sistema operativo para controlar la ejecución de programas

Registros visibles para el usuario

7

- Se puede acceder a él mediante el lenguaje de máquina
- Disponible para todos los programas: programas de aplicación y programas de sistema
- Tipos de registros
 - ▣ de datos
 - ▣ de dirección
 - Índice
 - Puntero de segmento
 - Puntero de pila

Registros visibles para el usuario

8

□ Registros de dirección

▣ Índice

- Implica añadir un índice a un valor de base para obtener una dirección

▣ Puntero de segmento

- Cuando la memoria se divide en segmentos, la referencia de memoria consta de un segmento y un desplazamiento

▣ Puntero de pila

- Apunta a la cima de la pila

Registros de control y estado

9

- Contador de programa (*Program Counter, PC*)
 - ▣ Contiene la dirección de la próxima instrucción
- Registro de instrucción (*Instruction Register, IR*)
 - ▣ Contiene la última instrucción
- Palabra de estado del programa (*Program Status Word, PSW*)
 - ▣ Códigos de condición
 - ▣ Habilitador/inhabilitador de interrupciones
 - ▣ Supervisor/modo usuario

Registros de control y estado

10

- Códigos de condición o indicadores
 - ▣ Bits asignados por el hardware del procesador como resultado de operaciones
 - ▣ Ejemplos
 - Resultado positivo
 - Resultado negativo
 - Cero
 - Desbordamiento

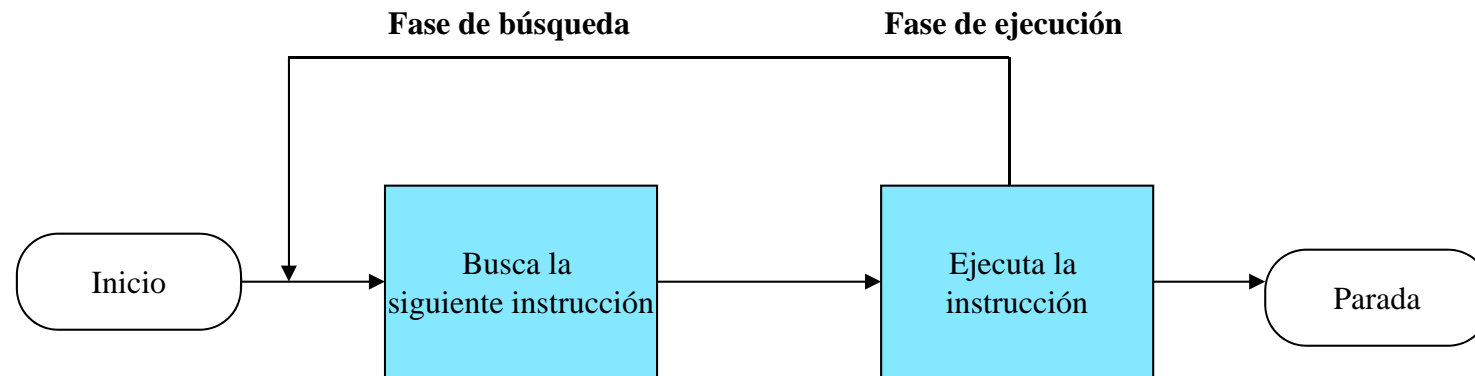
Ejecución de instrucciones

11

- Dos pasos
 - ▣ El procesador lee las instrucciones de la memoria
 - Búsquedas
 - ▣ El procesador ejecuta cada una de las instrucciones

Ciclo de instrucción

12



Ciclo de instrucción básico

Búsqueda y ejecución de una instrucción

13

- El procesador busca la instrucción en la memoria
- El contador de programa (PC) almacena la dirección de la siguiente instrucción que se va a leer
- El contador de programa se incrementa después de cada instrucción

Registro de instrucción

14

- La instrucción leída se carga dentro del registro de instrucción
- Categorías
 - ▣ Procesador-memoria
 - Datos transmitidos entre el procesador y la memoria
 - ▣ Procesador-E/S
 - Datos transmitidos a o desde un dispositivo periférico
 - Procesamiento de datos
 - Operaciones aritméticas o lógicas sobre los datos
 - ▣ Control
 - Alteración de la secuencia de ejecución

Acceso directo a memoria (*Direct Memory Access, DMA*)

15

- Los intercambios de E/S se producen directamente con la memoria
- El procesador concede a un módulo de E/S la autorización para leer o escribir en la memoria
- Libera al procesador de la responsabilidad del intercambio

Interrupciones

16

- Interrupción del secuenciamiento normal del procesador
- La mayoría de los dispositivos de E/S son más lentos que el procesador
 - ▣ El procesador debe parar y esperar al dispositivo

Clases de interrupciones

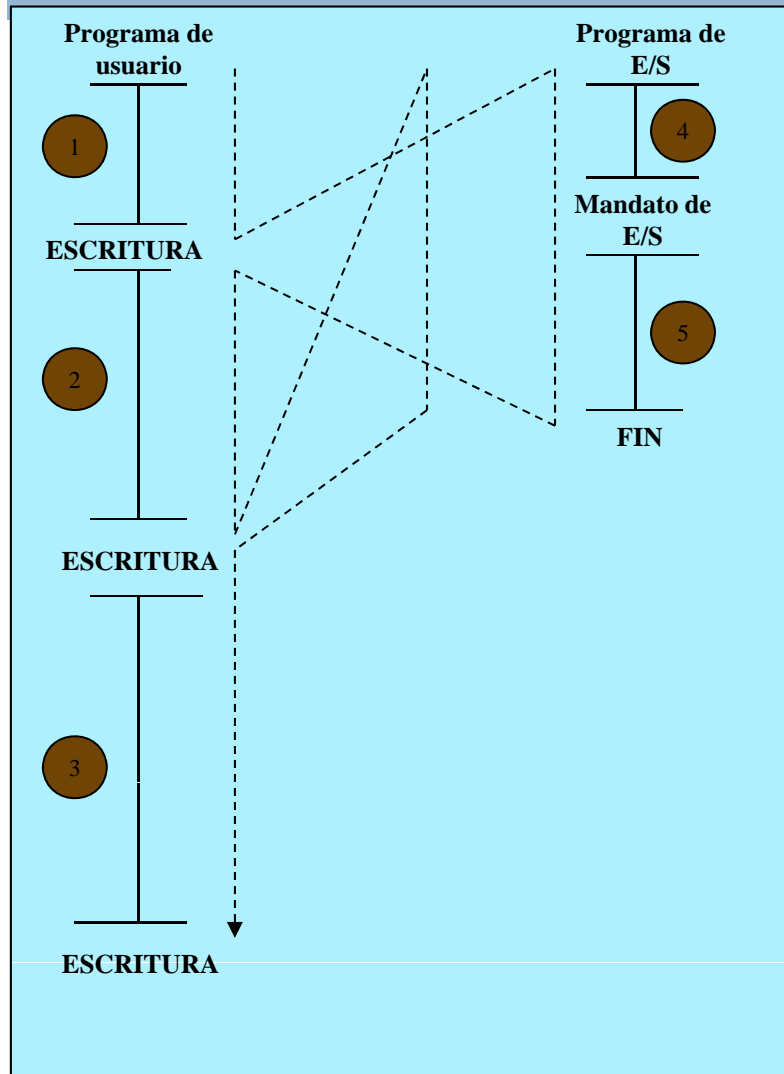
17



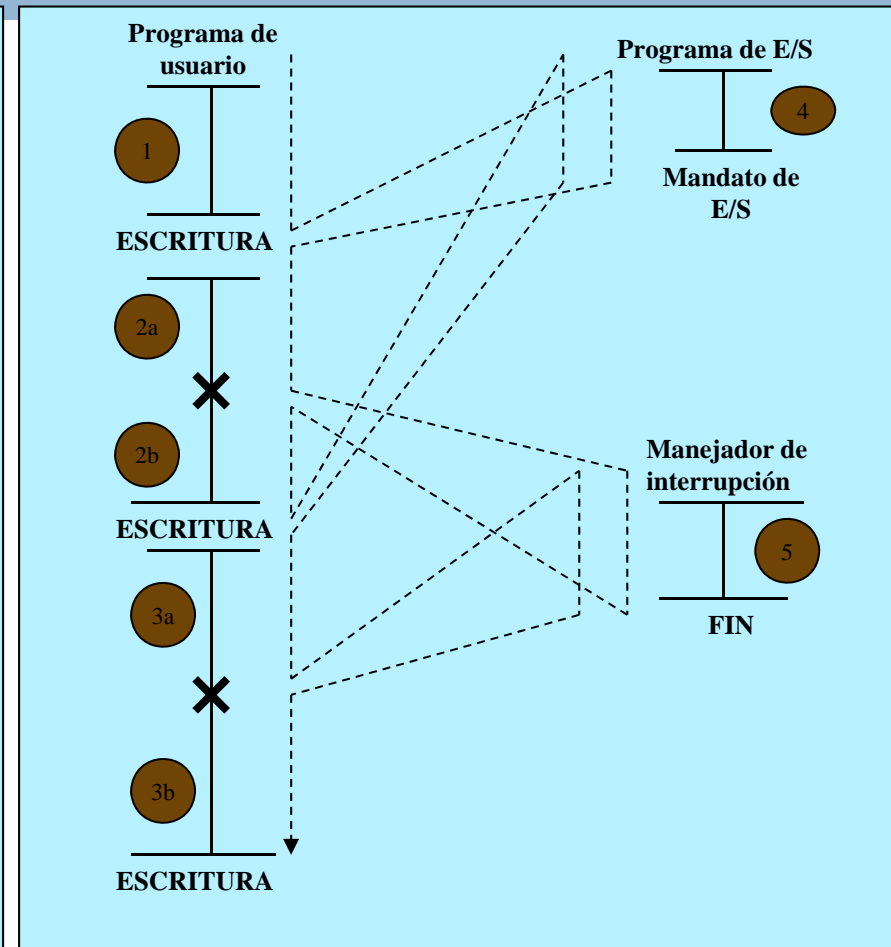
De programa	Generada por alguna condición que se produce como resultado de la ejecución de una instrucción, tales como un desbordamiento aritmético, una división por cero, un intento de ejecutar una instrucción de máquina ilegal y las referencias fuera del espacio de la memoria permitido para un usuario.
Por temporizador	Generada por un temporizador del procesador. Permite al sistema operativo realizar ciertas funciones de forma regular.
De E/S	Generada por un controlador de E/S para señalar la conclusión normal de una operación o para indicar diversas condiciones de error.
Por fallo del hardware	Generada por un fallo, como un fallo en el suministro de energía o un error de paridad en la memoria.

Flujo de programa del control con/sin interrupciones

18



(a) Sin interrupciones



(b) Interrupciones; espera de E/S breve

Manejador de interrupción

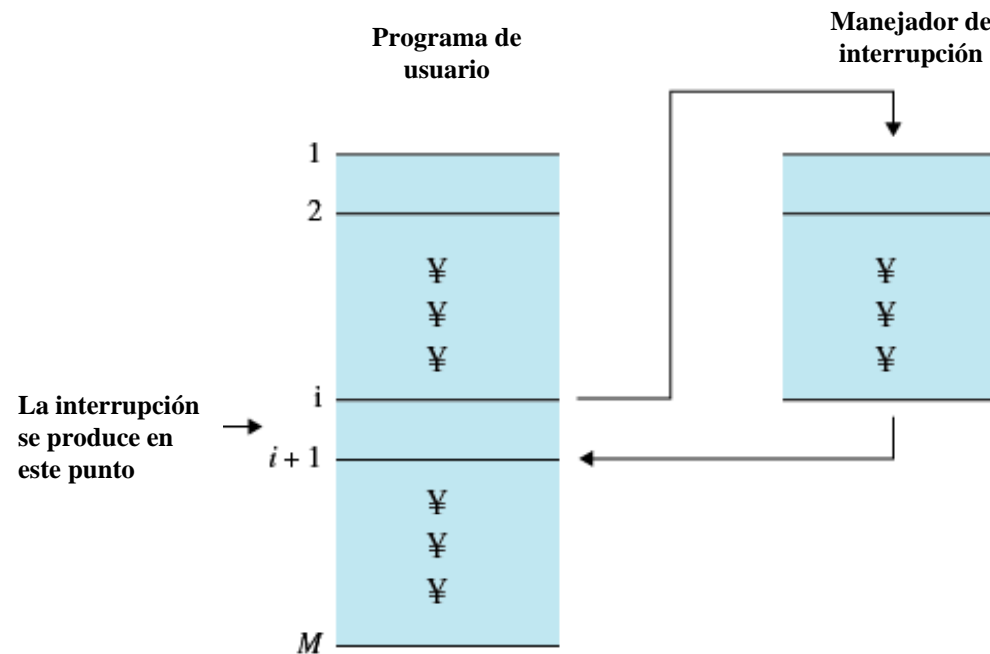
19

- Programa para revisar un dispositivo de E/S determinado
- Generalmente parte del sistema operativo

Interrupciones

20

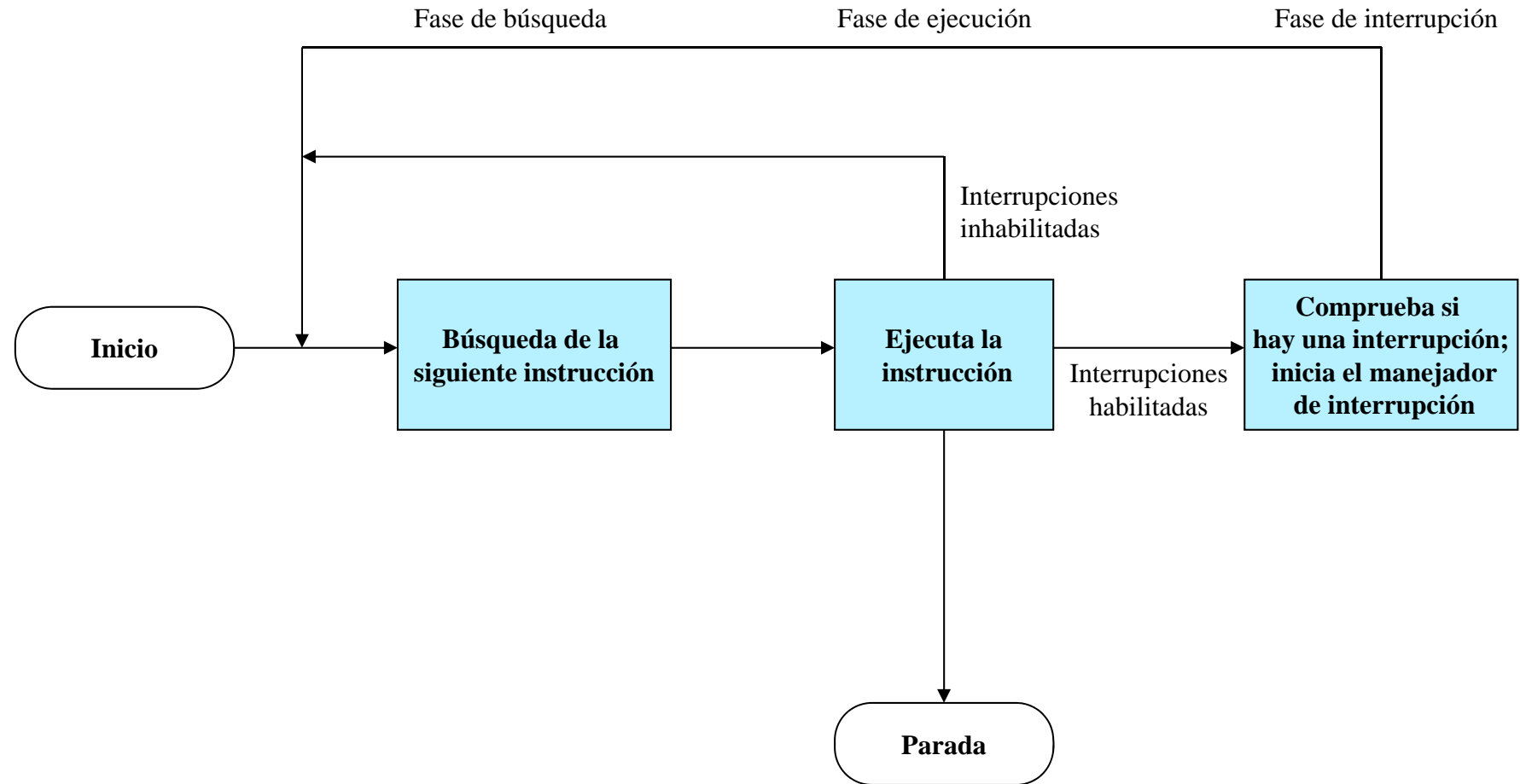
- Suspende la secuencia normal de ejecución



Transferencia de control mediante interrupciones

Ciclo de instrucción

21



Ciclo de instrucción con interrupciones

Ciclo de instrucción

22

- El procesador busca interrupciones
- Si no hay interrupciones, busca la siguiente instrucción para el programa actual
- Si hay una interrupción pendiente, suspende la ejecución del programa actual y ejecuta la rutina del manejador de interrupción

Multiprogramación

23

- El procesador tiene que ejecutar más de un programa
- La secuencia en la que se ejecutan los programas dependerá de su prioridad relativa y de si están esperando una operación de E/S
- Después de que se haya completado la rutina del manejador de interrupción, puede que no se le devuelva inmediatamente el control al programa que se estaba ejecutando en el momento de la interrupción

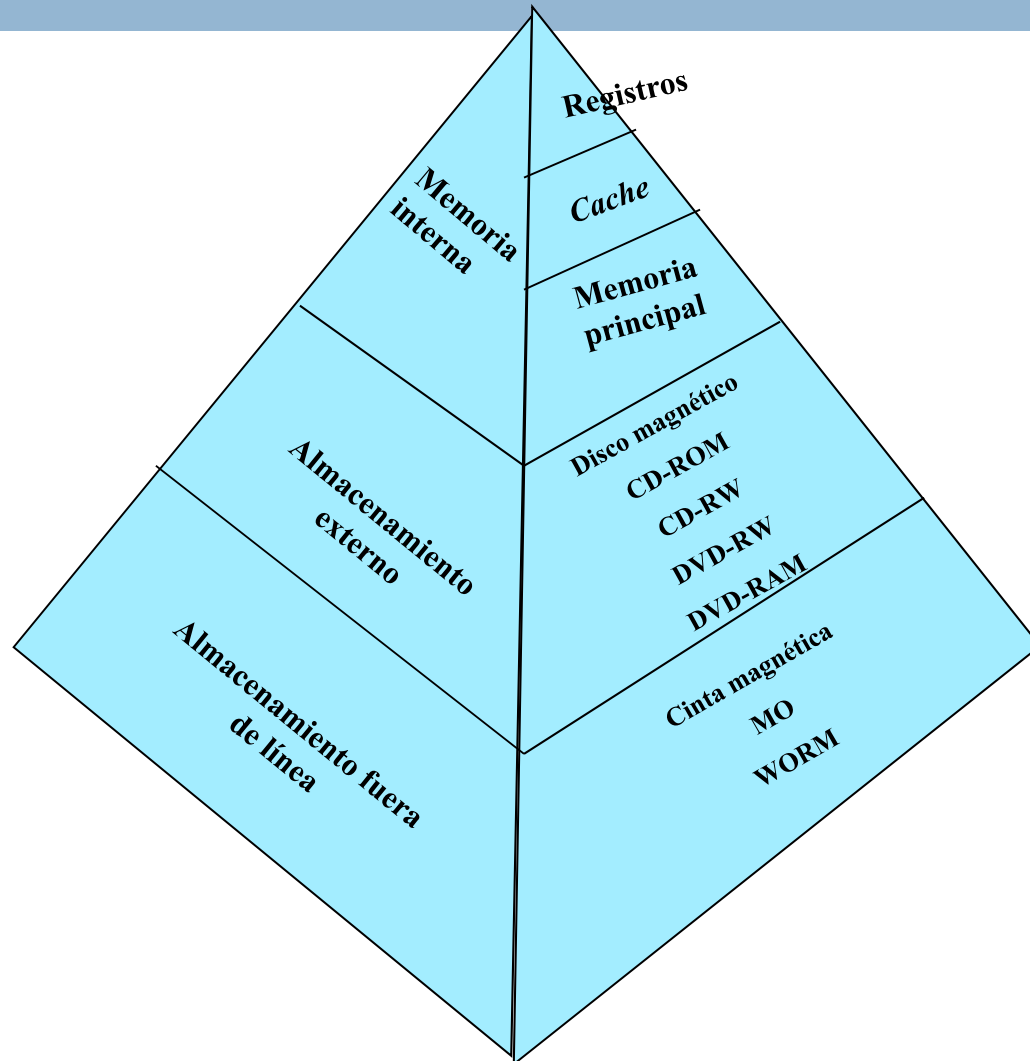
La jerarquía memoria

24

- Cuanto menor tiempo de acceso, mayor coste por bit
- Cuanto mayor capacidad, menor coste por bit
- Cuanto mayor capacidad, menor velocidad de acceso

La jerarquía de memoria

25



Descenso en la jerarquía

26

- Disminución del coste por bit
- Aumento de la capacidad
- Aumento del tiempo de acceso
- Disminución de la frecuencia de acceso a la memoria por parte del procesador
 - ▣ Proximidad de referencias

Memoria secundaria

27

- No volátil
- Memoria auxiliar
- Utilizada para almacenar los ficheros de programas y datos

Memoria cache

28

- Parte de la memoria principal usada como una zona de almacenamiento intermedio para almacenar datos temporalmente en el disco
- La escritura en el disco está agrupada
- Se puede acceder a algunos datos destinados a ser escritos. Los datos se recuperan rápidamente de la *cache* software en vez de lentamente como ocurre cuando se accede al disco

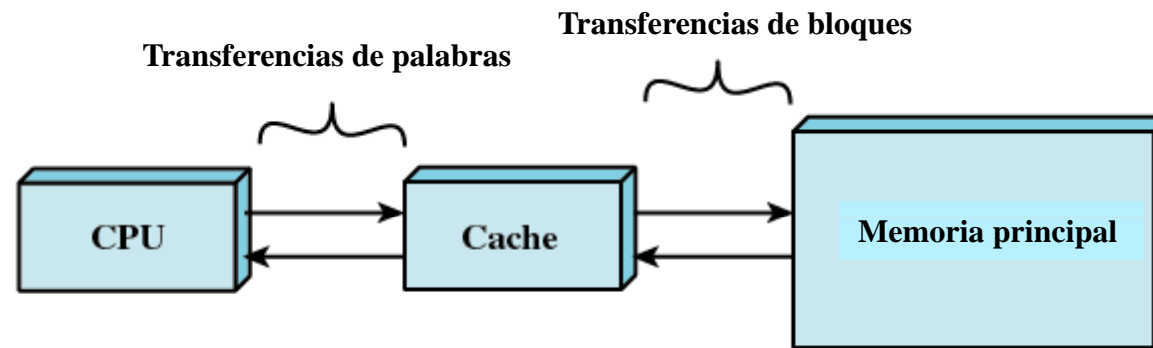
Memoria cache

29

- Invisible para el sistema operativo
- Incrementa la velocidad de la memoria
- La velocidad del procesador es mayor que la velocidad de la memoria
- Se aprovecha del principio de proximidad

Memoria cache

30



Cache y memoria principal

Memoria cache

31

- Contiene una copia de una parte de la memoria principal
- El procesador comprueba primero la cache
- Si no se encuentra en la cache, el bloque de memoria que contiene la información necesaria se introduce dentro de la cache y se le entrega al procesador

Sistema de *cache*/memoria principal

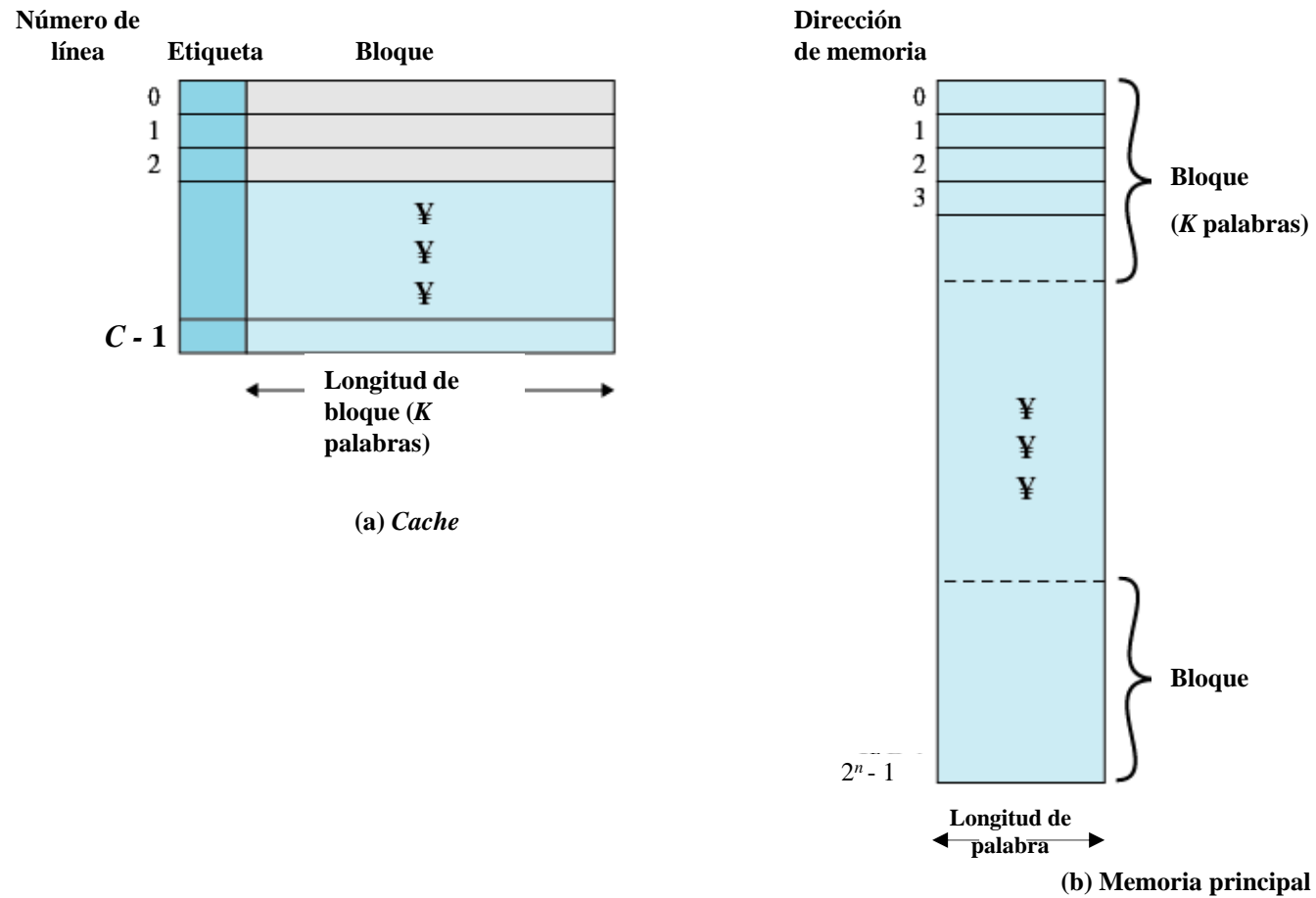
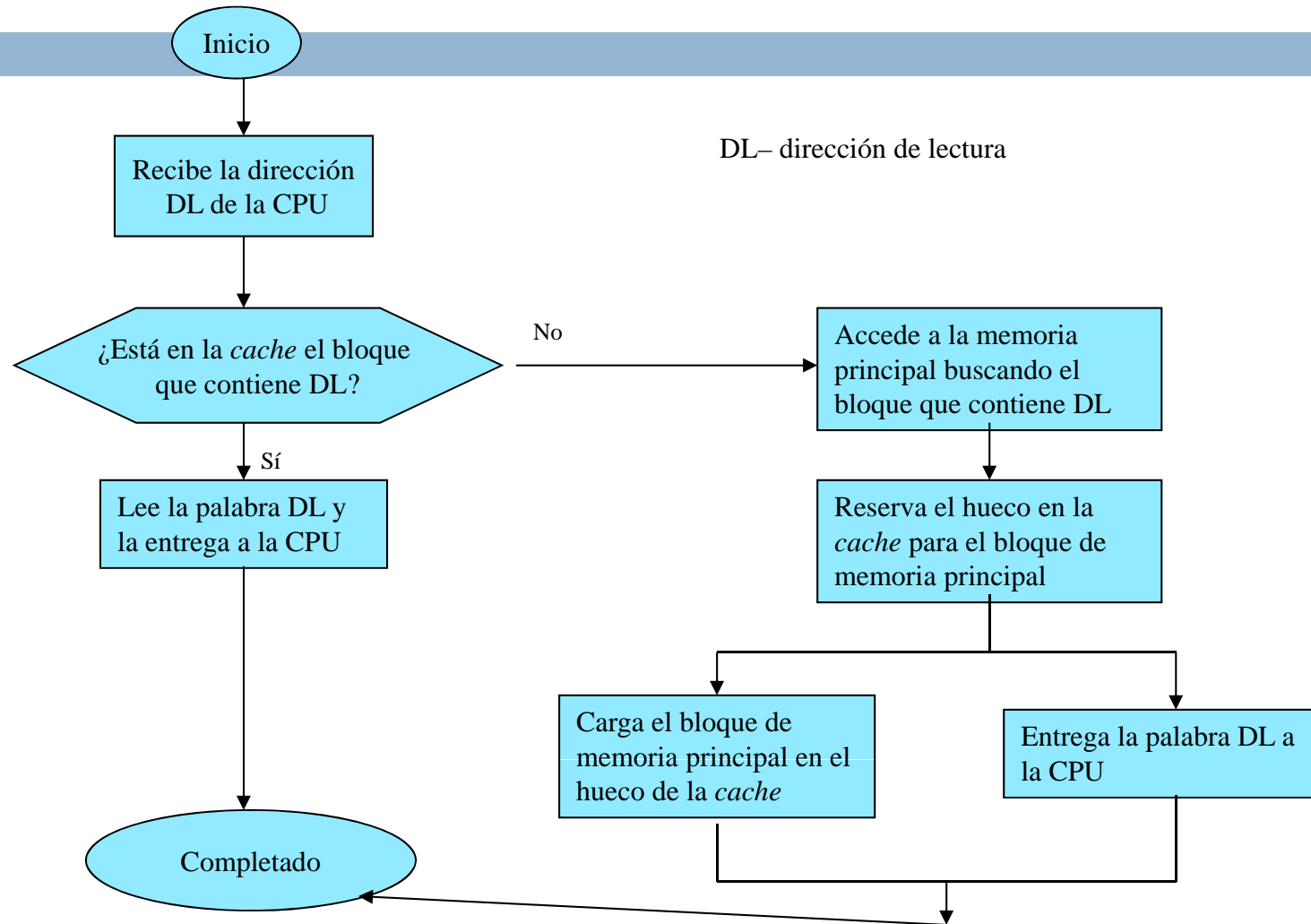


Figura 1.17. Estructura *cache*/memoria principal

Operación de lectura de cache

33



Diseño de la cache

34

- Tamaño de la cache
 - ▣ Pequeñas caches tienen un impacto significativo en el rendimiento
- Tamaño del bloque
 - ▣ La unidad de datos que se intercambia entre la cache y la memoria principal
 - ▣ Cuanto mayor es el tamaño del bloque, aumentará la tasa de aciertos hasta que la probabilidad de volver a usar los datos recientemente leídos se hace menor que la de utilizar nuevamente los datos que se tienen que expulsar de la cache

Diseño de la cache

35

- Función de correspondencia
 - ▣ Determina qué posición de la cache ocupará el bloque
- Algoritmo de remplazo
 - ▣ Determina qué bloque remplazar
 - ▣ Algoritmo del menos recientemente usado (*Least Recently Used*, LRU)

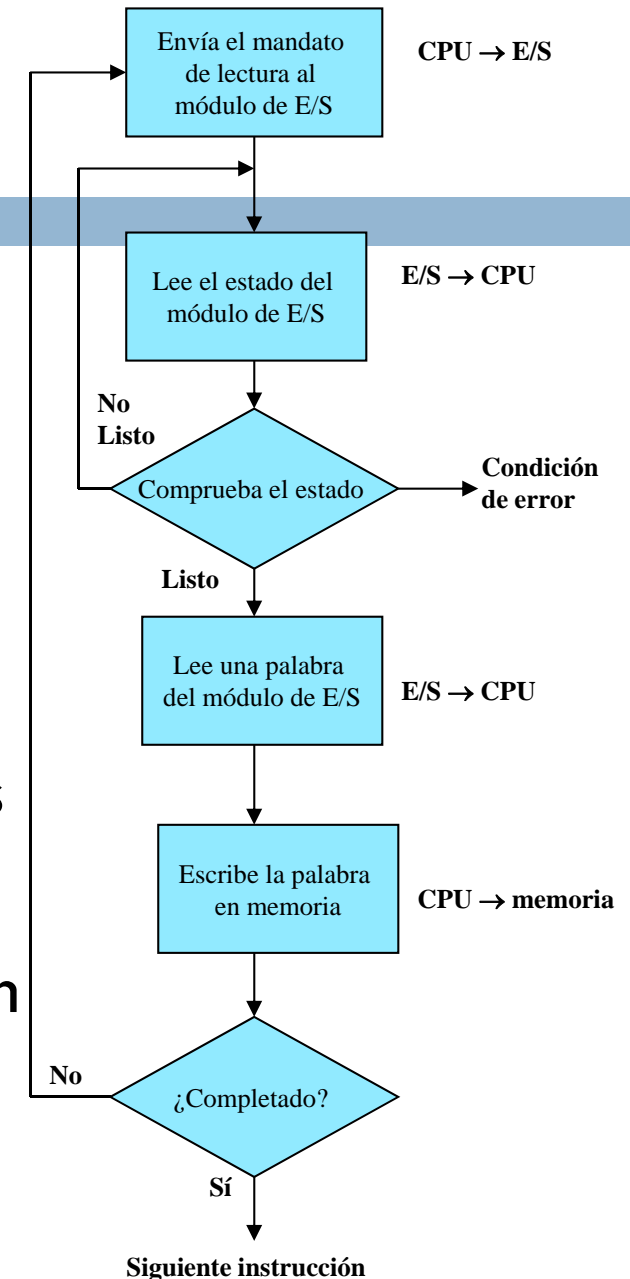
Diseño de la cache

36

- Política de escritura
 - ▣ Cuando tiene lugar la operación de escritura en memoria
 - ▣ Puede ocurrir una vez que se actualiza el bloque
 - ▣ Puede ocurrir sólo cuando el bloque se reemplaza
 - Minimiza las operaciones de escritura en memoria
 - Deja la memoria principal en un estado obsoleto

E/S programada

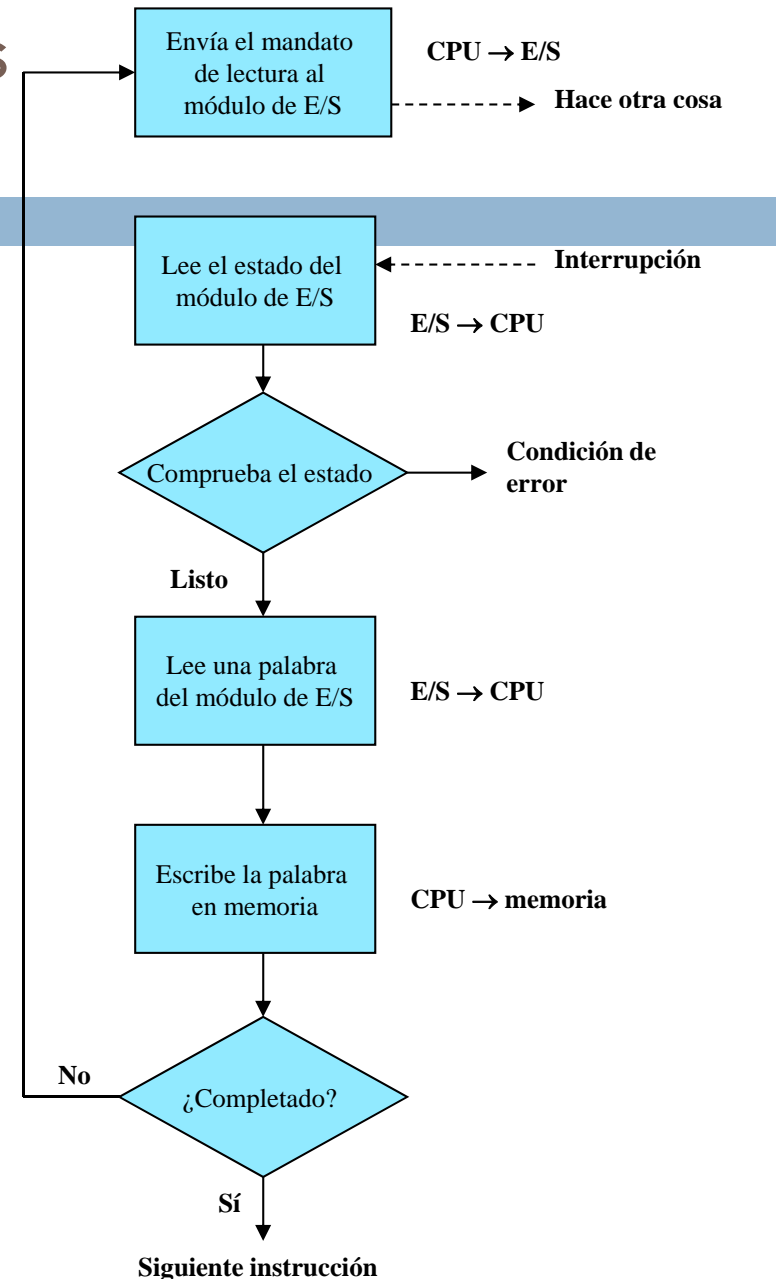
- El módulo de E/S realiza la acción, no el procesador
- Fija los bits correspondientes en el registro de estado de E/S
- No se producen interrupciones
- El procesador comprueba el estado hasta que la operación se ha completado



(a) E/S programada

E/S dirigida de interrupciones

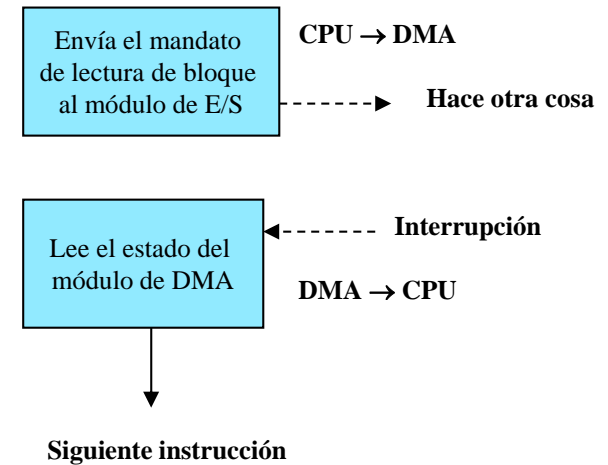
- El procesador se interrumpe cuando el módulo de E/S está listo para intercambiar datos
- El procesador salva el contexto del programa que se está ejecutando y comienza a ejecutar el manejador de interrupciones
- Elimina la espera innecesaria
- Consume mucho tiempo de procesador ya que cada palabra de datos leída o escrita pasa a través del procesador



(b) E/S dirigida por interrupciones

Acceso directo a memoria

- Transfiere un bloque de datos directamente hacia o desde la memoria
- Se envía una interrupción cuando se completa la transferencia
- El procesador continúa con otro trabajo



(c) Acceso directo a memoria

SISTEMAS OPERATIVOS

Sistema operativo

2

- Programa que controla la ejecución de programas de aplicación
- Interfaz entre las aplicaciones y el hardware

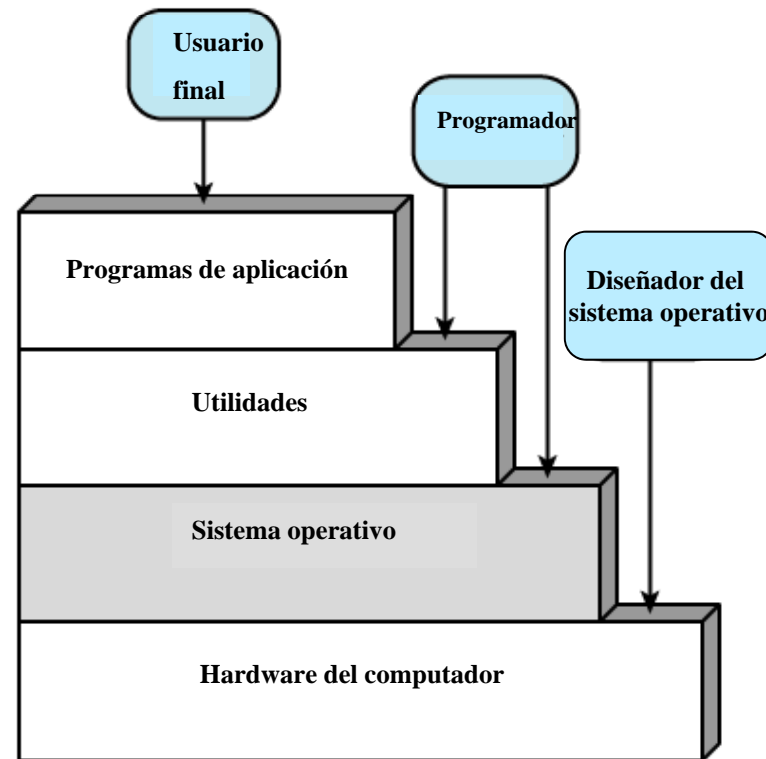
Objetivos de los sistemas operativos

3

- Facilidad de uso
 - ▣ Facilita el uso de un computador
- Eficiencia
 - ▣ Permite que los recursos de un sistema de computación se puedan utilizar de una manera eficiente
- Capacidad para evolucionar
 - ▣ Permite que se puedan desarrollar, probar e introducir de forma efectiva de nuevas funciones en el sistema sin interferir con el servicio

Capas de un sistema de computación

4



Capas y vistas de un sistema de computación

Servicios que proporciona el sistema operativo

5

- Desarrollo de programas
 - ▣ Editores y depuradores
- Ejecución de programas
- Acceso a dispositivos de E/S
- Acceso controlado a los ficheros
- Acceso al sistema

Servicios que proporciona el sistema operativo

6

- Detección y respuesta a errores
 - ▣ Errores de hardware internos y externos
 - Error de memoria
 - Fallo de un dispositivo
 - ▣ Errores de software
 - Desbordamiento aritmético
 - Intento de acceder a una posición de memoria prohibida
 - ▣ Incapacidad del sistema operativo para conceder la solicitud de una aplicación

Servicios que proporciona el sistema operativo

7

□ Contabilidad

- ▣ Recoge estadísticas de uso
- ▣ Monitoriza el rendimiento
- ▣ Se utiliza para anticipar futuras mejoras
- ▣ Se utiliza para facturar

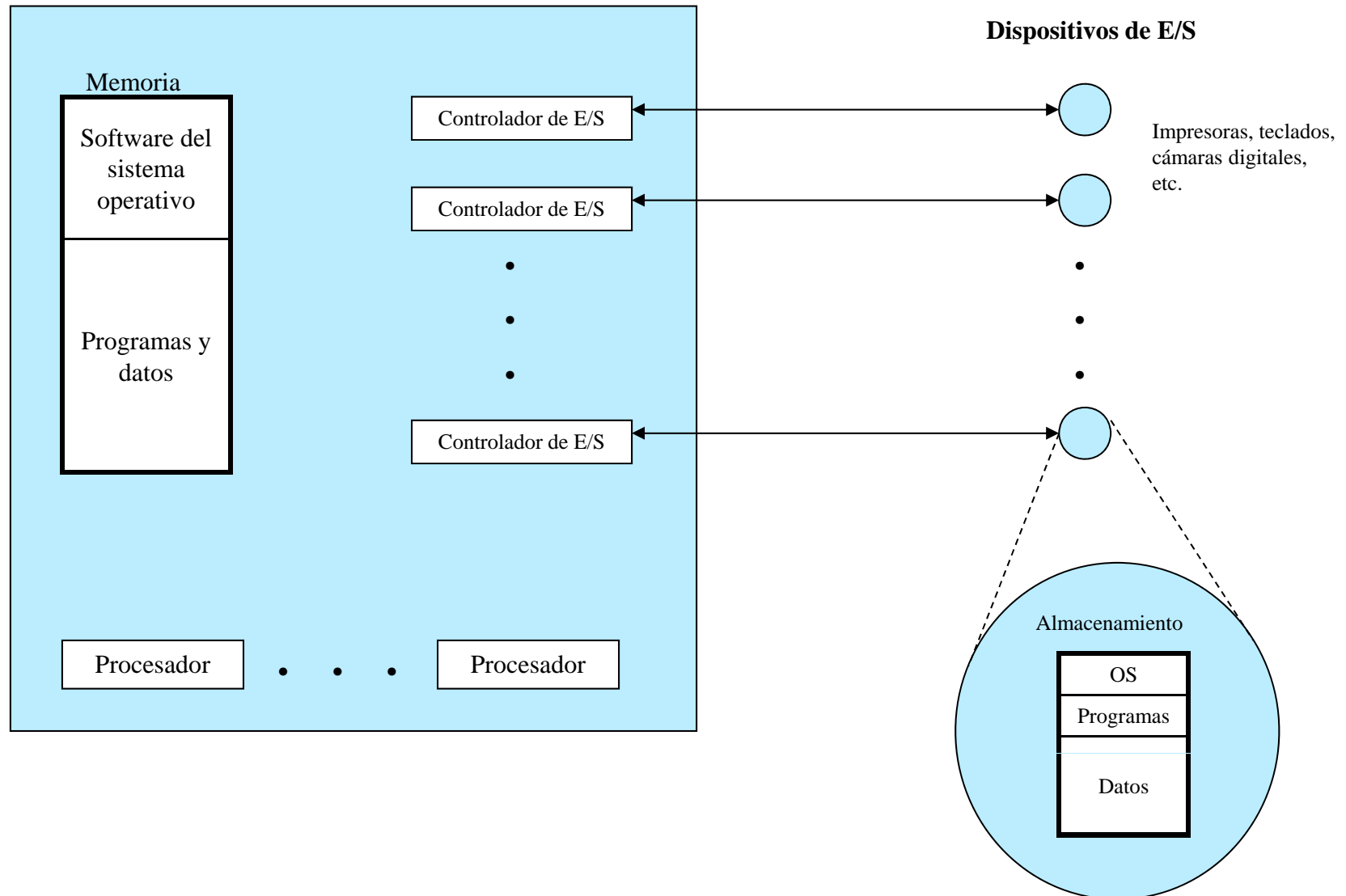
Sistema operativo

8

- Responsable de gestionar recursos
- Funciona de la misma forma que el resto del software
 - ▣ Se trata de un programa ejecutado
- El sistema operativo cede el control del procesador

Sistema operativo como gestor de recursos

Sistema de computación



Kernel

10

- Porción del sistema operativo que se encuentra en la memoria principal
- Contiene las funciones más frecuentemente utilizadas
- También denominado núcleo
- Módulos básicos
 - ▣ Manejador de interrupciones
 - ▣ Planificador y Cargador
 - ▣ Primitivas de sincronización y comunicación

Evolución de un sistema operativo

11

- Actualizaciones de hardware más nuevos tipos de hardware
- Nuevos servicios
- Resolución de fallos

Evolución de los sistemas operativos

12

□ Procesamiento serie

- ▣ No existía ningún sistema operativo
- ▣ Las máquinas se utilizaban desde una consola que contenía luces, interruptores, algún dispositivo de entrada y una impresora
- ▣ Planificación
- ▣ La configuración implica cargar el compilador, el programa en código fuente, guardar el programa compilado, cargar y enlazar

Evolución de los sistemas operativos

13

□ Sistemas en lotes sencillos

▣ Monitores

- Pieza de software que controla la secuencia de acontecimientos
- Trabajos por lotes juntos
- Cuando un programa finaliza su procesamiento, devuelve el control al monitor

Lenguaje de control de trabajos (*Job Control Language, JCL*)

14

- Tipo especial de lenguaje de programación
- Dota de instrucciones al monitor
 - ▣ Qué compilador usar
 - ▣ Qué datos usar

Características hardware

15

- Protección de memoria
 - ▣ No permite que el área de memoria que contiene el monitor se altere
- Temporizador
 - ▣ Evita que un único trabajo monopolice el sistema

Características hardware

16

- Instrucciones privilegiadas
 - ▣ Ciertas instrucciones a nivel de máquina sólo las puede ejecutar el monitor
- Interrupciones
 - ▣ Los modelos de computadores iniciales no tenían esta capacidad

Protección de memoria

17

- Un programa de usuario ejecuta en modo usuario
 - ▣ Algunas instrucciones no se pueden ejecutar
- El monitor ejecuta en modo sistema
 - ▣ Modo núcleo
 - ▣ Se ejecutan instrucciones privilegiadas
 - ▣ Se puede acceder a áreas de memoria protegidas

Dispositivos de E/S lentos

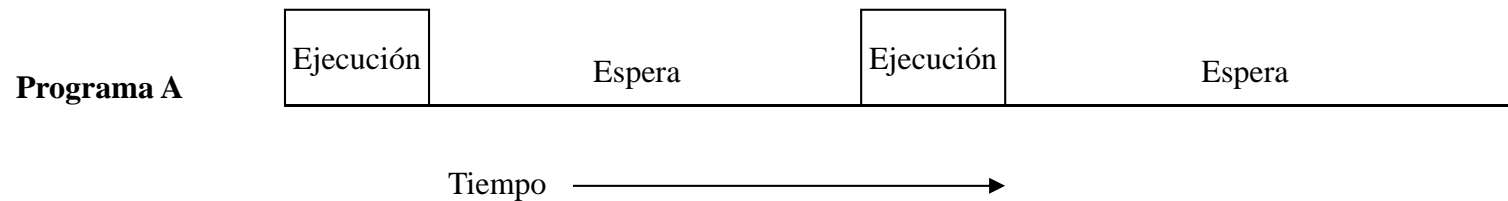
18

Leer un registro del fichero	15 μ s
Ejecutar 100 instrucciones	1 μ s
Escribir un registro al fichero	15 μ s
TOTAL	31 μ s
Porcentaje de utilización de la CPU = $1 / 31 = 0,032 = 3'2 \%$	

Ejemplo de utilización del sistema

Monoprogramación

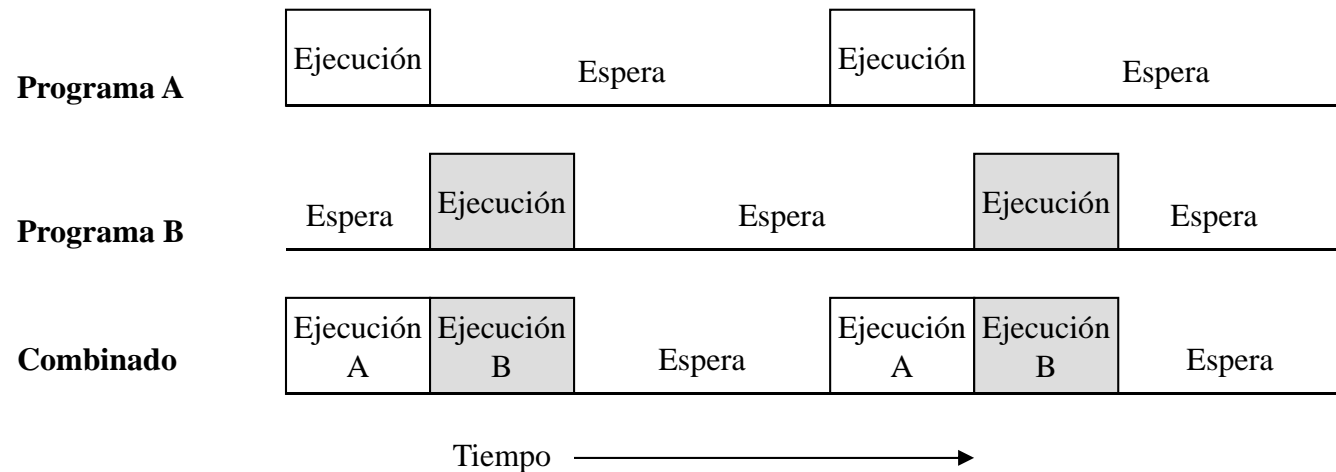
- El procesador debe esperar a que la instrucción de E/S concluya antes de continuar



(a) Monoprogramación

Multiprogramación

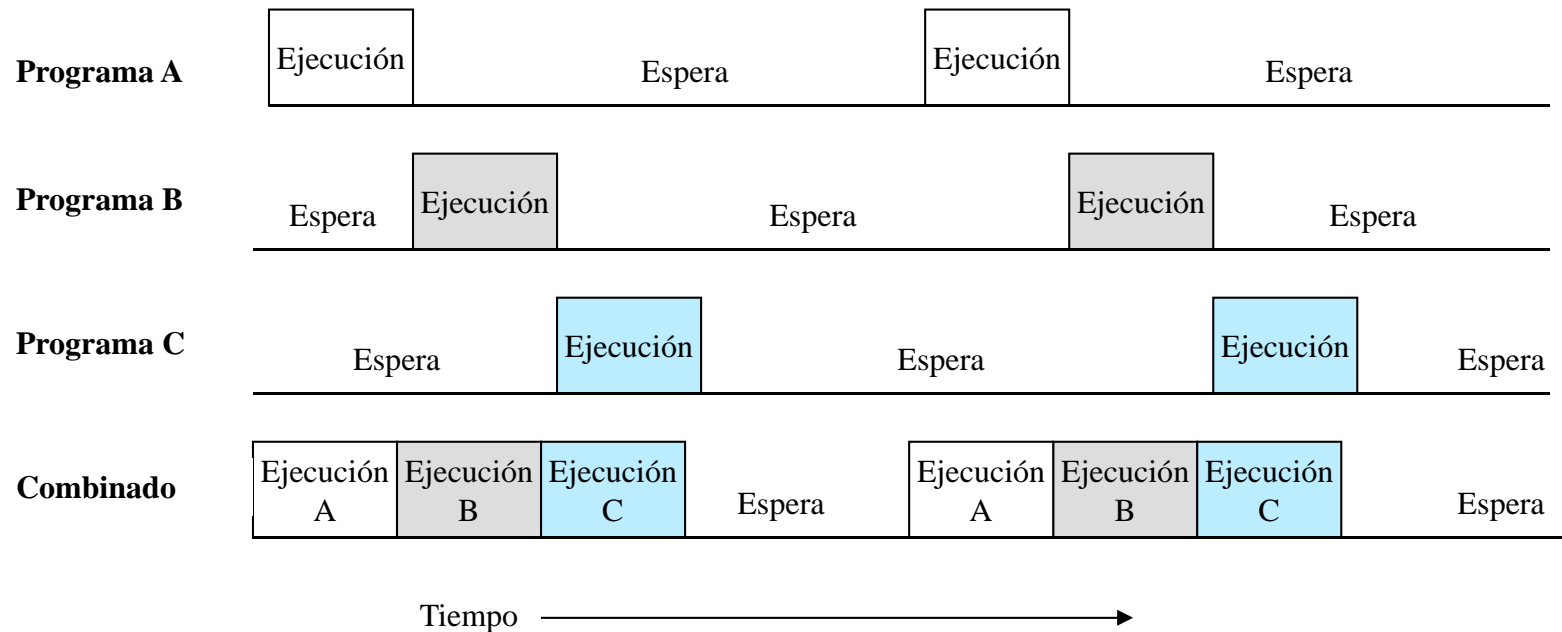
- Cuando un trabajo necesita esperar por la E/S, se puede asignar el procesador al otro trabajo



(b) Multiprogramador con dos programas

Multiprogramación

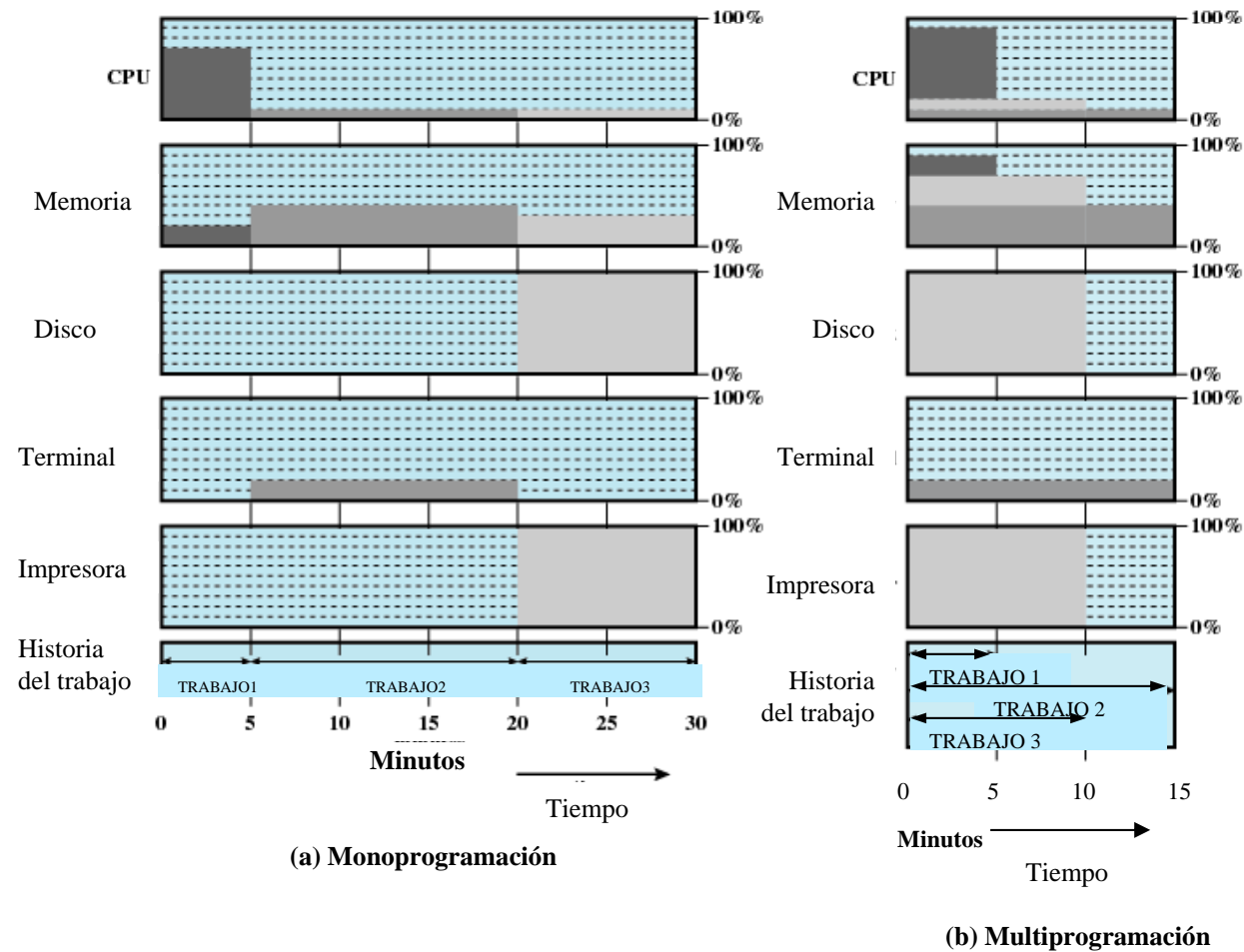
21



(c) Multiprogramador con tres programas

Histogramas de utilización

22



Histogramas de utilización

Tiempo compartido

23

- Uso de la multiprogramación para gestionar múltiples trabajos interactivos
- El tiempo de procesador se comparte entre múltiples usuarios
- Múltiples usuarios acceden simultáneamente al sistema a través de terminales

Principales logros

24

- Procesos
- Gestión de memoria
- Protección y seguridad de la información
- Planificación y gestión de recursos
- Estructura del sistema

Procesos

25

- Un programa en ejecución
- Una instancia de un programa ejecutándose en un computador
- La entidad que se puede asignar o ejecutar en un procesador
- Una unidad de actividad caracterizada por un solo hilo secuencial de ejecución, un estado actual, y un conjunto de recursos del sistema asociados

Dificultades en el diseño del software del sistema

26

- Inapropiada sincronización
 - ▣ Asegura que un proceso que espera a un dispositivo de E/S reciba la señal
- Violación de la exclusión mutua
- Operación no determinista de un programa
 - ▣ Los resultados de un programa normalmente dependen sólo de la entrada a dicho programa y no de las actividades de otros programas
- Interbloqueos

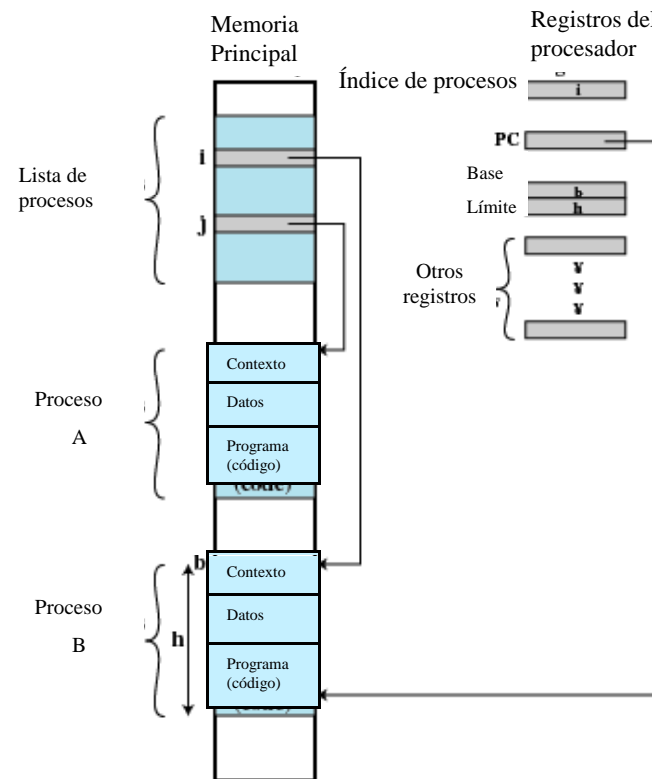
Proceso

27

- Está formado por tres componentes
 - ▣ Un programa ejecutable
 - ▣ Los datos asociados que necesita el programa
 - ▣ El contexto de ejecución del programa
 - Toda la información que necesita el sistema operativo para gestionar el proceso

Proceso

28



Implementación de procesos típica

Gestión de memoria

29

- Aislamiento de procesos
- Asignación y gestión automática
- Soporte a la programación modular
- Proceso y control de acceso
- Almacenamiento a largo plazo

Memoria virtual

30

- Permite a los programas direccionar la memoria desde un punto de vista lógico
- No existe ningún intervalo de tiempo de espera entre la ejecución de procesos sucesivos mientras un proceso se escribe en almacenamiento secundario y se lee el proceso sucesor

Memoria virtual y sistema de ficheros

31

- Implementa un almacenamiento a largo plazo
- Información almacenada en objetos denominados ficheros

Paginación

32

- Permiten que los procesos se compriman en un número determinado de bloques de tamaño fijo, denominados páginas
- La dirección virtual es un número de página y un desplazamiento dentro de la página
- Cada página se puede localizar en cualquier sitio de la memoria principal
- Dirección real o dirección física en memoria principal

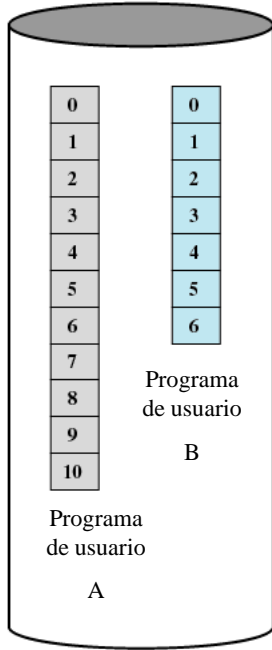
Memoria virtual

33

A.1			
	A.0	A.2	
	A.5		
B.0	B.1	B.2	B.3
		A.7	
	A.9		
		A.8	
	B.5	B.6	

Memoria principal

La memoria principal está formada por varios marcos de tamaño fijo, cada uno de ellos igual al tamaño de una página. Para que se ejecute un programa, algunas o todas las páginas se deben encontrar en memoria principal.



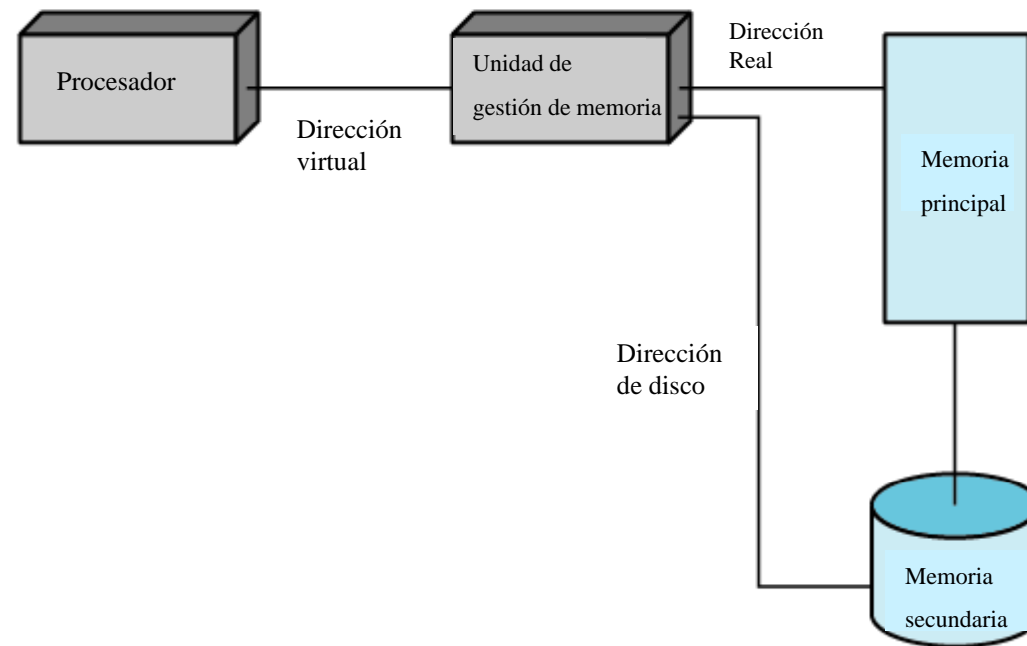
Disco

La memoria secundaria (disco) puede contener muchas páginas de tamaño fijo. Un programa de usuario está formado por varias páginas. Las páginas de todos los programas más el sistema operativo se encuentran en disco, ya que son ficheros

Conceptos de memoria virtual

Direccionamiento de memoria virtual

34



Direccionamiento de memoria virtual

Protección y seguridad de información

35

- Disponibilidad
 - ▣ Relacionado con la protección del sistema frente a las interrupciones
- Confidencialidad
 - ▣ Asegura que los usuarios no puedan leer los datos sobre los cuales no tienen autorización de acceso

Protección y seguridad de información

36

- Integridad de los datos
 - ▣ Protección de los datos frente a modificaciones no autorizadas
- Autenticidad
 - ▣ Relacionado con la verificación apropiada de la identidad de los usuarios y la validez de los mensajes o los datos

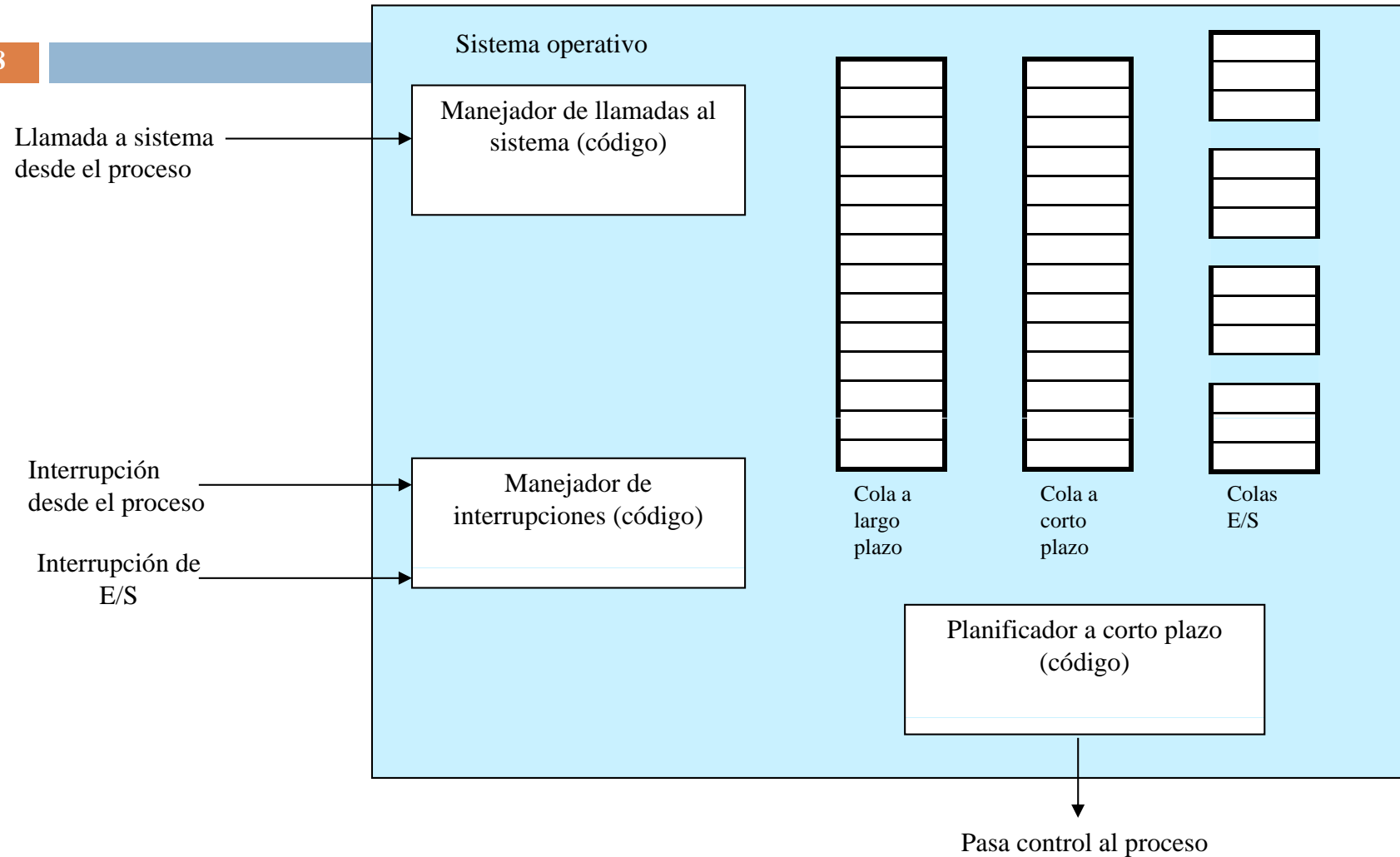
Planificación y gestión de los recursos

37

- Equitatividad
 - ▣ Concede un acceso equitativo a los recursos
- Respuesta diferencial
 - ▣ Discrimina entre diferentes clases de trabajos
- Eficiencia
 - ▣ Maximiza la productividad, minimiza el tiempo de respuesta y acomoda tantos usuarios como sea posible

Elementos clave del sistema operativo

38



Elementos clave de un sistema operativo para la multiprogramación

Estructura del sistema

39

- Se puede ver el sistema como una serie de niveles o capas
- Cada nivel realiza un subconjunto relacionado de funciones
- Cada nivel confía en los niveles inmediatamente inferiores para realizar funciones más primitivas
- Esto descompone un problema en un número de subproblemas más manejables

Niveles del hardware

40

- Nivel 1
 - ▣ Circuitos electrónicos: registros, celdas de memoria
- Nivel 2
 - ▣ Conjunto de instrucciones del procesador
- Nivel 3
 - ▣ Añade el concepto de procedimiento o subrutina, más las operaciones de llamada y retorno
- Nivel 4
 - ▣ Manejo de Interrupciones

Niveles asociados a la multiprogramación y objetos externos

41

- Nivel 5
 - ▣ Proceso como un programa de ejecución. Suspender y continuar.
- Nivel 6
 - ▣ Almacenamiento secundario. Transferencia física de bloques de datos
- Nivel 7
 - ▣ Crea un espacio de direcciones lógicas: memoria virtual
- Nivel 8
 - ▣ Comunicación entre procesos: memoria compartida, mensajes.
- Nivel 9
 - ▣ Soporte al almacenamiento lógico: ficheros
- Nivel 10
 - ▣ Acceso a los dispositivos externos utilizando interfaces estándar: leer/escribir, abrir/cerrar

Niveles Tratamiento con objetos externos

42

- Nivel 11

- ▣ Responsable de mantener la asociación entre los identificadores externos e internos

- Nivel 12

- ▣ Soporte a los procesos

- Nivel 13

- ▣ Interfaz con el usuario

Los sistemas operativos modernos

43

- Arquitectura micronúcleo o *microkernel*
 - ▣ Asigna sólo unas pocas funciones esenciales al núcleo
 - Espacios de almacenamiento
 - Comunicación entre procesos (*Interprocess Communication*, IPC)
 - Planificación básica

Los sistemas operativos modernos

44

□ *Multithreading*

- ▣ Un proceso se divide en una serie de hilos o *threads* que pueden ejecutar concurrentemente

- *Thread* o hilo

- Unidad de trabajo que se puede enviar
- Ejecuta secuencialmente y se puede interrumpir

- Proceso es una colección de uno o más hilos

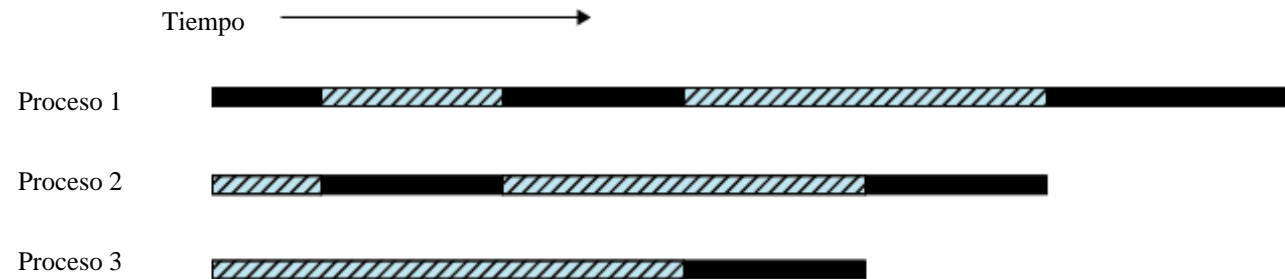
Los sistemas operativos modernos

45

- Multiprocesamiento simétrico (*Symmetric Multi-Processing, SMP*)
 - ▣ Tiene múltiples procesadores
 - ▣ Estos procesadores comparten las mismas utilidades de memoria principal y de E/S
 - ▣ Todos los procesadores pueden realizar las mismas funciones

Multiprogramación y multiproceso

46



(a) Intercalado (multiprogramación, un procesador)



(b) Intercalado y solapamiento (multiproceso; dos procesadores)

 Bloqueado  Ejecutando

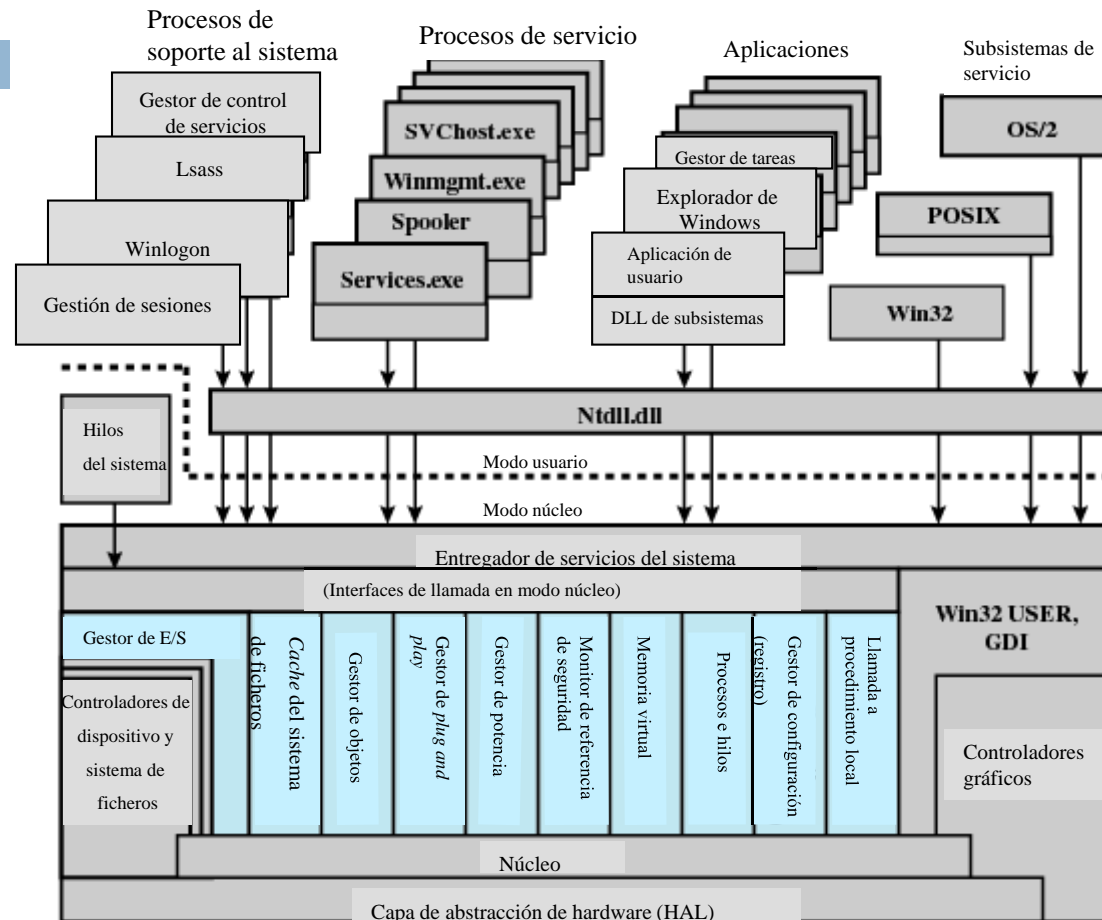
Multiprogramación y multiproceso

Los sistemas operativos modernos

47

- Sistemas operativos distribuidos
 - ▣ Proporciona la ilusión de un solo espacio de memoria principal y un solo espacio de memoria secundario
- Diseño orientado a objetos
 - ▣ Se utiliza para añadir extensiones modulares a un pequeño núcleo
 - ▣ Permite a los programadores personalizar un sistema operativo sin eliminar la integridad del sistema

Arquitectura de Windows



Lsass = servidor de autenticación de seguridad local

POSIX = interfaz de sistema operativo portable

GDI = interfaz de dispositivo gráfico

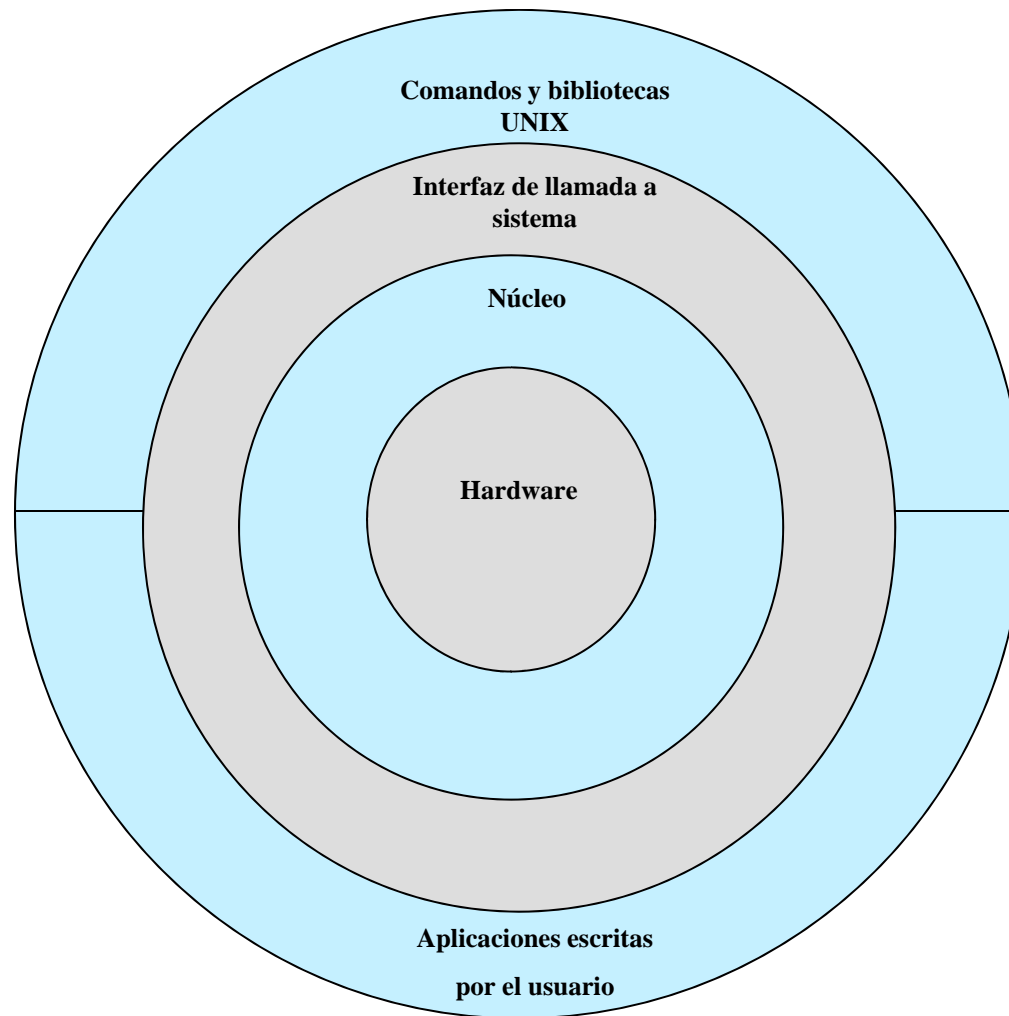
DLL = bibliotecas de enlace dinámicas

Áreas coloreadas indican Sistema Ejecutivo

Arquitectura de Windows 2000 [SOLO00]

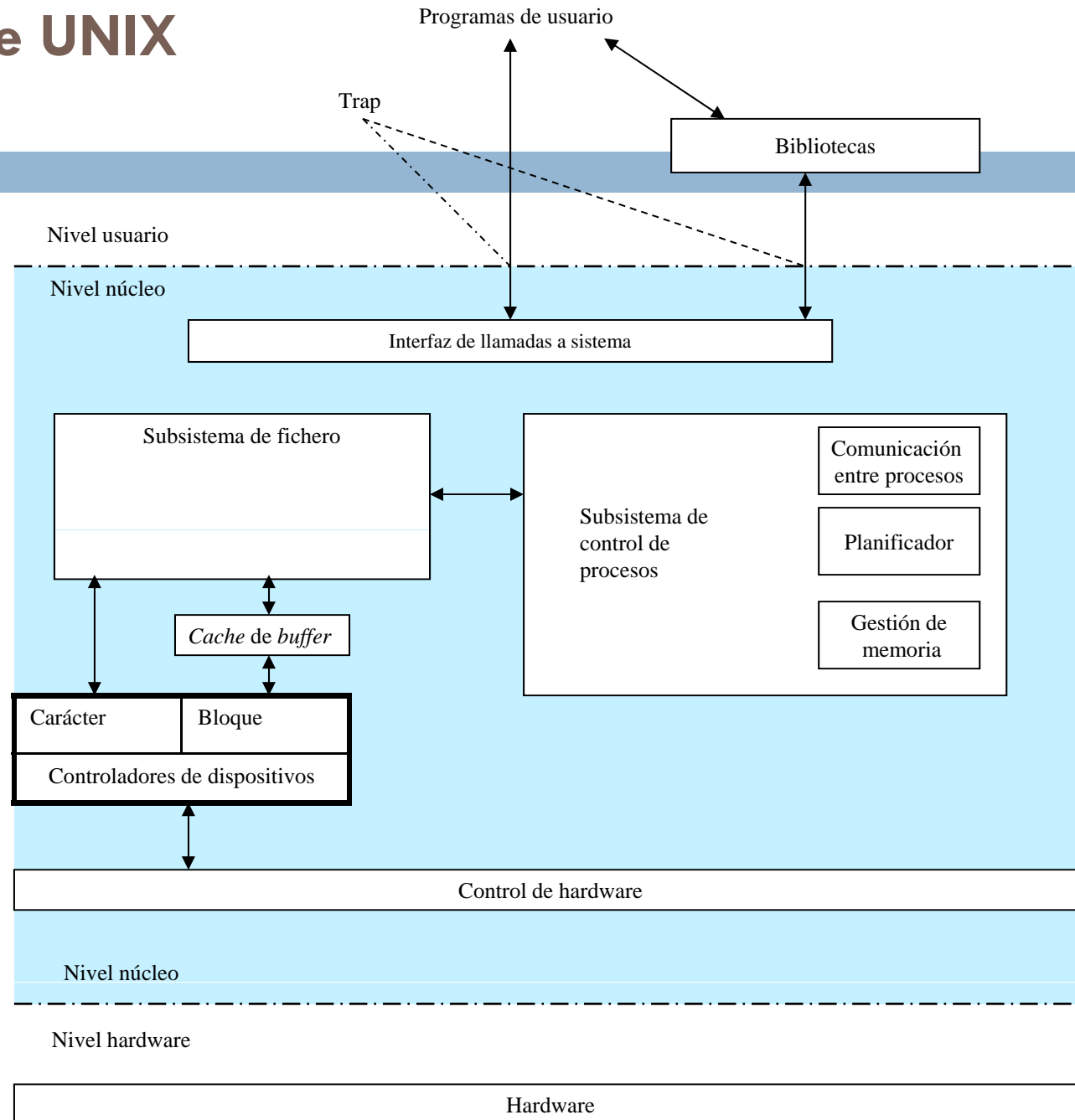
UNIX

49



Núcleo de UNIX

50



SISTEMAS OPERATIVOS

Capítulo 3. Descripción y control de procesos -
planificación

Requisitos de un sistema operativo

2

- ❑ Intercala la ejecución de múltiples procesos para maximizar la utilización del procesador mientras se proporciona un tiempo de respuesta razonable
- ❑ Reserva recursos para los procesos
- ❑ Da soporte a la comunicación entre procesos y la creación de procesos

Conceptos

3

- Una plataforma de computación consiste en una colección de recursos hardware
- Las aplicaciones para computadores se desarrollan para realizar determinadas tareas
- No es eficiente que las aplicaciones estén escritas directamente para una plataforma hardware específica
- El sistema operativo proporciona una interfaz apropiada para las aplicaciones, rica en funcionalidades, segura y consistente
- El sistema operativo proporciona una representación uniforme y abstracta de los recursos que las aplicaciones pueden solicitar y acceder

Gestión de la ejecución de aplicaciones

4

- Los recursos están disponibles para múltiples aplicaciones
- El procesador se conmuta entre múltiples aplicaciones
- El procesador y los dispositivos de E/S se pueden usar de forma eficiente

Proceso

5

- Un programa en ejecución
- Una instancia de un programa ejecutado en un computador
- La entidad que se puede asignar y ejecutar en un procesador
- Una unidad de actividad que se caracteriza por la ejecución de una secuencia de instrucciones, un estado actual y un conjunto de recursos del sistema asociados

Bloque de control de proceso

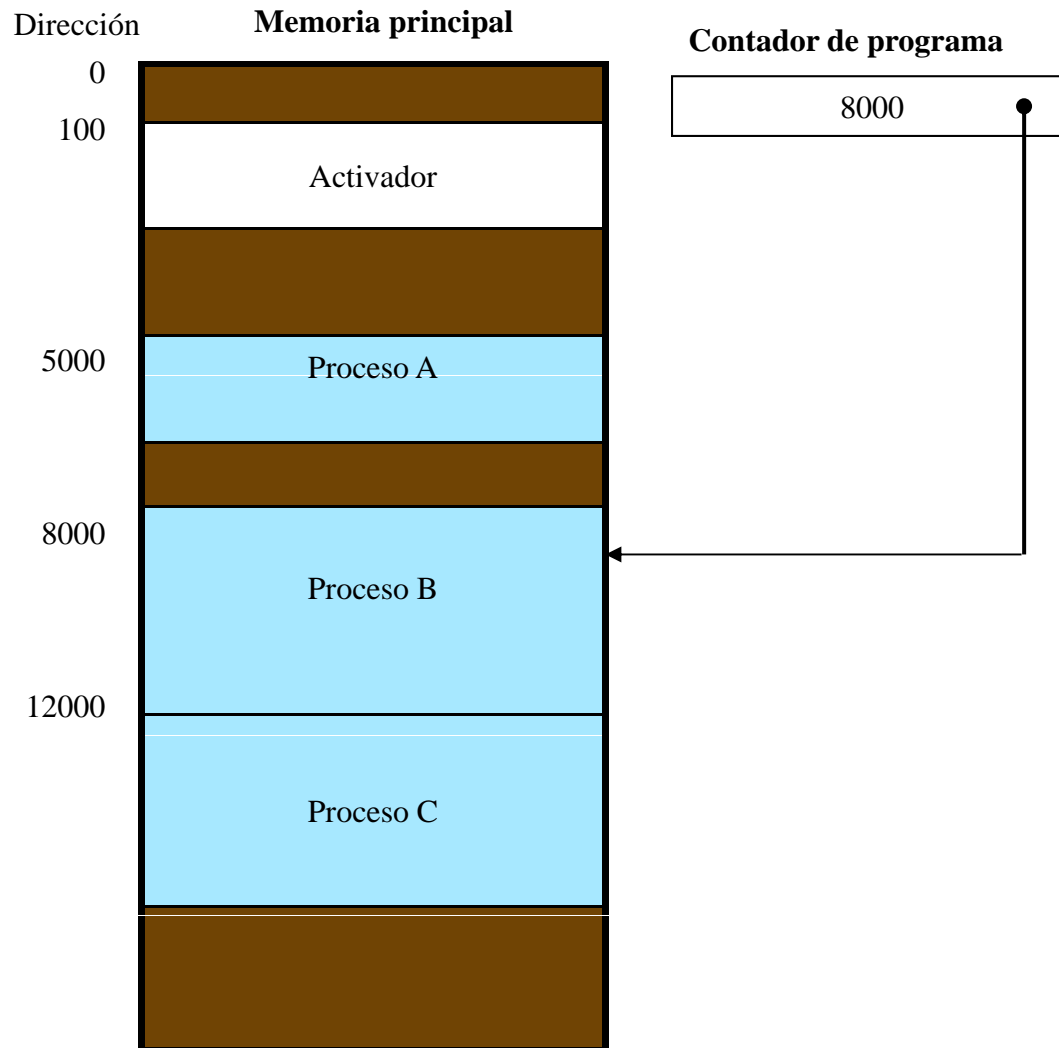
6

- Contiene los elementos del proceso
- Creado y gestionado por el sistema operativo
- Permite dar soporte a múltiples procesos

Identificador
Estado
Prioridad
Contador de programa
Punteros de memoria
Datos de contexto
Información de estado de E/S
Información de auditoría
• • •

Traza del proceso

7



- Secuencia de instrucciones que se ejecutan para dicho proceso
- Un pequeño programa activador (*dispatcher*) intercambia el procesador de un proceso a otro

Creación de procesos /razones

8

Nuevo proceso de lotes

El sistema operativo dispone de un flujo de control de lotes de trabajos, habitualmente una cinta o disco. Cuando el sistema operativo está listo para procesar un nuevo trabajo, leerá la siguiente secuencia de mandatos de control de trabajos.

Sesión interactiva

Un usuario desde un terminal entra en el sistema.

Creado por el sistema operativo para proporcionar un servicio

El sistema operativo puede crear un proceso para realizar una función en representación de un programa de usuario, sin que el usuario tenga que esperar (por ejemplo, un proceso para controlar la impresión)

Creado por un proceso existente

Por motivos de modularidad o para explotar el paralelismo, un programa de usuario puede ordenar la creación de un número de procesos.

Terminación de procesos/razones

9

Finalización normal	El proceso ejecuta una llamada al sistema operativo para indicar que ha completado su ejecución .
Límite de tiempo excedido	El proceso ha ejecutado más tiempo del especificado en un límite máximo. Existen varias posibilidades para medir dicho tiempo. Incluyen el tiempo total utilizado, el tiempo utilizado únicamente en ejecución y en el caso de procesos interactivos, la cantidad de tiempo desde que el usuario realizó la última entrada.
Memoria no disponible	El proceso requiere más memoria de la que el sistema puede proporcionar.
Violaciones de frontera	El proceso trata de acceder a una posición de memoria a la cual no tiene acceso permitido.
Error de protección	El proceso trata de usar un recurso, por ejemplo un fichero, al que no tiene permitido acceder, o trata de utilizarlo de una forma impropia, como escribiendo en un fichero de sólo lectura.
Error aritmético	El proceso trata de realizar una operación de cálculo no permitida, como una división entre 0, o trata de almacenar números mayores de los que la representación hardware puede codificar.

Terminación de procesos/razones

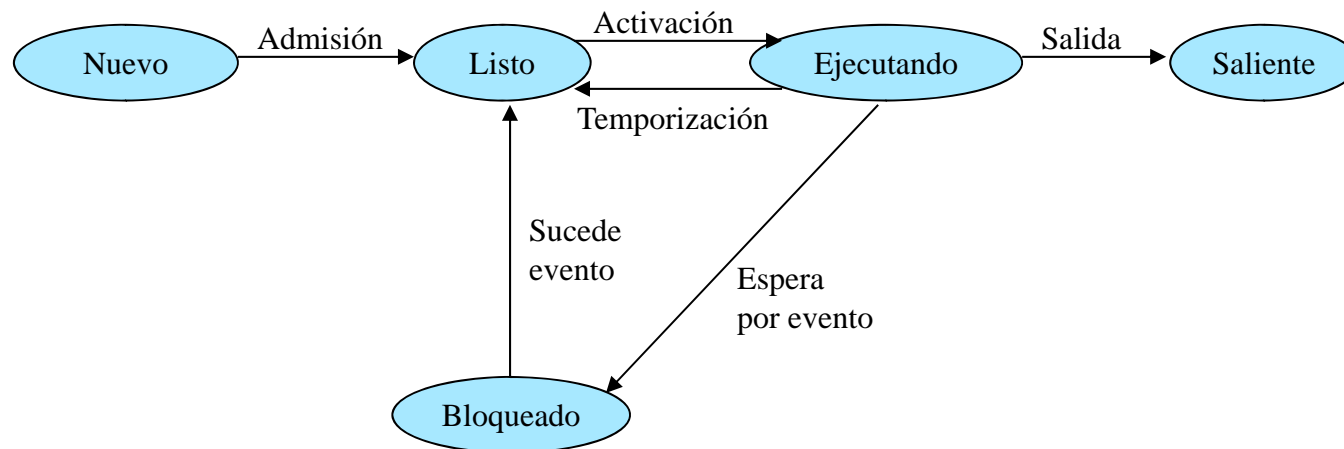
10

Límite de tiempo	El proceso ha esperado más tiempo que el especificado en un valor máximo para que se cumpla un determinado evento.
Fallo de E/S	Se ha producido un error durante una operación de entrada o salida, por ejemplo la imposibilidad de encontrar un fichero, fallo en la lectura o escritura después de un límite máximo de intentos (cuando, por ejemplo, se encuentra un área defectuosa en una cinta), o una operación inválida (la lectura de una impresora en línea).
Instrucción no válida	El proceso intenta ejecutar una instrucción inexistente (habitualmente el resultado de un salto a un área de datos y el intento de ejecutar dichos datos).
Instrucción privilegiada	El proceso intenta utilizar una instrucción reservada al sistema operativo.
Uso inapropiado de datos	Una porción de datos es de tipo erróneo o no se encuentra inicializada.
Intervención del operador por el sistema operativo	Por alguna razón, el operador o el sistema operativo ha finalizado el proceso (por ejemplo, se ha dado una condición de interbloqueo).
Terminación del proceso padre	Cuando un proceso padre termina, el sistema operativo puede automáticamente finalizar todos los procesos hijos descendientes de dicho padre.
Solicitud del proceso padre	Un proceso padre habitualmente tiene autoridad para finalizar sus propios procesos descendientes.

Procesos / Estados

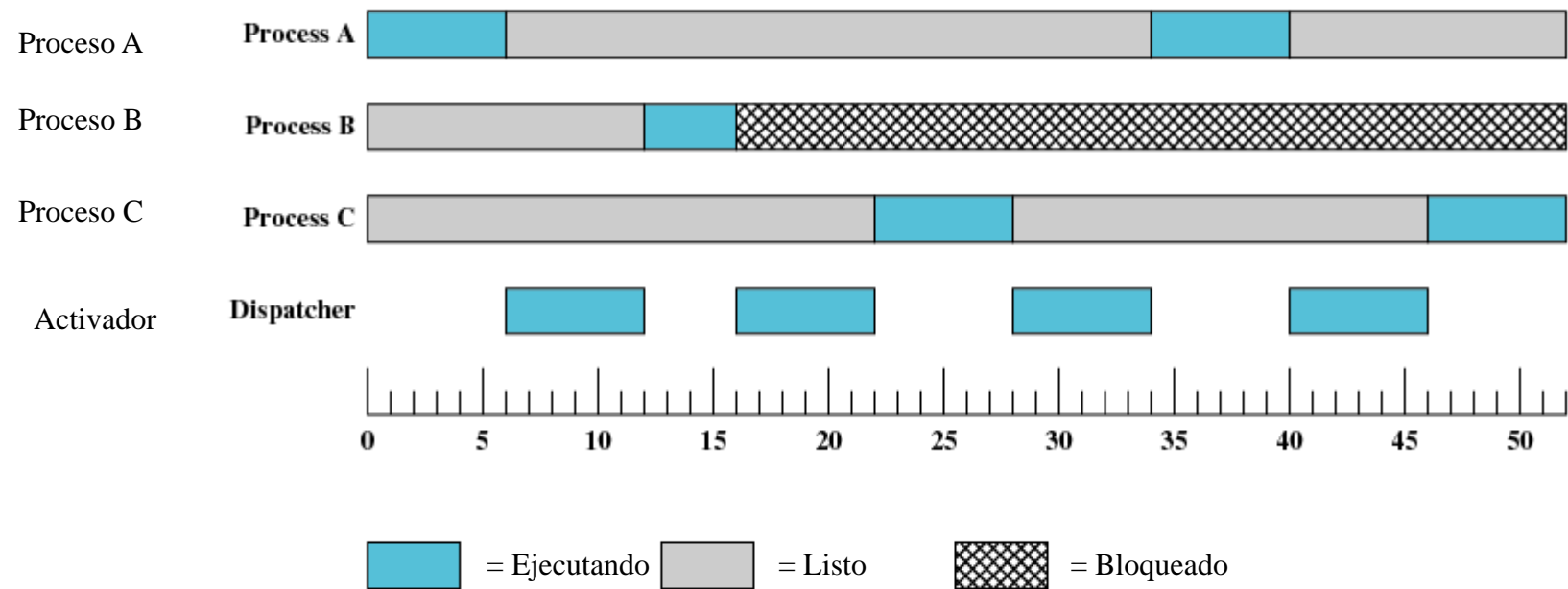
11

- Ejecutando
- Listo
 - ▣ Listo para ejecutar
- Bloqueado
 - ▣ Esperando a que se complete una operación de E/S
- El activador no puede seleccionar únicamente el proceso que lleve más tiempo en la cola ya que puede estar bloqueado



Estado de los procesos

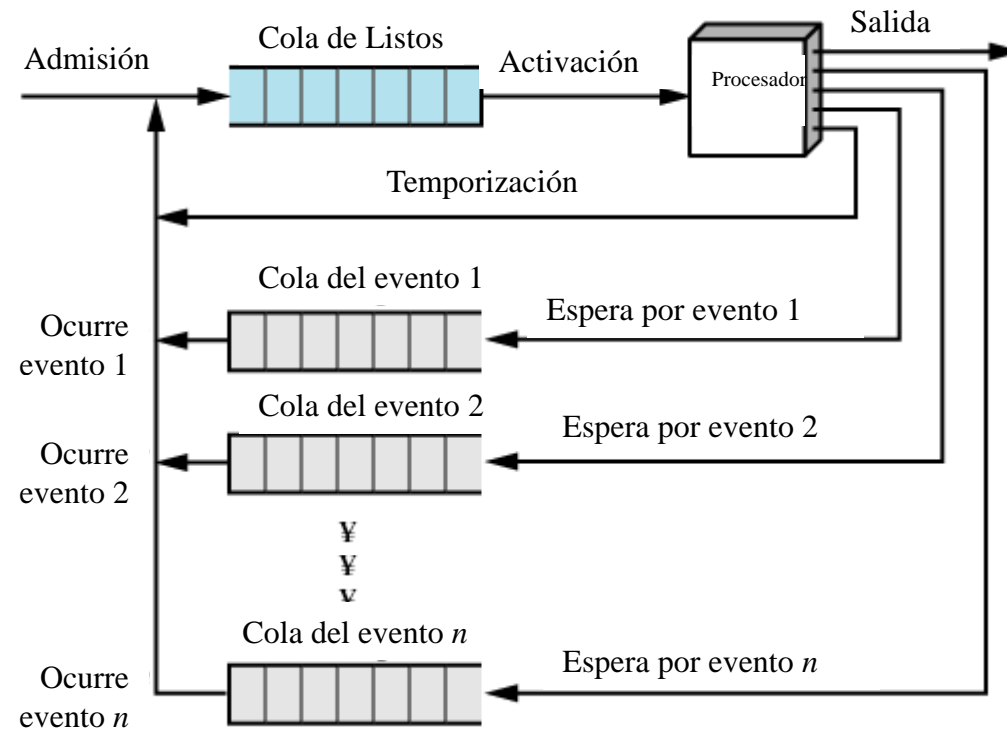
12



Ejemplo Estado de procesos

Múltiples colas de bloqueados

13



(b) Múltiples colas de Bloqueado

-Modelo de colas de la Figura - - - - -

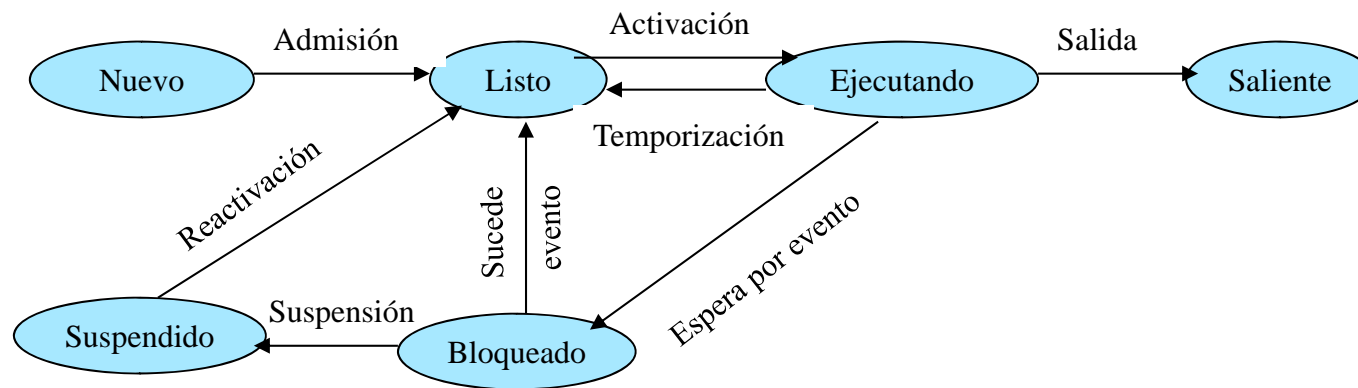
Procesos suspendidos

14

- El procesador es más rápido que las operaciones de E/S, por lo que todos los procesos estarían a la espera de dichas operaciones
- Mover estos procesos al disco para expandir la memoria
- El estado Bloqueado de un proceso se convierte en estado Suspendido cuando se transfiere al disco
- Dos nuevos estados
 - ▣ Bloqueado/Suspendido
 - ▣ Listo/Suspendido

Un único estado suspendido

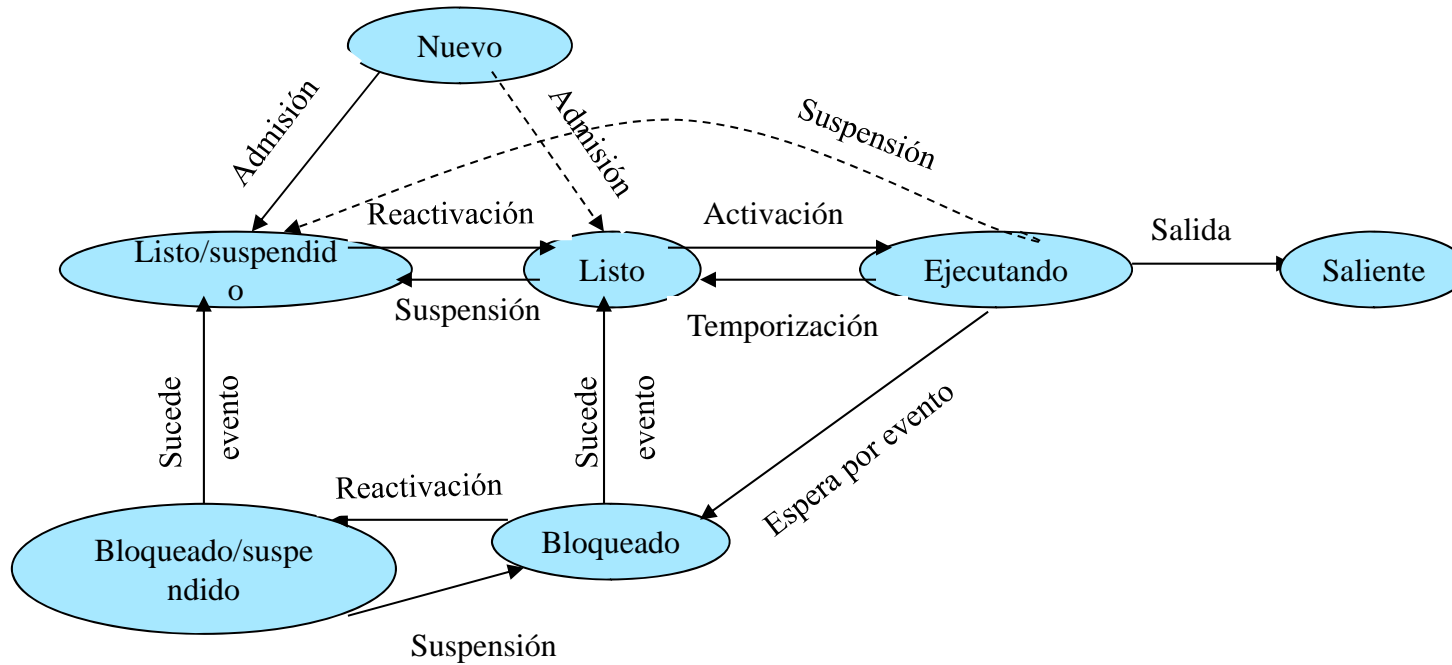
15



(a) Con un único estado Suspendido

Dos estados suspendidos

16



(b) Con dos estados Suspendidos

Diagrama de transición de estados de procesos con estado suspendidos

Razones para la suspensión de un proceso

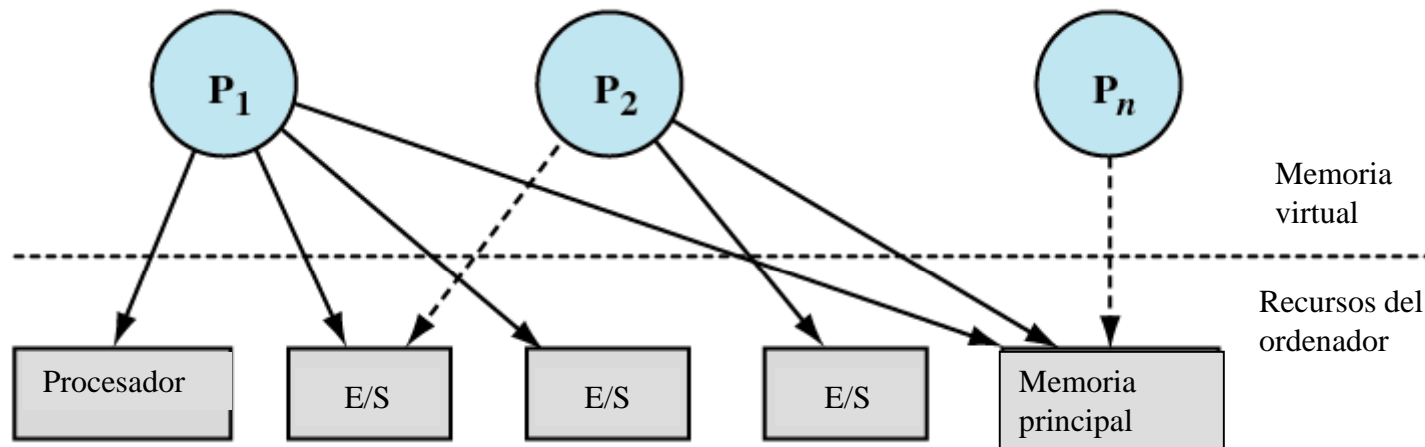
17

Tabla 3.3. Razones para la suspensión de un proceso

<i>Swapping</i>	El sistema operativo necesita liberar suficiente memoria principal para traer un proceso en estado Listo de ejecución.
Otras razones del sistema operativo	El sistema operativo puede suspender un proceso en segundo plano o de utilidad o un proceso que se sospecha puede causar algún problema.
Solicitud interactiva del usuario	Un usuario puede desear suspender la ejecución de un programa con motivo de su depuración o porque está utilizando un recurso.
Temporización	Un proceso puede ejecutarse periódicamente (por ejemplo, un proceso monitor de estadísticas sobre el sistema) y puede suspenderse mientras espera el siguiente intervalo de ejecución.
Solicitud del proceso padre	Un proceso padre puede querer suspender la ejecución de un descendiente para examinar o modificar dicho proceso suspendido, o para coordinar la actividad de varios procesos descendientes.

Procesos y recursos

18

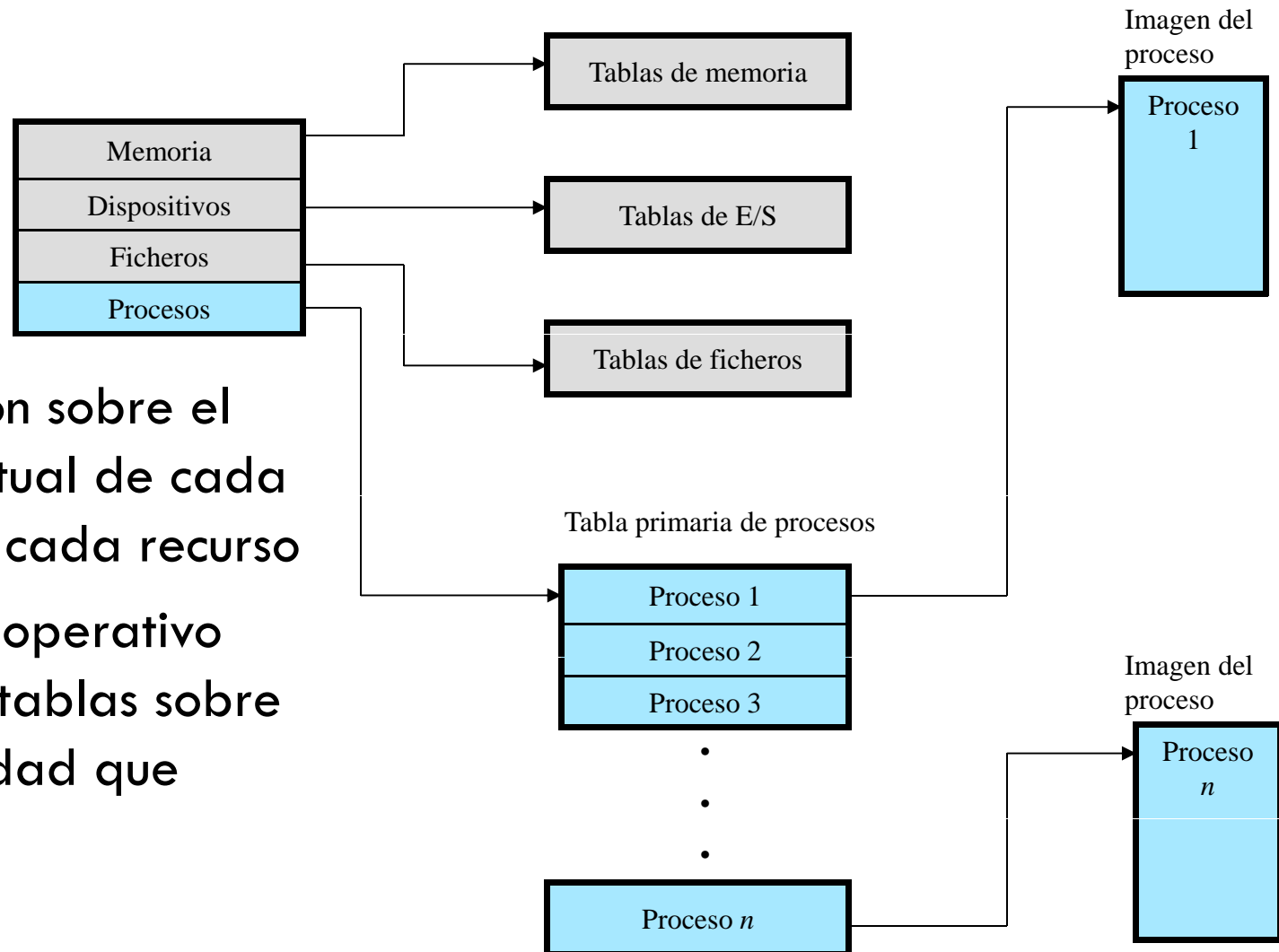


Procesos y recursos (reserva de recursos en una instantánea del sistema)

Estructuras de control del sistema operativo

19

- Información sobre el estado actual de cada proceso y cada recurso
- El sistema operativo construye tablas sobre cada entidad que gestiona



Bloque de control del proceso

20

- Identificación del proceso
- Información de estado del procesador
 - Registros visibles por el usuario
 - Registros de estado y control
 - Punteros de pila
- Información de control de proceso
 - Información de estado y de planificación
 - Comunicación entre procesos
 - Privilegios de proceso
 - Gestión de memoria
 - Propia de recursos y utilización

Modos de ejecución

21

- Modo usuario
 - ▣ Modo menos privilegiado
 - ▣ Los programas de usuario típicamente se ejecutan en este modo
- Modo Sistema, modo control o modo núcleo
 - ▣ Modo más privilegiado
 - ▣ Núcleo del sistema operativo

Creación de procesos

22

- Asignar un identificador de proceso único al proceso
- Reservar espacio para proceso
- Inicialización del bloque de control de proceso
- Establecer los enlaces apropiados
 - Por ejemplo: si el sistema operativo mantiene cada cola del planificador como una lista enlazada, el nuevo proceso debe situarse en la cola de Listos o en la cola de Listos/Suspendidos
- Creación o expansión de otras estructuras de datos
 - Por ejemplo: mantener un registro de auditoría

Cuándo se realiza el cambio de proceso

23

- Interrupción de reloj
 - ▣ El proceso ha ejecutado la máxima rodaja de tiempo permitida
- Interrupción de E/S
- Fallo de memoria
 - ▣ El procesador se encuentra con una referencia a una dirección de memoria virtual, por lo que ésta debe llevarse a la memoria principal

Cuándo se realiza el cambio de proceso

24

□ *Trap*

- ▣ Con él, el sistema operativo conoce si una condición de error o excepción es irreversible
- ▣ Puede provocar que el proceso se mueva al estado Saliente

□ Llamada al sistema

- ▣ Abrir un archivo

Cambio del estado del proceso

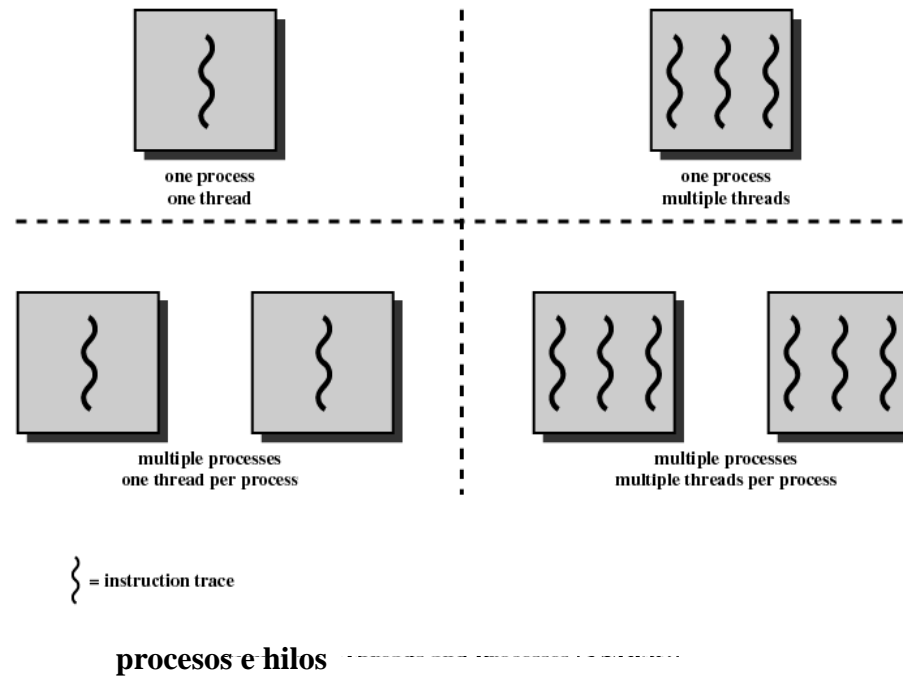
25

- ❑ Salvar el estado del procesador, incluyendo el contador de programa y otros registros
- ❑ Actualizar el bloque de control del proceso que está actualmente en el estado Ejecutando.
- ❑ Mover el bloque de control de proceso a la cola apropiada (Listo, Bloqueado, Listo/Suspendido)
- ❑ Seleccionar otro nuevo proceso para ejecutar
- ❑ Actualizar el bloque de control del proceso elegido
- ❑ Actualizar las estructuras de datos de gestión de memoria
- ❑ Restaurar el contexto del proceso seleccionado

Hilos (threads)

26

- Flujos de control independientes dentro de un mismo proceso con pila, variables locales y CP propios



Hilos (threads)/Ejemplos

27

- El sistema operativo da soporte a múltiples hilos de ejecución en un solo proceso.
- El MS-DOS da soporte a un único hilo.
- UNIX da soporte a múltiples procesos de usuario pero tan sólo da soporte a un hilo por proceso.
- Windows, Solaris, Linux, Mach, and OS/2 dan soporte a múltiples hilos.

Hilos (threads)

28

- Un estado de ejecución por hilo (Ejecutando, Listo, etc.).
- Un contexto de hilo que se almacena cuando no está en ejecución.
- Tiene una pila de ejecución.
- Por cada hilo, espacio de almacenamiento estático para variables locales.
- Acceso a la memoria y recursos de su proceso compartido con todos los hilos de su mismo proceso.

Hilos (threads)

29

- Ventajas
 - ▣ Lleva menos tiempo crear/finalizar/conmutar hilos que procesos.
 - ▣ Comparten memoria y archivos en un proceso y se pueden comunicar entre ellos sin necesidad de invocar al núcleo.
- Inconvenientes
 - ▣ Sincronización entre los hilos y entre los procesos.
 - ▣ Complejidad en la programación y depuración
- Diseño de programas basados en hilos
 - ▣ Aplicaciones con paralelismo potencial
 - ▣ Existencia de numerosas tareas de E/S
 - ▣ Existencia de eventos asíncronos

Planificación/objetivos

30

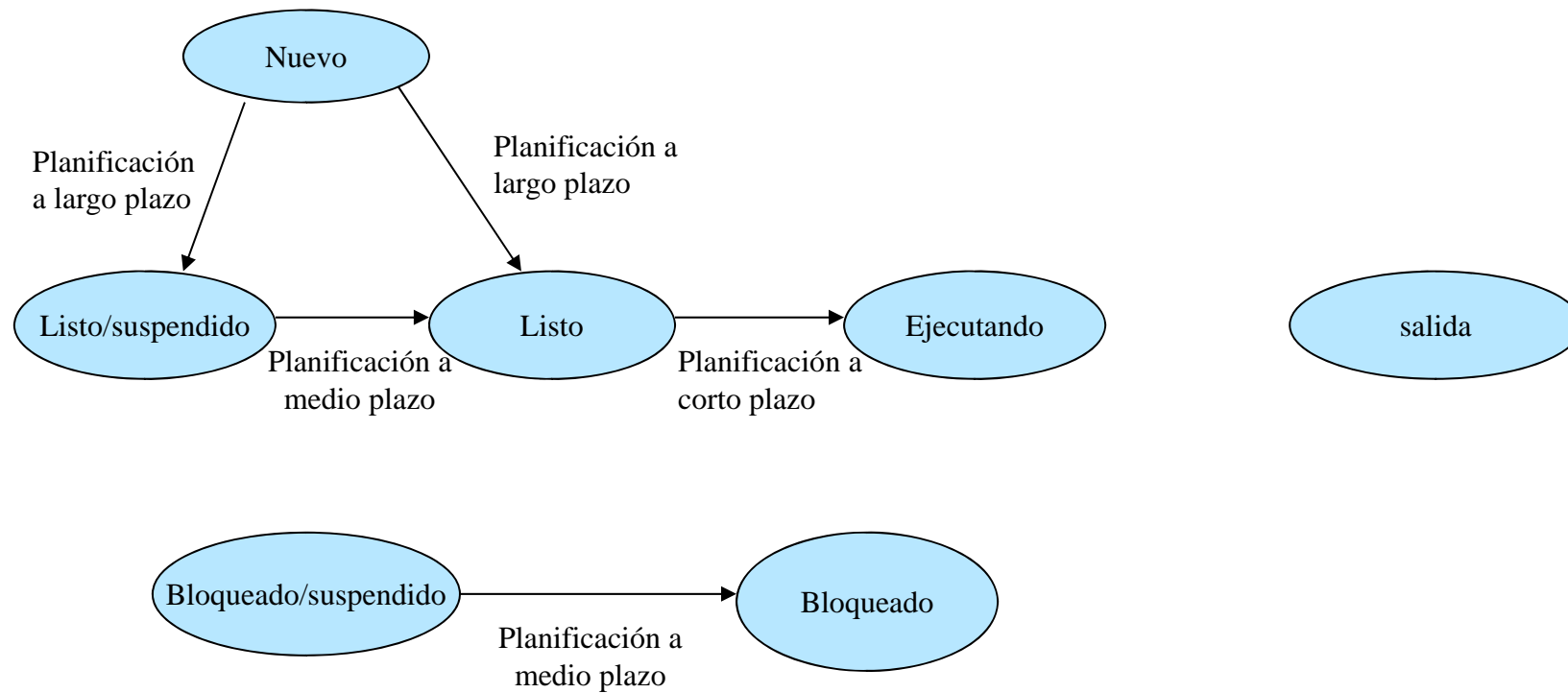
- Asignar procesos para ser ejecutados por el procesador(es)
- Tiempo de respuesta
- Rendimiento
- Eficiencia del procesador

Planificación/tipos

31

Planificación a largo plazo	La decisión de añadir un proceso al conjunto de procesos a ser ejecutados
Planificación a medio plazo	La decisión de añadir un proceso al número de procesos que están parcialmente o totalmente en la memoria principal
Planificación a corto plazo	La decisión por la que un proceso disponible será ejecutado por el procesador
Planificación de la E/S	La decisión por la que un proceso que está pendiente de una petición de E/S será atendido por un dispositivo de E/S disponible

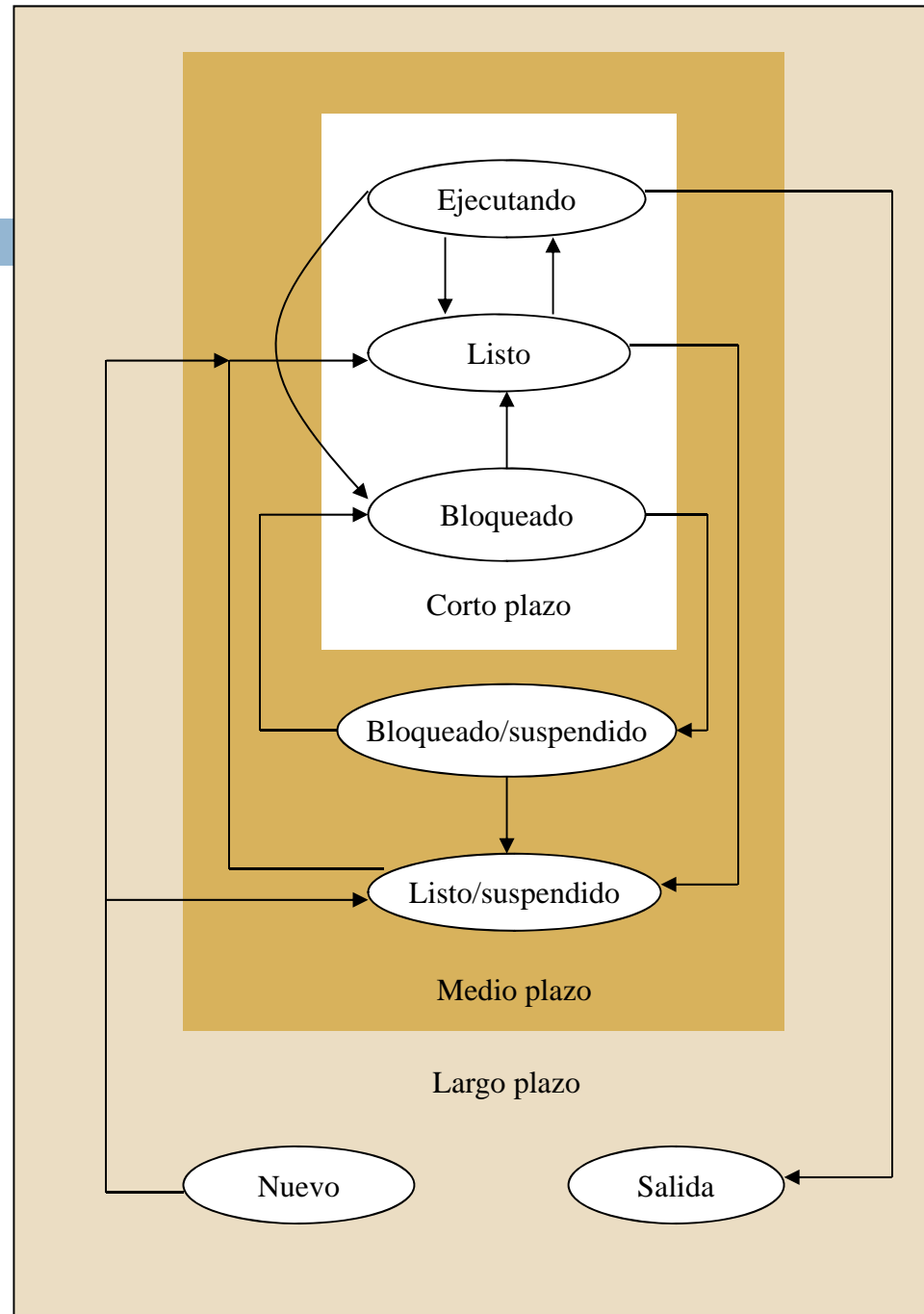
Planificación/tipos



Planificación y transiciones de estado de los procesos

Planificación

/niveles



Planificación a largo plazo

34

- Determina qué programas se admiten en el sistema para su procesamiento
- Controla el grado de multiprogramación
- Cuánto mayor sea el número de procesos creados, menor será el porcentaje de tiempo en que cada proceso se pueda ejecutar

Planificación a medio plazo

35

- Es parte de la función de intercambio
- Se basa en la necesidad de gestionar el grado de multiprogramación

Planificación a corto plazo

36

- Conocido como activador
- Ejecuta mucho más frecuentemente
- Se invoca siempre que ocurre un evento
 - ▣ Interrupciones de reloj
 - ▣ Interrupciones de E/S
 - ▣ Llamadas al sistema operativo
 - ▣ Señales (por ejemplo, semáforos)

Criterios de la planificación a corto plazo

37

- Orientados al usuario
 - ▣ Tiempo de respuesta
 - Tiempo que transcurre entre el envío de una petición y la aparición de la respuesta
- Orientados al sistema
 - ▣ Uso efectivo y eficiente del procesador
- Relacionados con las prestaciones
 - ▣ Criterios cuantitativos
 - ▣ Criterios medidos como el tiempo de respuesta y el rendimiento

Criterios

Orientados al usuario, relacionados con las prestaciones

Tiempo de estancia (*turnaround time*) Tiempo transcurrido desde que se lanza un proceso hasta que finaliza. Incluye el tiempo de ejecución sumado con el tiempo de espera por los recursos, incluyendo el procesador. Es una medida apropiada para trabajos por lotes.

Tiempo de respuesta (*response time*) Para un proceso interactivo, es el tiempo que transcurre desde que se lanza una petición hasta que se comienza a recibir la respuesta. A menudo un proceso puede producir alguna salida al usuario mientras continúa el proceso de la petición. De esta forma, desde el punto de vista del usuario, es una medida mejor que el tiempo de estancia. La planificación debe intentar lograr bajos tiempos de respuesta y maximizar el número de usuarios interactivos con tiempos de respuesta aceptables.

Fecha tope (*deadlines*) Cuando se puede especificar la fecha tope de un proceso, el planificador debe subordinar otros objetivos al de maximizar el porcentaje de fechas tope conseguidas.

Orientados al usuario, otros

Previsibilidad Un trabajo dado debería ejecutarse aproximadamente en el mismo tiempo y con el mismo coste a pesar de la carga del sistema. Una gran variación en el tiempo de respuesta o en el tiempo de estancia es malo desde el punto de vista de los usuarios. Puede significar una gran oscilación en la sobrecarga del sistema o la necesidad de poner a punto el sistema para eliminar las inestabilidades.

Criterios

Orientados al sistema, relacionados con las prestaciones

Rendimiento La política de planificación debería intentar maximizar el número de procesos completados por unidad de tiempo. Es una medida de cuánto trabajo está siendo realizado. Esta medida depende claramente de la longitud media de los procesos, pero está influenciada por la política de planificación, que puede afectar a la utilización.

Utilización del procesador Es el porcentaje de tiempo que el procesador está ocupado. Para un sistema compartido costoso, es un criterio significativo. En un sistema de un solo usuario y en otros sistemas, tales como los sistemas de tiempo real, este criterio es menos importante que algunos otros.

Orientados al sistema, otros

Equidad En ausencia de orientación de los usuarios o de orientación proporcionada por otro sistema, los procesos deben ser tratados de la misma manera y ningún proceso debe sufrir inanición.

Imposición de prioridades Cuando se asignan prioridades a los procesos, la política del planificador debería favorecer a los procesos con prioridades más altas.

Equilibrado de recursos La política del planificador debería mantener ocupados los recursos del sistema. Los procesos que utilicen poco los recursos que en un determinado momento están sobreutilizados, deberían ser favorecidos. Este criterio también implica planificación a medio plazo y a largo plazo.

Encolamiento

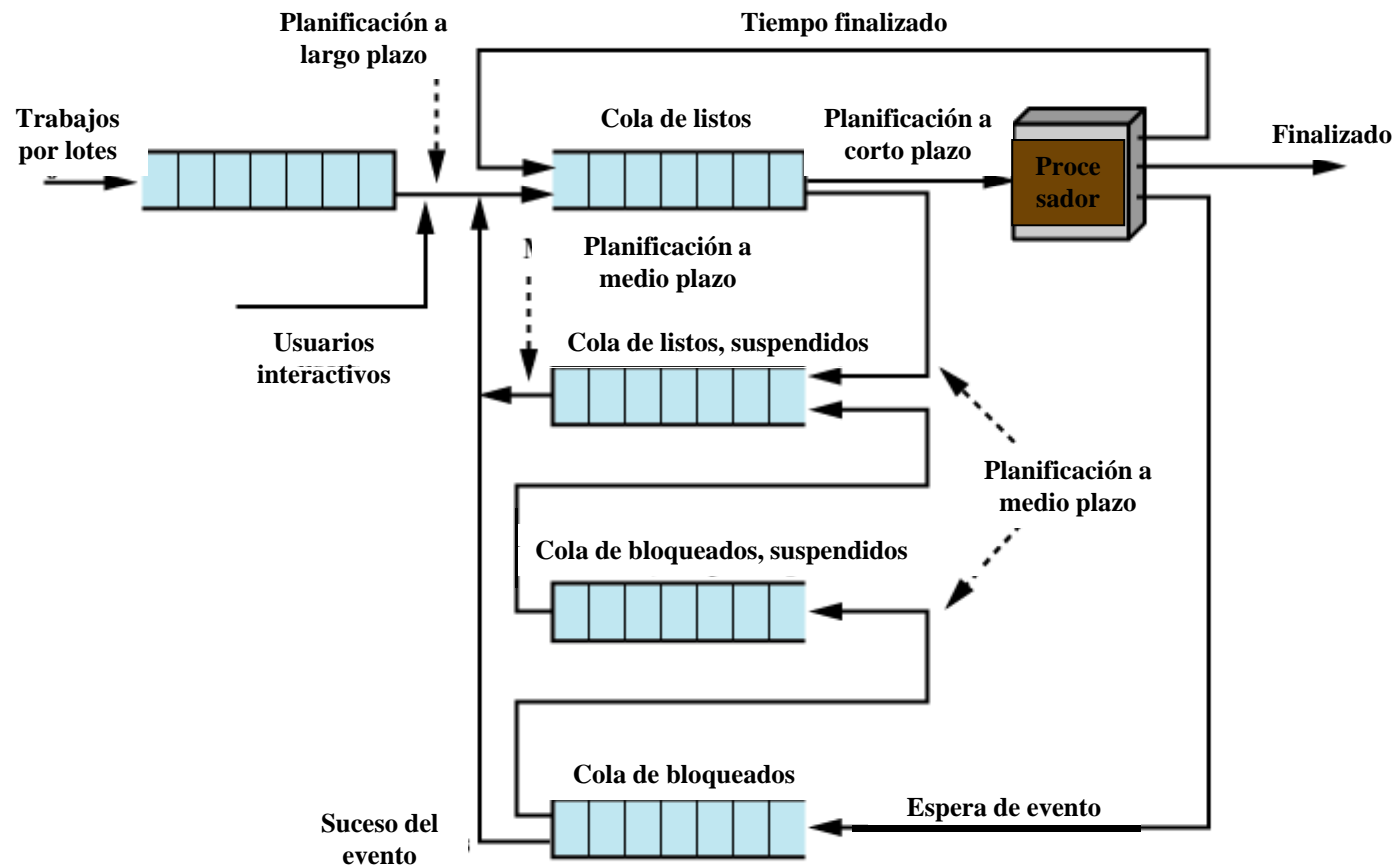


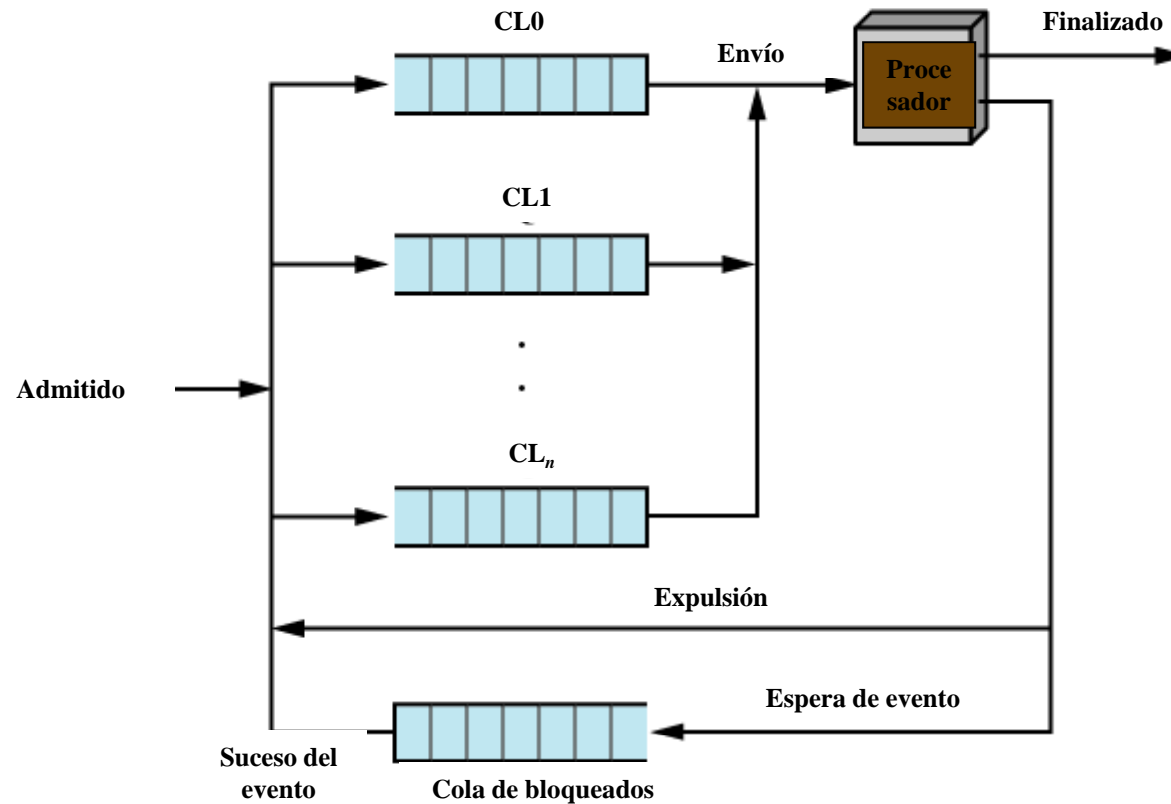
Diagrama de encolamiento para la planificación

Prioridades

41

- El planificador siempre elegirá un proceso de prioridad mayor sobre un proceso de prioridad menor
- Tiene múltiples colas de listos para representar cada nivel de prioridad
- Los procesos con prioridad más baja pueden sufrir inanición
 - ▣ Permite que un proceso cambie su prioridad basándose en su antigüedad o histórico de ejecución

Prioridades



Encolamiento con prioridades

Modo de decisión

43

- Sin expulsión (*nonpreemptive*)
 - ▣ Una vez que el proceso está en el estado Ejecutando, continuará ejecutando hasta que termina o se bloquea para esperar E/S
- Con expulsión (*preemptive*)
 - ▣ Un proceso ejecutando en un determinado momento puede ser interrumpido y pasado al estado de listo por el sistema operativo
 - ▣ Puede proporcionar mejor servicio ya que previene que cualquier proceso pueda monopolizar el procesador durante mucho tiempo

Primero en llegar, primero en servirse [*First-Come-First-Served* (FCFS)]

Primero en llegar,
primero en servirse
(FCFS)

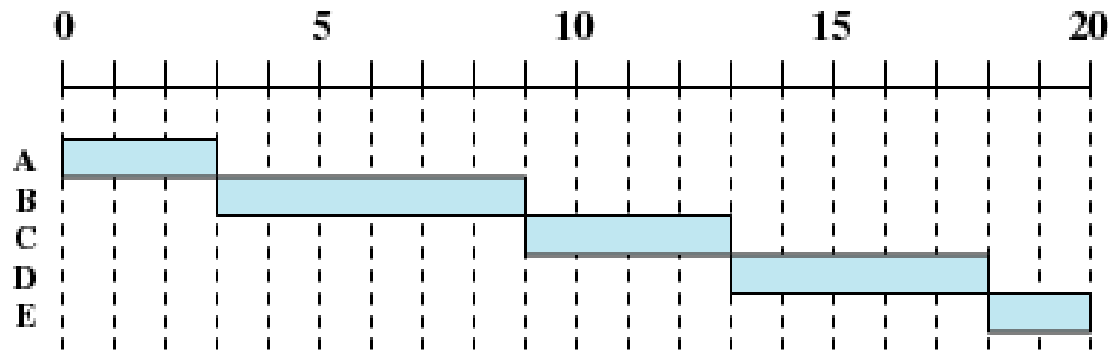


Table 9.4 Process Scheduling Example

Process	Arrival Time	Service Time
A	0	3
B	2	6
C	4	4
D	6	5
E	8	2

- Cada proceso se une a la cola de listos
- Cuando el proceso actualmente en ejecución deja de ejecutar, se selecciona el proceso que ha estado más tiempo en la cola de listos

Primero en llegar, primero en servirse (FCFS)

45

- Un proceso corto tendrá que esperar mucho tiempo antes de poder ejecutar
- Favorece procesos limitados por el procesador
 - ▣ Los procesos limitados por la E/S deben esperar hasta que el proceso limitado por el procesador haya terminado

Turno rotatorio [*Round Robin* (RR)]

Turno rotatorio
(RR), $q = 1$

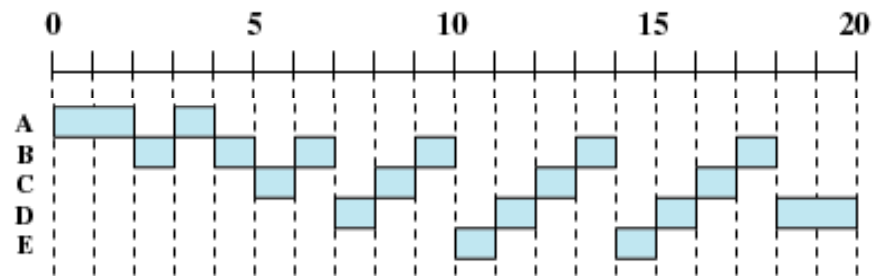


Table 9.4 Process Scheduling Example

Process	Arrival Time	Service Time
A	0	3
B	2	6
C	4	4
D	6	5
E	8	2

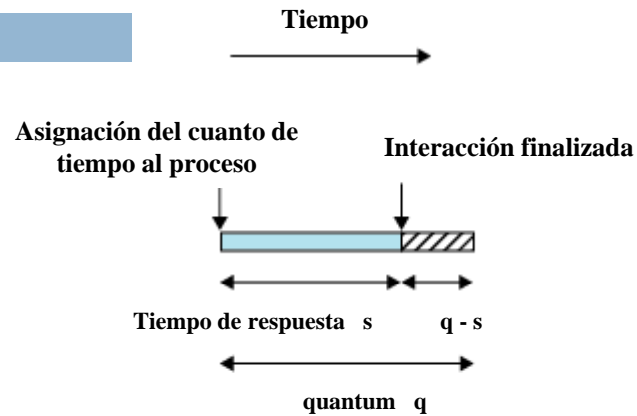
- Utiliza la expulsión basándose en el reloj
- Se determina una cantidad de tiempo, lo que permite que cada proceso utilice el procesador durante ese intervalo

Turno rotatorio (*Round Robin*)

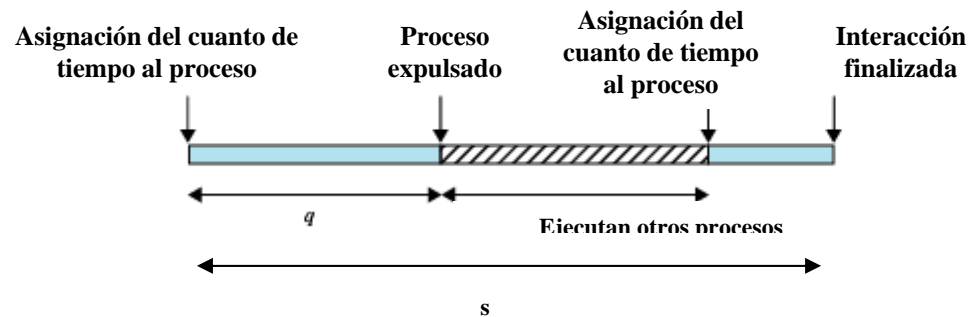
47

- Las interrupciones de reloj se suceden cada cierto intervalo de tiempo
- Cuando sucede la interrupción, el proceso actual en ejecución se sitúa en la cola de listos
 - ▣ Se selecciona el siguiente trabajo
- Esta técnica se conoce como cortar el tiempo (*time slicing*)

Turno rotatorio (*Round Robin*)



(a) Cuanto de tiempo mayor que la interacción típica



(b) Cuanto de tiempo menor que la interacción típica

Efecto del tamaño del *quantum* de tiempo de expulsión

Turno rotatorio (*Round Robin*)

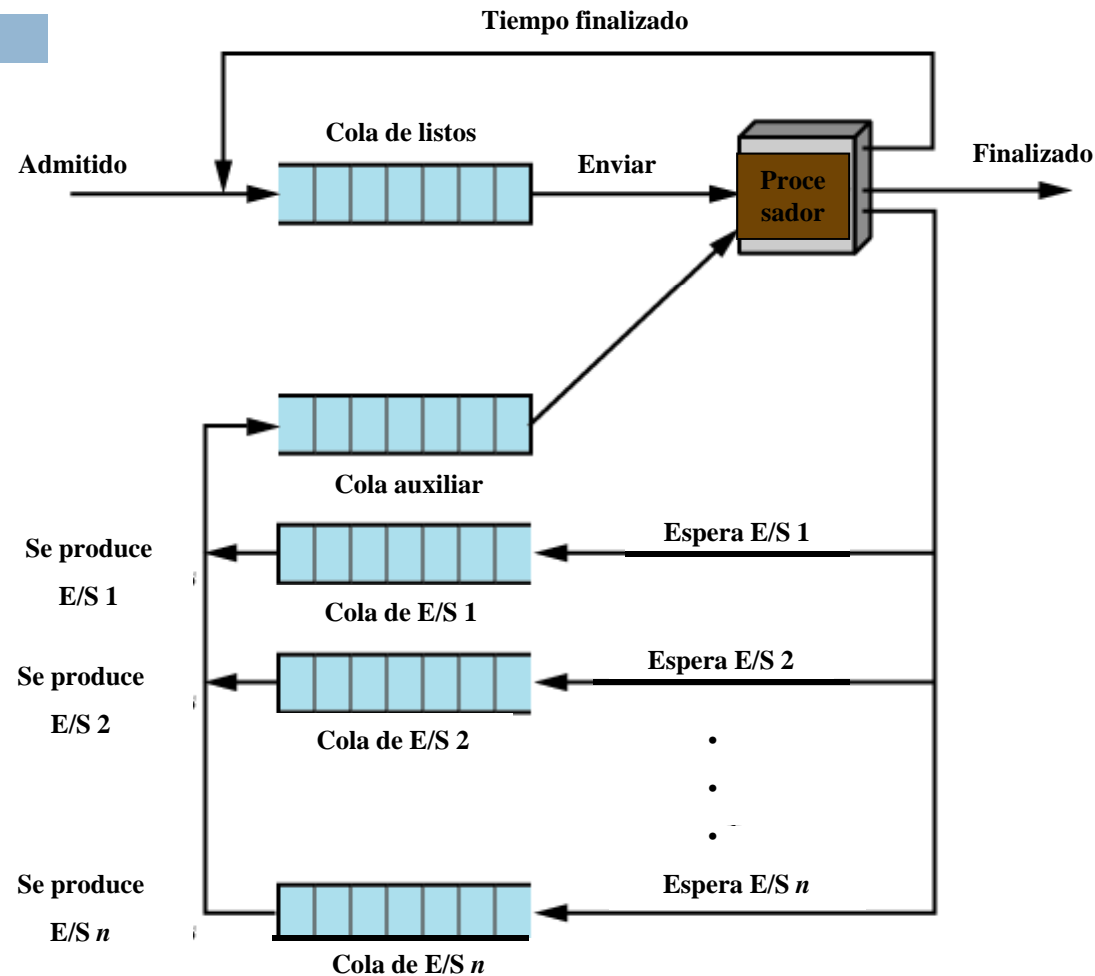


Diagrama de encolamiento para el planificador en turno rotatorio virtual

Primero el proceso más corto [*Shortest Process Next (SPN)*]

Primero el proceso
más corto (SPN)

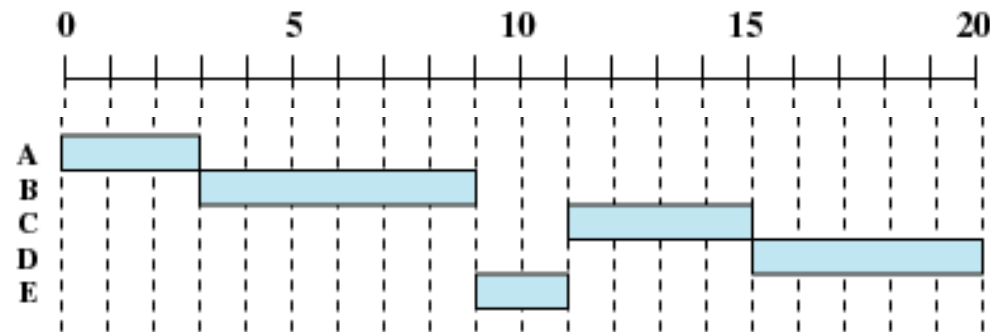


Table 9.4 Process Scheduling Example

Process	Arrival Time	Service Time
A	0	3
B	2	6
C	4	4
D	6	5
E	8	2

- Política no expulsiva
- Se selecciona el proceso con el tiempo de procesamiento esperado más corto
- El proceso más corto se situará a la cabeza de la cola, delante de los procesos más largos

Primero el proceso más corto

(Shortest Process Next)

51

- Se reduce la predecibilidad de los procesos más largos
- Si el tiempo estimado para un proceso no es el correcto, el sistema operativo podría abortar el trabajo
- Posibilidad de inanición para los procesos más largos

Menor tiempo restante [*Shortest Remaining Time (SRT)*]

Menor tiempo
restante (SRT)

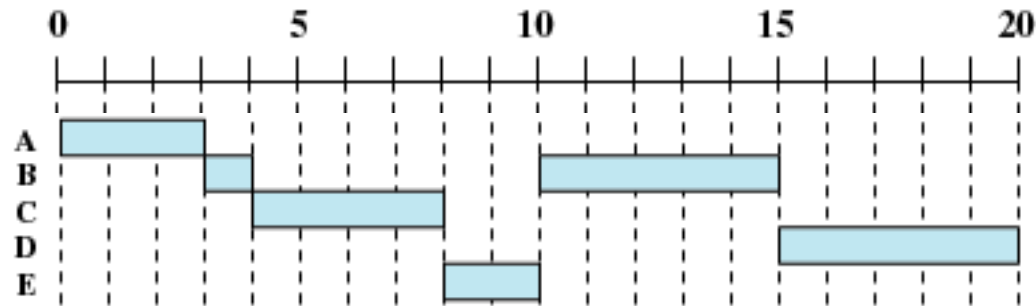


Table 9.4 Process Scheduling Example

Process	Arrival Time	Service Time
A	0	3
B	2	6
C	4	4
D	6	5
E	8	2

- La política del menor tiempo restante es una versión expulsiva de primero el proceso más corto (SPN)
- Debe tener una estimación del tiempo de proceso

Retroalimentación (*feedback*)

Retroalimentación

$q = 1$

Retroalimentación

$q = 2^i$

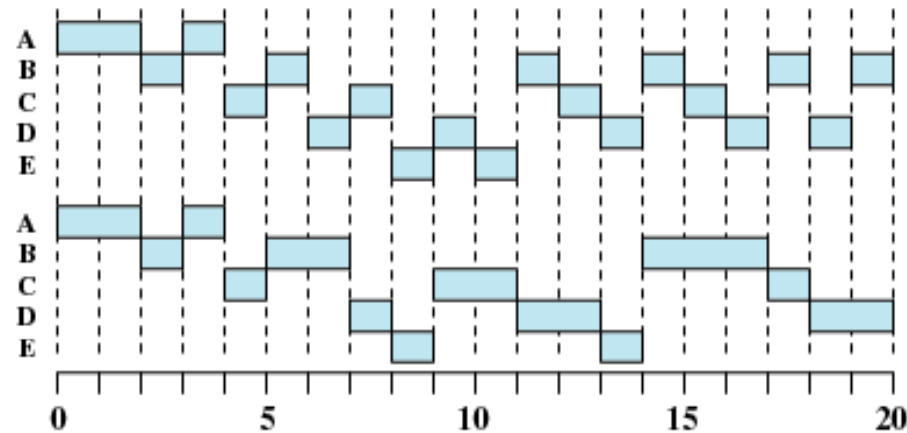
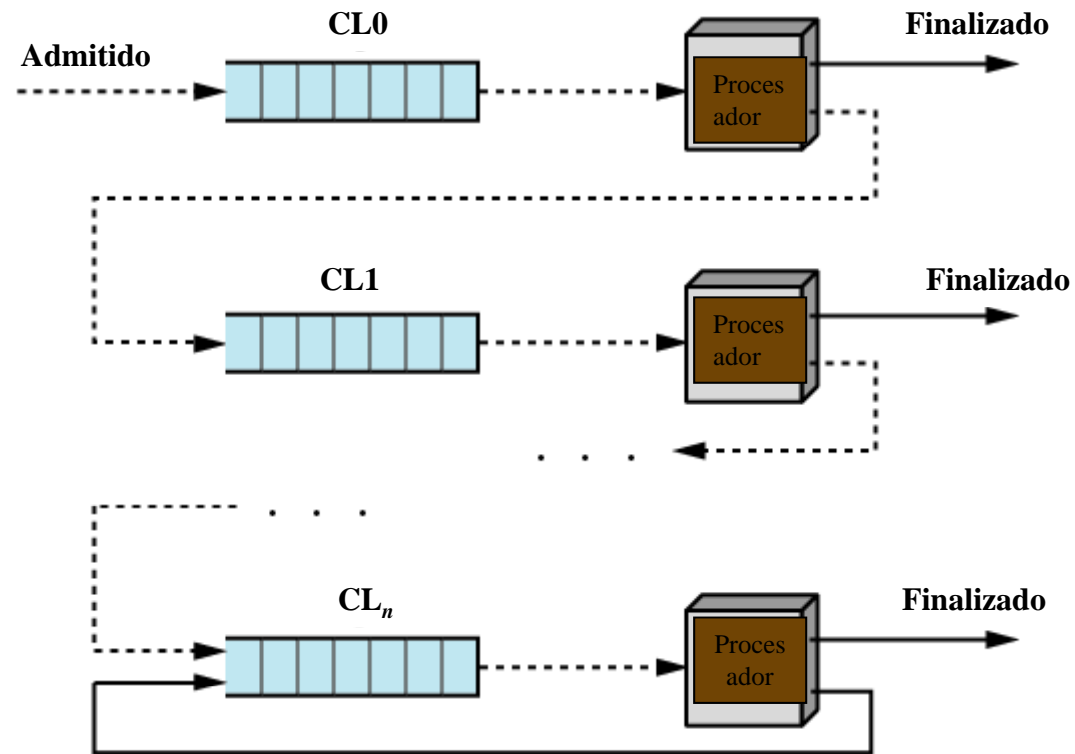


Table 9.4 Process Scheduling Example

Process	Arrival Time	Service Time
A	0	3
B	2	6
C	4	4
D	6	5
E	8	2

- Se penaliza a los trabajos que han estado ejecutando más tiempo
- Si no podemos basarnos en el tiempo de ejecución restante, nos podemos basar en el tiempo de ejecución utilizado hasta el momento
- Los procesos van descendiendo a colas inferiores después de cada ejecución
- Variante: Puedes ejecutar 2^q unidades de tiempo.

Retroalimentación (*feedback*)



Planificación retroalimentada

	Función de Selección	Modo de Decisión	Rendimiento	Tiempo de respuesta	Rendimiento	Efecto sobre los Procesos	Inanición
FCFS	$\max[w]$	No expulsiva	No especificado	Puede ser alto especialmente si hay mucha diferencia entre los tiempos de ejecución de los procesos	Mínimo	Penaliza procesos cortos; penaliza procesos con mucha E/S	No
Turno Rotatorio (<i>round robin</i>)	constante	Expulsiva (por rodajas de tiempo)	Puede ser mucho si la rodaja es demasiado pequeña	Proporciona buen tiempo de respuesta para procesos cortos	Mínimo	Tratamiento justo	No
SPN	$\min[s]$	No expulsiva	Alto	Proporciona buen tiempo de respuesta para procesos cortos	Puede ser alto	Penaliza procesos largos	Posible
SRT	$\min[s-e]$	Expulsiva (a la llegada)	Alto	Proporciona buen tiempo de respuesta	Puede ser alto	Penaliza procesos largos	Posible
HRRN	$\max(w+s/s)$	No expulsiva	Alto	Proporciona buen tiempo de respuesta	Puede ser alto	Buen equilibrio	No
Feedback	(ver texto)	Expulsiva (por rodajas de tiempo)	No especificado	No especificado	Puede ser alto	Puede favorecer procesos con mucha E/S	Posible

w = tiempo de espera

e = tiempo de ejecución hasta el momento

s = tiempo total de servicio requerido por el proceso, incluyendo e

Características de algunas políticas de planificación

Comparación de las políticas de planificación

	Proceso	A	B	C	D	E	Mean
	Tiempo de llegada	0	2	4	6	8	
	Tiempo de servicio (T_s)	3	6	4	5	2	
FCFS	Tiempo de finalización	3	9	13	18	20	8.60
	Tiempo de estancia (Tr)	3	7	9	12	12	
	Tr/T_s	1.00	1.17	2.25	2.40	6.00	
RR $q = 1$	Tiempo de finalización	4	18	17	20	15	10.80
	Tiempo de estancia (Tr)	4	16	13	14	7	
	Tr/T_s	1.33	2.67	3.25	2.80	3.50	
RR $q = 4$	Tiempo de finalización	3	17	11	20	19	10.00
	Tiempo de estancia (Tr)	3	15	7	14	11	
	Tr/T_s	1.00	2.5	1.75	2.80	5.50	
SPN	Tiempo de finalización	3	9	15	20	11	7.60
	Tiempo de estancia (Tr)	3	7	11	14	3	
	Tr/T_s	1.00	1.17	2.75	2.80	1.50	
SRT	Tiempo de finalización	3	15	8	20	10	7.20
	Tiempo de estancia (Tr)	3	13	4	14	2	
	Tr/T_s	1.00	2.17	1.00	2.80	1.00	
HRRN	Tiempo de finalización	3	9	13	20	15	8.00
	Tiempo de estancia (Tr)	3	7	9	14	7	
	Tr/T_s	1.00	1.17	2.25	2.80	3.5	
FB $q = 1$	Tiempo de finalización	4	20	16	19	11	10.00
	Tiempo de estancia (Tr)	4	18	12	13	3	
	Tr/T_s	1.33	3.00	3.00	2.60	1.5	
FB $q = 2^i$	Tiempo de finalización	4	17	18	20	14	10.60
	Tiempo de estancia (Tr)	4	15	14	14	6	
	Tr/T_s	1.33	2.50	3.50	2.80	3.00	

Aspectos Multimedia

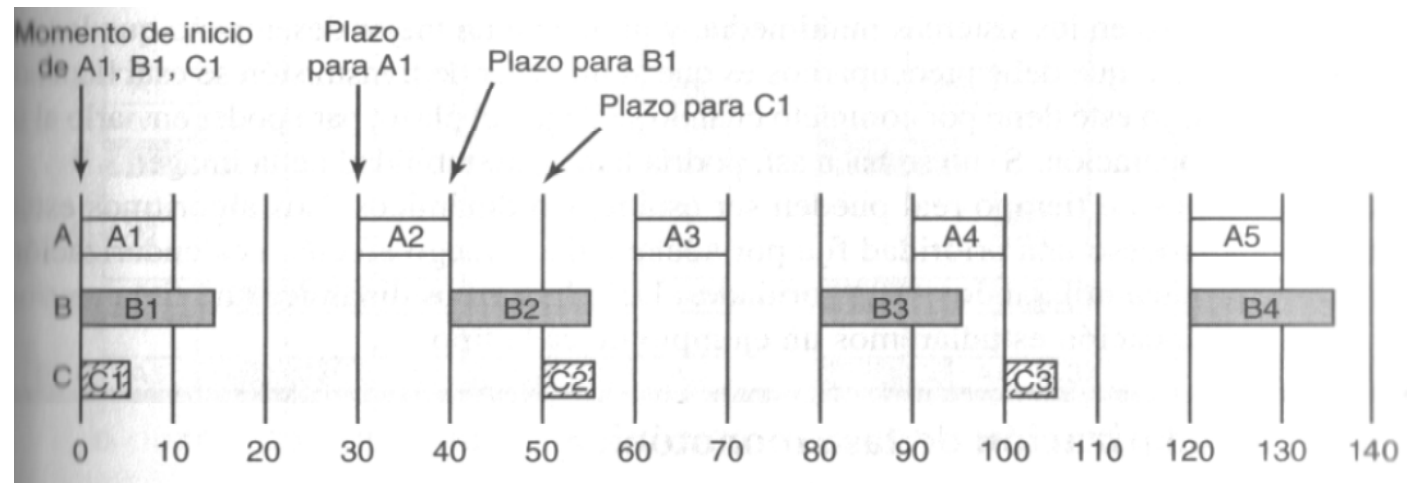
57

- Los sistemas operativos que manejan multimedia difieren de los tradicionales en:
 - ▣ Planificación de procesos
 - ▣ Sistema de archivos
 - ▣ Planificación de disco

Planificación Multimedia

58

- Planificación de proceso homogéneos
 - ▣ Servidores de video con número fijo de películas, con mismo frame-rate y definición
 - ▣ Se usaría round-robin asegurando la frecuencia correcta con un reloj basado en esta. Ej. 30/seg NTSC
 - ▣ No es factible en la realidad.



Planificación Multimedia

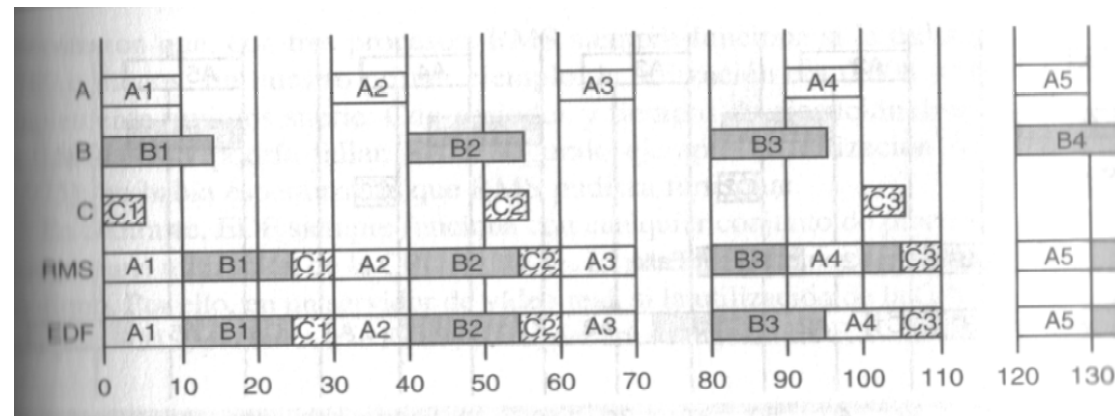
59

- Planificación de tiempo real:
 - ▣ Número de usuarios variable
 - ▣ Diferente frame-rate y formatos de compresión
 - ▣ No siempre es factible
- Enfoques
 - ▣ Planificación de tasa monotónica
 - ▣ Planificación de plazo más cercano primero

Planificación Multimedia

60

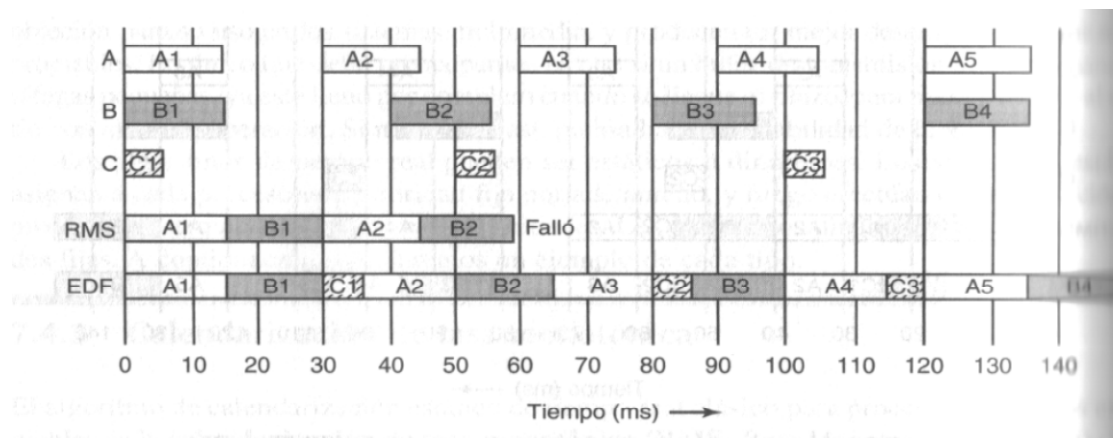
- Planificación de tasa monotónica (RMS)
- Debe cumplir:
 - ▣ Terminan en su periodo
 - ▣ No hay dependencias
 - ▣ Mismo tiempo CPU en cada ráfaga
 - ▣ Si hay no periódicos, no tienen plazo
 - ▣ Expropiación instantánea (poco factible)



Planificación Multimedia

61

- Planificación de plazo más cercano primero (EDF)
 - ▣ Dinámico, no requiere periodicidad
 - ▣ Mantiene lista con orden de plazo
 - ▣ Expropia si plazos de procesos en lista cumplen



Sistemas operativos de tiempo real

62

- La corrección del sistema depende no sólo del resultado lógico de la computación sino también del momento en el que se producen los resultados
- Las tareas o procesos intentan controlar o reaccionar a eventos que tienen lugar en el mundo exterior
- Estos eventos ocurren en «tiempo real» y las tareas deben ser capaces de mantener el ritmo de aquellos eventos que les conciernen

Sistemas operativos de tiempo real

63

- Control de experimentos de laboratorio
- Control de procesos en plantas industriales
- Robótica
- Control del tráfico aéreo
- Telecomunicaciones
- Sistemas militares de mando y control

Características de los sistemas operativos de tiempo real

64

□ Determinista

- ▣ Realiza las operaciones en instantes de tiempo fijos predeterminados o dentro de intervalos de tiempo predeterminados
- ▣ Se preocupa de cuánto tiempo tarda el sistema operativo antes del reconocimiento de una interrupción y de si el sistema tiene capacidad suficiente para manejar todas las solicitudes dentro del tiempo requerido

Características de los sistemas operativos de tiempo real

65

□ Reactividad

- ▣ Se preocupa de cuánto tiempo tarda el sistema operativo, después del reconocimiento, en servir la interrupción
- ▣ Incluye la cantidad de tiempo necesario para comenzar a ejecutar la interrupción
- ▣ Incluye la cantidad de tiempo para realizar la interrupción
- ▣ El efecto del anidamiento de interrupciones

Características de los sistemas operativos de tiempo real

66

- Control del usuario
 - ▣ El usuario especifica prioridad
 - ▣ Especifica la paginación
 - ▣ Especifica qué procesos deben residir siempre en memoria principal
 - ▣ Especifica qué algoritmos de transferencia a disco deben utilizarse
 - ▣ Especifica qué derechos tienen los procesos

Características de los sistemas operativos de tiempo real

67

- Fiabilidad

- ▣ La degradación de sus prestaciones puede tener consecuencias catastróficas

- Operación de fallo suave

- ▣ Habilidad del sistema de fallar de tal manera que se preserve tanta capacidad y datos como sea posible
 - ▣ Estabilidad

Características de los sistemas operativos de tiempo real

68

- ❑ Cambio de proceso o hilo rápido
- ❑ Pequeño tamaño
- ❑ Capacidad para responder rápidamente a interrupciones externas
- ❑ Multitarea con herramientas para la comunicación entre procesos como semáforos, señales y eventos

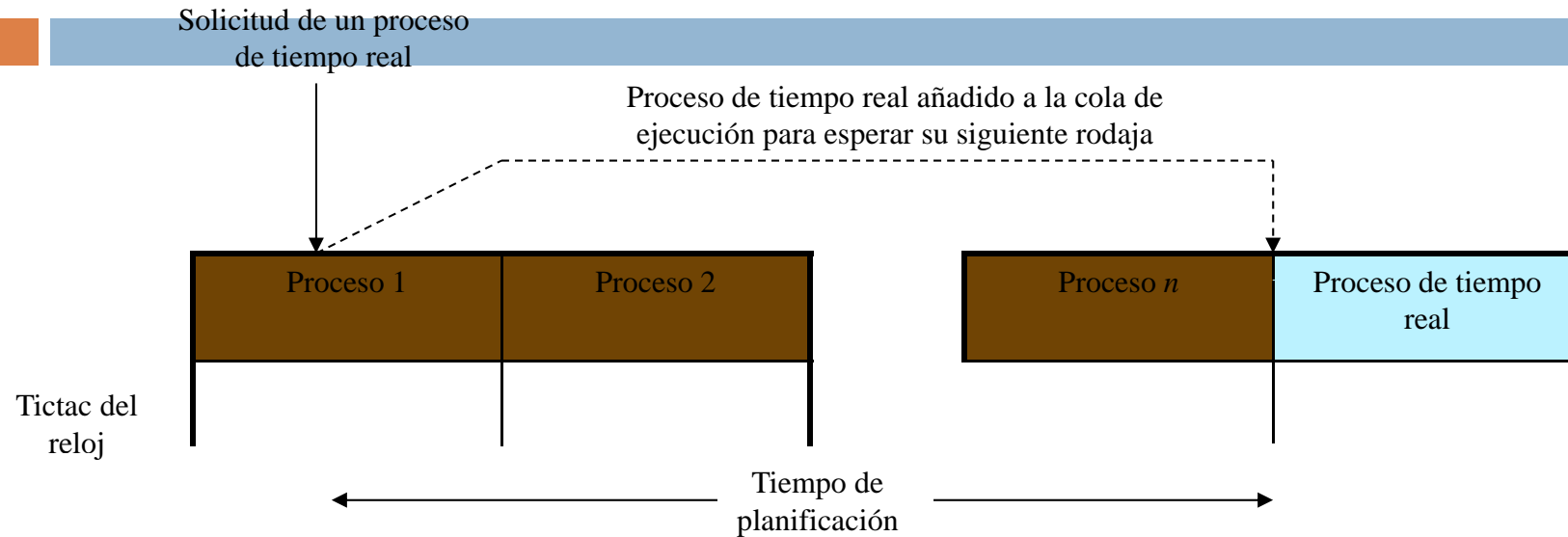
Características de los sistemas operativos de tiempo real

69

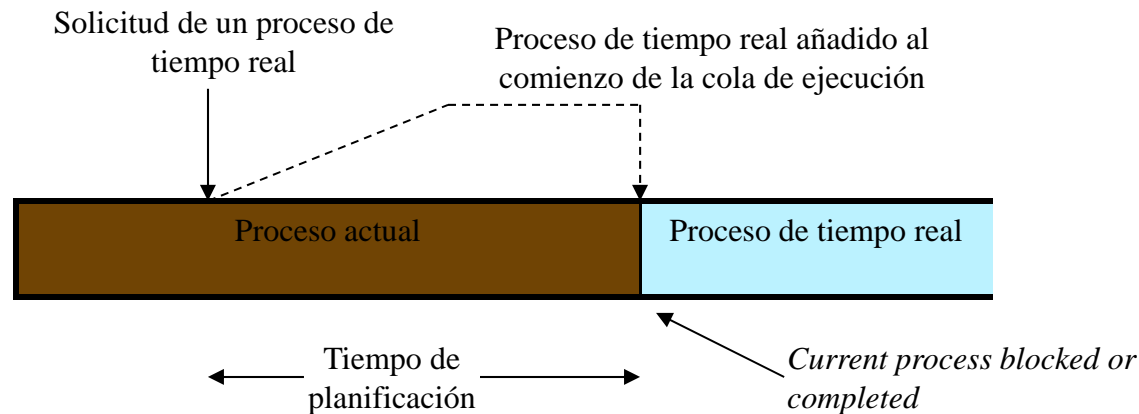
- Utilización de ficheros secuenciales especiales que pueden acumular datos a alta velocidad
- Planificación expulsiva basada en prioridades
- Minimización de los intervalos durante los cuales se deshabilitan las interrupciones
- Primitivas para retardar tareas durante una cantidad dada de tiempo y para parar/retomar tareas
- Alarmas y temporizaciones especiales

Planificación de procesos de tiempo real

70



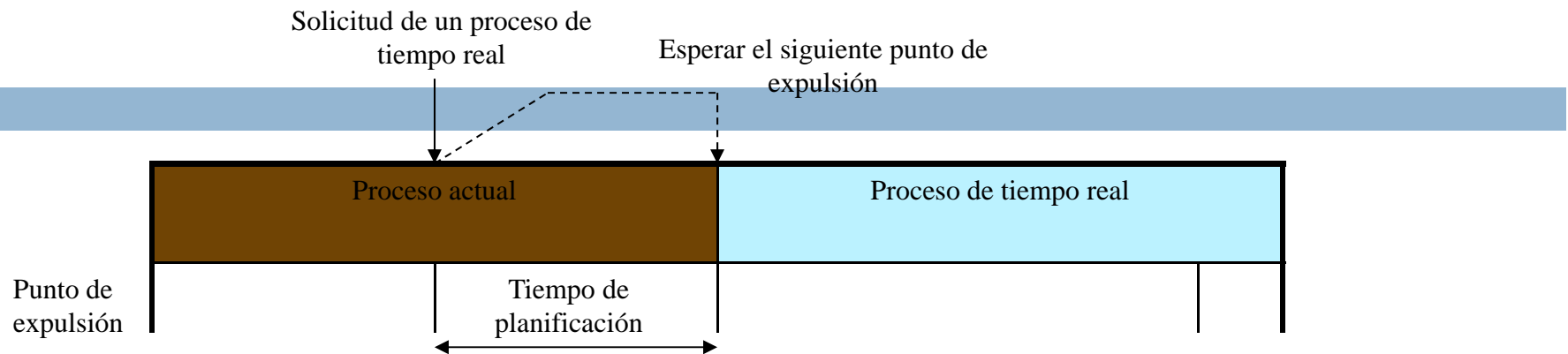
(a) Planificador expulsivo de turno circular



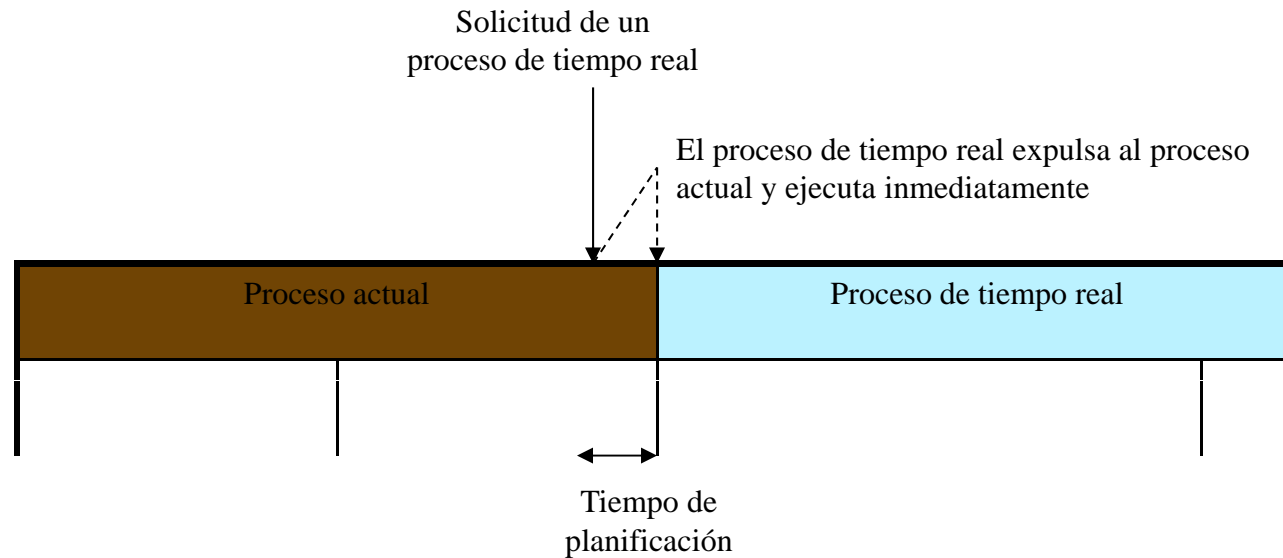
(b) Planificador no expulsivo dirigido por prioridad

Planificación de procesos de tiempo real

71



(c) Planificador expulsivo dirigido por prioridad en puntos de expulsión



(d) Planificador expulsivo inmediato

Planificación de procesos de tiempo real

Planificación de tiempo real

72

- Estática dirigida por tabla
 - ▣ Determina, en tiempo de ejecución, cuándo debe comenzar a ejecutarse cada tarea
- Estática con expulsión dirigida por prioridad
 - ▣ Se utiliza un planificador expulsivo tradicional basado en prioridades
- Dinámica basada en un plan
 - ▣ La factibilidad se determina en tiempo de ejecución
- Dinámica de mejor esfuerzo
 - ▣ No se realiza análisis de factibilidad

Planificación por plazos

73

- Las aplicaciones de tiempo real no se preocupan tanto de la velocidad de ejecución como de completar sus tareas

Planificación por plazos

74

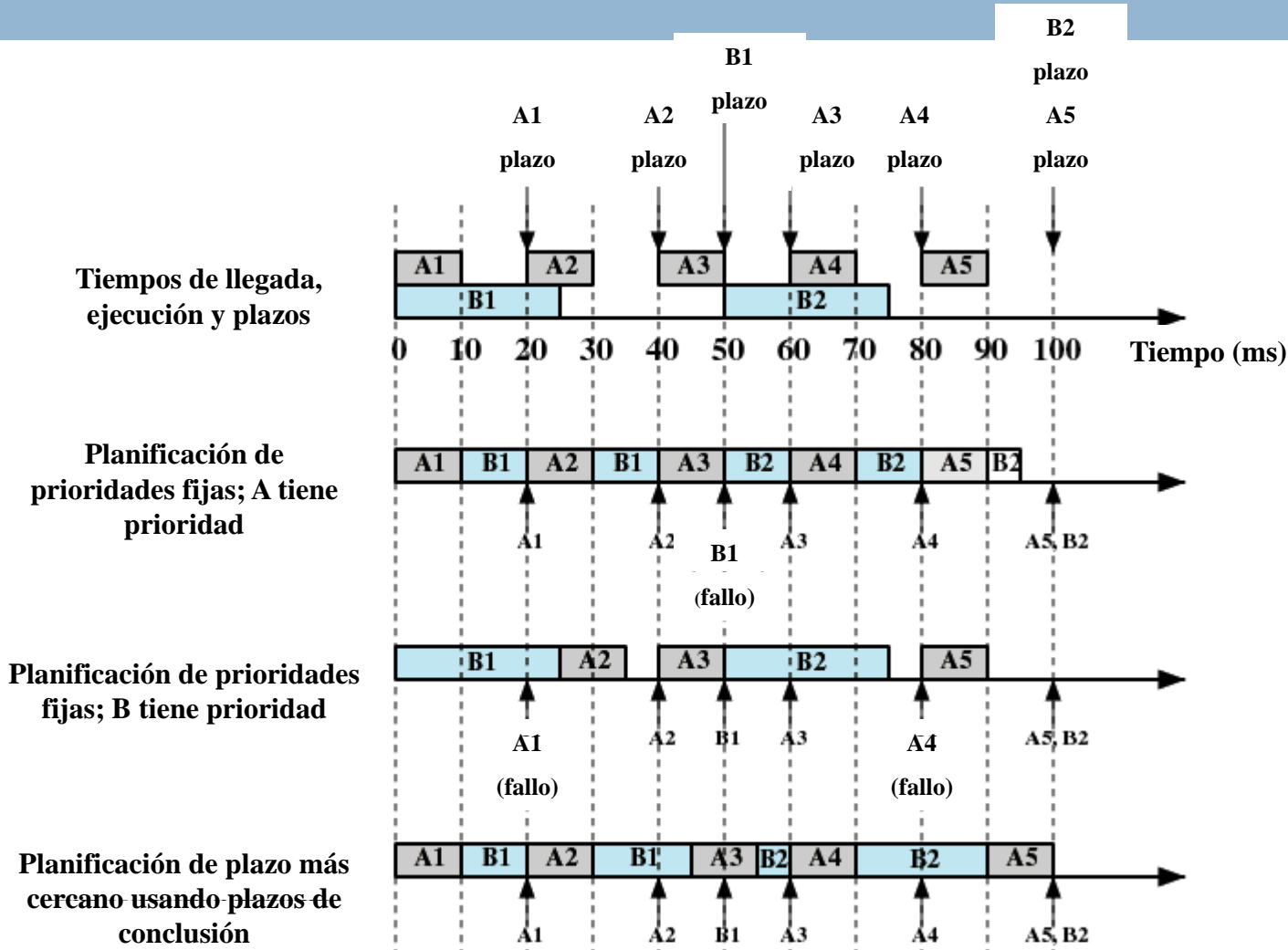
- Información utilizada
 - ▣ Tiempo de activación
 - ▣ Plazo de comienzo
 - ▣ Plazo de conclusión
 - ▣ Tiempo de proceso
 - ▣ Recursos requeridos
 - ▣ Prioridad
 - ▣ Estructura de subtareas

Dos tareas

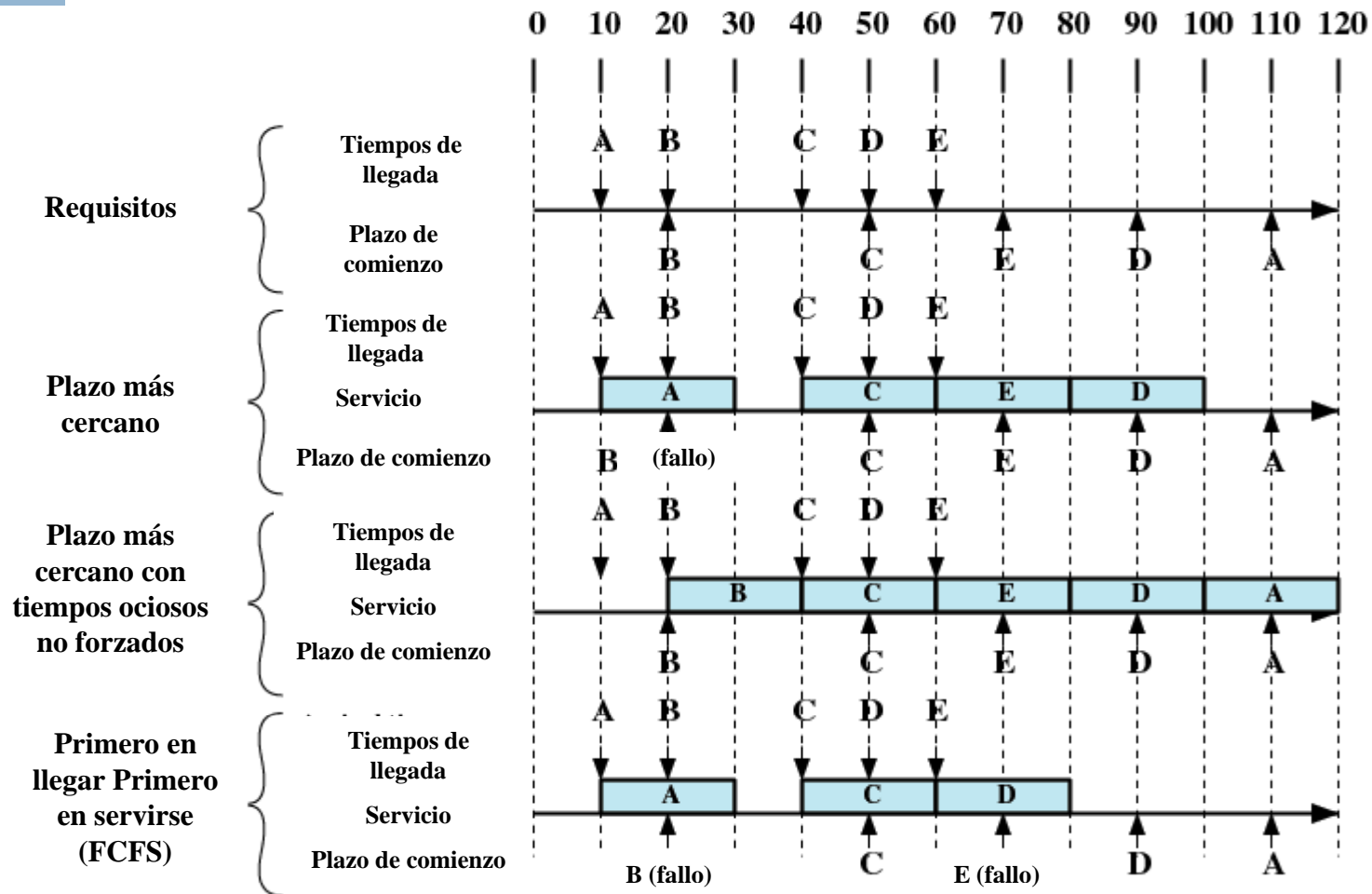
75

Perfil de ejecución de dos tareas periódicas

Proceso	Tiempo de llegada	Tiempo de ejecución	Plazo de conclusión
A(1)	0	10	20
A(2)	20	10	40
A(3)	40	10	60
A(4)	60	10	80
A(5)	80	10	100
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
B(1)	0	25	50
B(2)	50	25	100
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•



Planificación de tareas periódicas de tiempo real con plazos de conclusión (basado en la Tabla 10.2)



Planificación de tareas aperiódicas de tiempo real con plazos de comienzo

Perfil de ejecución de cinco tareas aperiódicas

Proceso	Tiempo de llegada	Tiempo de ejecución	Plazo de comienzo
A	10	20	110
B	20	20	20
C	40	20	50
D	50	20	90
E	60	20	70

Planificación de tasa monótona

79

- Asigna prioridades a las tareas en base a sus periodos
- La tarea de mayor prioridad es aquella con el periodo más breve

Diagrama de tiempos de una tarea periódica

80

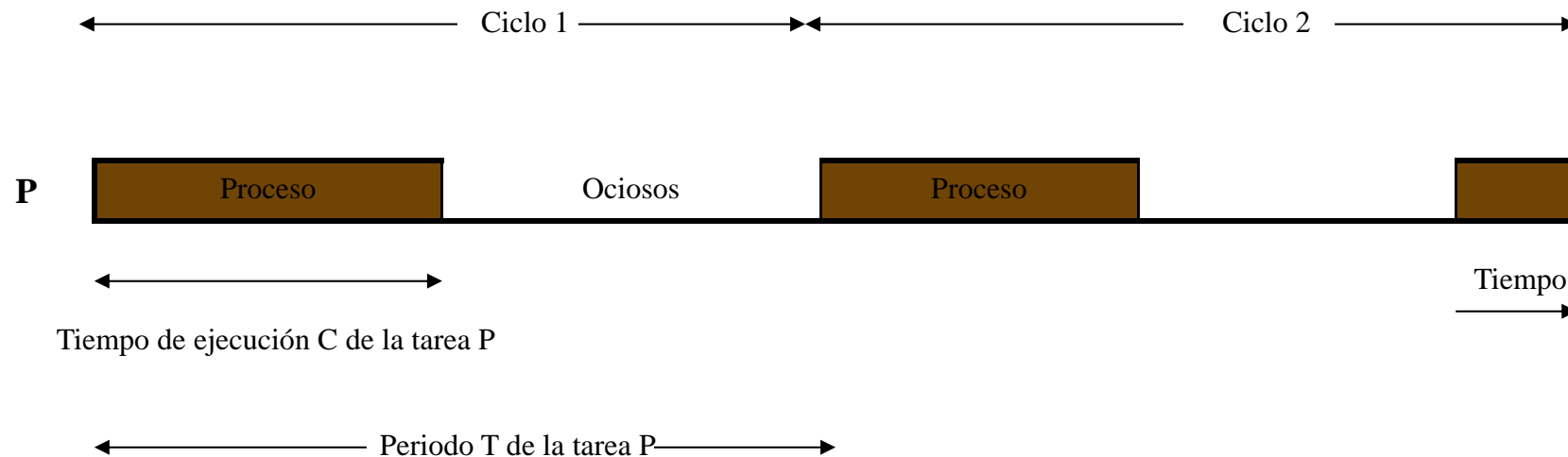


Diagrama de tiempos de una tarea periódica

COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS. INTERBLOQUEOS

Índice

2

- Introducción
- Exclusión mutua
- Semáforos
- Monitores
- Mensajes
- Interbloqueos

Introducción

3

- Multiprogramación, multiprocesamiento y procesamiento distribuido
- Necesidad de sincronizar y comunicar procesos
- Métodos básicos de comunicar procesos
 - ▣ Compartición de datos
 - ▣ Intercambio de información

Exclusión mutua

4

- Se denomina Sección Crítica (SC) de un proceso a aquellas partes de su código que no pueden ejecutarse de forma concurrente
- Protocolo: Código dedicado a asegurar que la sección crítica se ejecuta de forma exclusiva

Exclusión mutua

5

Requisitos resolver para la exclusión mutua:

- Sólo un proceso debe tener permiso para entrar en la SC en un momento dado.
- Cuando se interrumpe un proceso en una región no crítica no debe interferir el resto de procesos
- No puede demorarse un proceso indefinidamente en una sección crítica.
- Cuando ningún proceso está en su SC, cualquier proceso que solicite entrar debe hacerlo sin dilación
- No se deben hacer suposiciones sobre la velocidad relativa de los procesos ni el número de procesadores
- Un proceso permanece en su SC sólo por un tiempo finito.

Exclusión mutua: solución sw

6

- La responsabilidad de mantener la Exclusión Mutua recae sobre los procesos.
- Es necesaria una memoria principal compartida accesible a todos los procesos.
- Existe una exclusión mutua elemental en el acceso a la memoria.
- Algoritmo de Peterson
- Algoritmo de Dekker
- Inconvenientes:
 - La espera de acceso a un recurso se realiza de forma ocupada.
 - Presentan dificultades ante una cantidad elevada de procesos concurrentes.

Solución sw: Algoritmo de Peterson

7

```
booleano señal[2];
int turno;

void main()
{
    señal[0] = false;
    señal[1] = false;
    cobegin
        PO();P1();
    coend;
}
```

```
void PO()
{
    while (true)
    {
        ...
        señal[0] = true;
        turno = 1;
        while (señal[1] &&
            turno==1);
        /*Sección Crítica*/
        señal[0] = false;
        ...
    }
}
```

```
void P1()
{
    while (true)
    {
        ...
        señal[1] = true;
        turno = 0;
        while (señal[0] &&
            turno==0);
        /*Sección Crítica*/
        señal[1] = false;
        ...
    }
}
```


Exclusión mutua: solución hw

8

- Inhabilitación de interrupciones
 - Sistemas monoprocesador. Sólo aplicable a nivel de núcleo
- ```
while (true)
{
 ...
 Inhabilitar interrupciones;
 /*Sección crítica*/
 Habilitar interrupciones;
 ...
}
```
- Se degrada la eficiencia del procesador
  - Instrucciones especiales de máquina
  - Se realizan varias acciones atómicamente: leer y escribir, leer y examinar, ...
  - No están sujetas a interferencias de otras instrucciones

# Semáforos

9

- Tipo Abstracto de Datos
- Datos:
  - ▣ Contador entero
  - ▣ Cola de procesos en espera
- Operaciones:
  - ▣ **Inicializar**: Inicia el contador a un valor no negativo
  - ▣ **P()**: Disminuye en una unidad el valor del contador. Si el contador se hace negativo, el proceso que ejecuta P se bloquea.
  - ▣ **V()**: Aumenta en una unidad el valor del contador. Si el valor del contador no es positivo, se desbloquea un proceso bloqueado por una operación P.
- Las operaciones son atómicas a nivel hardware
- Se denomina **semáforo binario** aquel en el que el contador sólo toma valor 0 ó 1.
- El proceso que espera entrar en la SC no usa el procesador, está bloqueado.

# Semáforo general: primitivas

10

```
struct TSemáforo
{
 int contador;
 TColaProcesos Cola;
}

void inicializar(TSemáforo
 s, int n)
{
 s.contador=n;
}
```

```
void P(TSemáforo s)
{
 s.contador--;
 if (s.contador<0)
 {
 poner este proceso en
 s.colas;
 bloquear este
 proceso;
 }
}
```

```
void V(TSemáforo s)
{
 s.contador++;
 if (s.contador<=0)
 {
 quitar un proceso p de
 s.colas;
 poner el proceso p en
 la cola de listos;
 }
}
```

# Semáforo binario: primitivas

11

```
struct TSemáforo_bin
{
 int contador;
 TColaProcesos cola;
}
```

```
Void inicializarB
(TSemáforo_bin s, int n)
{
 s.contador=n;
}
```

```
void PB(TSemáforo_bin s)
{
 if (s.contador == 1)
 s.contador = 0;

 else
 {
 poner este proceso en
 s.colq;

 bloquear este
 proceso;
 }
}
```

```
void VB(TSemáforo_bin s)
{
 if (s.colq.esvacía())
 s.contador = 1;

 else
 {
 quitar un proceso p de
 s.colq;

 poner el proceso p en
 la cola de listos;
 }
}
```

# Semáforos: exclusión mutua

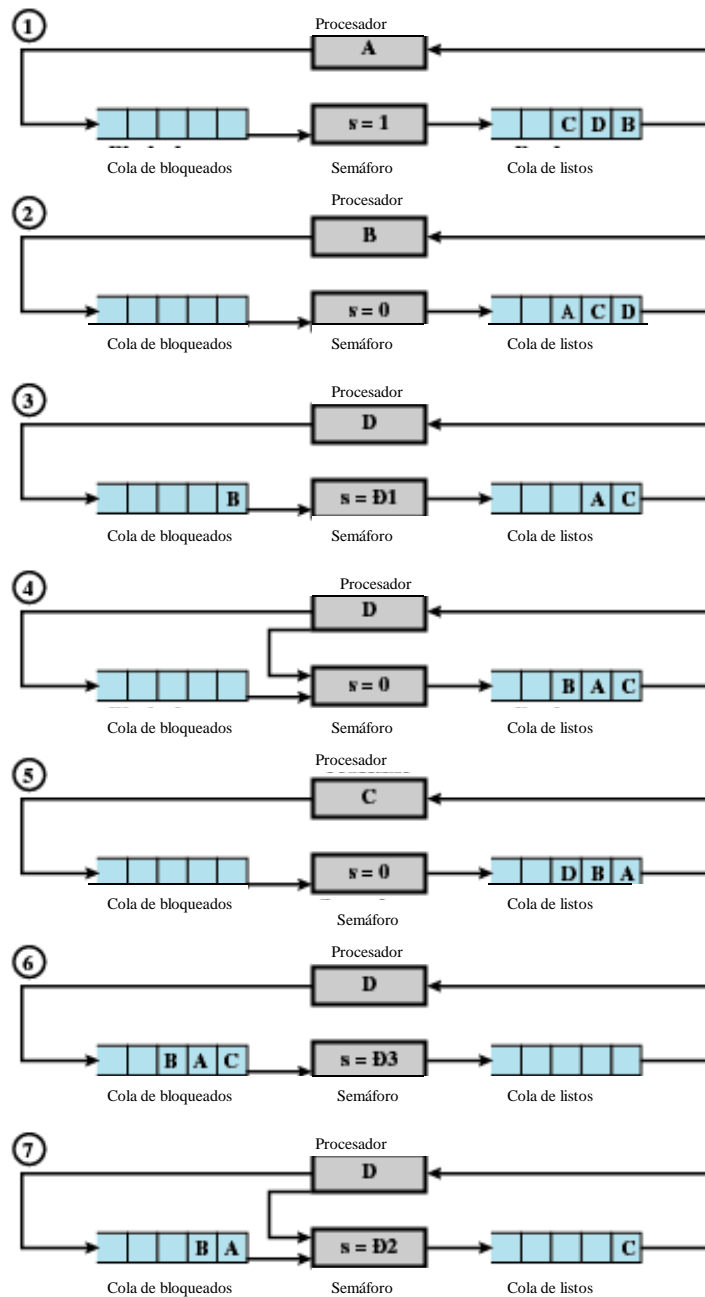
12

- El valor asignado al contador indicará la cantidad de procesos que pueden ejecutar concurrentemente la sección crítica
- Los semáforos se deben inicializar antes de comenzar la ejecución concurrente de los procesos.

```
TSemáforo s;
void Pi();
{
 while (true)
 {
 ...
 P(s);
 sección crítica;
 V(s)
 ...
 }
}
```

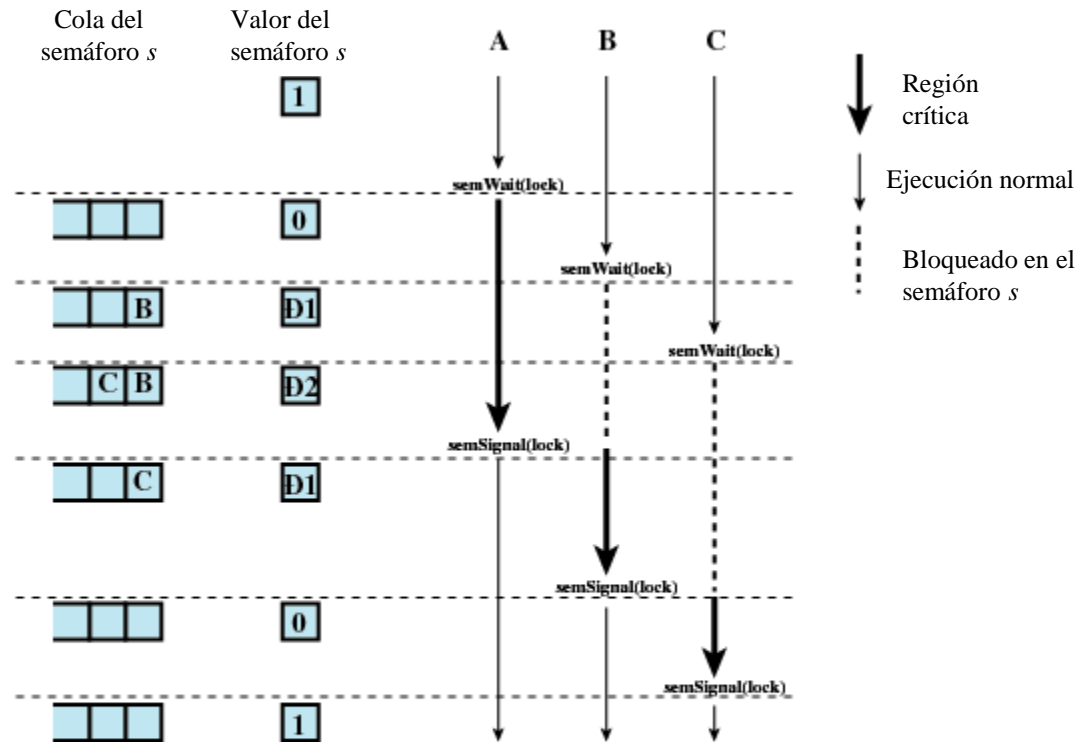
```
void main
{
 inicializar(s, 1)
 cobegin
 P1(); P2(); ... ; Pn();
 coend
}
```

# Semáforos



Ejemplo de mecanismo semáforo

# Semáforos



*Nota: la ejecución normal sucede en paralelo pero las regiones críticas se serializan*

**Procesos accediendo a datos compartidos protegidos por un semáforo**

# Semáforos: sincronización procesos

15

- El uso de semáforos permite la sincronización entre procesos
- Problema del productor – consumidor
- Uno o más productores generan cierto tipo de datos y los sitúan en una zona de memoria o buffer. Un único consumidor saca elementos del buffer de uno en uno. El sistema debe impedir la superposición de operaciones sobre el buffer. **Solución:**

**Tamaño de buffer**

**ilimitado**

```
void main()
{
 inicializar(s, 1);
 inicializar(n, 0);
 cobegin
 productor();
 consumidor();
 coend;
}
```

TSemáforo s,n;

void **productor()**

```
{
 while (true)
 {
 producir();
 P(s);
 añadir_buffer();
 V(s);
 V(n);
 }
}
```

Tvoid **consumidor()**

```
{
 while (true)
 {
 P(n);
 P(s);
 coger_buffer();
 V(s);
 consumir();
 }
}
```



## 2 Semáforos : s y n

16

El uso de semáforos permite la sincronización entre procesos

Procesos para garantizar el acceso a la sección crítica

Uno o más procesos generan cierto tipo de datos y los sitúan en una zona de memoria del buffer de uno en uno. El consumidor los toma uno a uno del buffer. **Solución:**

n para gestión de P y C →

sincronización del consumidor

tamaño de buffer

ilimitado

```
void main()
{
 inicializar(s, 1);
 inicializar(n, 0);
 cobegin
 productor();
 consumidor();
 coend;
}
```

```
TSemáforo s,n;
void productor()
{
 while (true)
 {
 producir();
 P(s);
 añadir_buffer();
 V(s);
 V(n);
 }
}
```

```
Tvoid consumidor()
{
 while (true)
 {
 P(n);
 P(s);
 coger_buffer();
 V(s);
 consumir();
 }
}
```

Al comienzo hay 0 elementos

s=1, sólo 1 proceso

# Semáforos: sincronización procesos

17

Problema del productor – consumidor: **Tamaño de buffer limitado**

```
#define tamaño_buffer N
TSemáforo e, s, n;

void main()
{
 inicializar(s, 1);
 inicializar(n, 0);
 inicializar(e,tamaño_buffer);
 cobegin
 productor();
 consumidor();
 coend;
}
```

```
void productor()
{
 while (true)
 {
 producir();
 P(e);
 P(s);
 añadir_buffer();
 V(s);
 V(n);
 }
}
```

```
void consumidor()
{
 while (true)
 {
 P(n);
 P(s);
 coger_buffer();
 V(s);
 V(e);
 consumir();
 }
}
```

### 3 Semáforos : s, n y e para gestión de buffer

# procesos

18

Problema del productor – consumidor: **Tamaño de buffer limitado**

```
#define tamaño_buffer N
TSemáforo e, s, n;

void main()
{
 inicializar(s, 1);
 inicializar(n, 0);
 inicializar(e, tamaño_buffer);
 cobegin
 productor();
 consumidor();
 coend;
}
```

```
void productor()
{
 while (true)
 {
 producir();
 P(e);
 P(s);
 añadir_buffer();
 V(s);
 V(n);
 }
}
```

**Al producir un elemento,  
Se introduce al buffer = P**

```
void consumidor()
{
 while (true)
 {
 P(n);
 P(s);
 coger_buffer();
 V(s);
 V(e);
 consumir();
 }
}
```

**Al consumir un elemento,  
Se libera del buffer = P**

# Semáforos: sincronización procesos-lectores/escritores (prioridad lectores)

19

- Se dispone de una zona de memoria o fichero a la que acceden unos procesos (lectores) en modo lectura y otros procesos en modo escritura (escritores).
  - ▣ Los lectores pueden acceder al fichero de forma concurrente.
  - ▣ Los escritores deben acceder al fichero de manera exclusiva entre ellos y con los lectores.
- El sistema debe coordinar el acceso a la memoria o al fichero para que se cumplan las restricciones.

```
TSemáforo mutex, w;
int lectores;
void main()
{
 inicializar(mutex, 1);
 inicializar(w, 1);
 lectores=0;
 cobegin
 escritor1();...; escritorn();
 lector1(); ... ; lectorm();
 coend;
}
```

```
void escritori()
{
 ...
 P(w);
 escribir();
 V(w);
 ...
}
```

```
void lectori()
{
 ...
 P(mutex);
 lectores++;
 if (lectores==1) P(w);
 V(mutex)
 leer();
 P(mutex);
 lectores--;
 if (lectores==0) V(w);
 V(mutex)
 ...
}
```

# Semáforos: sincronización procesos-lectores/escritores (prioridad lectores)

¿Cómo se sabe cual es el último?

Añadiendo una variable →

**Nuevo problema de SC (semáforo MUTEX)**

- Los lectores pueden acceder al fichero de forma...
- Los escritores deben acceder al fichero de modo...
- El sistema debe coordinar el acceso a la memoria...

que acceden unos procesos (lectores) en modo...

**Sólo realiza la V el último**

```
TSemáforo mutex, w;
int lectores;
void main()
{
 inicializar(mutex, 1);
 inicializar(w, 1);
 lectores=0;
 cobegin
```

```
void escritori()
{
 ...
 P(w);
 escribir();
 V(w);
 ...
}
```

```
void lectori()
{
 ...
 P(mutex);
 lectores++;
 if (lectores==1) P(w);
 V(mutex);
 leer();
 P(mutex);
 lectores--;
 if (lectores==0) V(w);
 V(mutex)
 ...
}
```

**El primer lector realiza la P,  
el resto NO, pueden leer a la vez**

# Semáforos: sincronización procesos-lectores/escritores (prioridad escritores)

21

```
TSemáforo mutex1, mutex2, w, r;
int lectores, escritores;
void main()
{
 inicializar(mutex1, 1);
 inicializar(mutex2, 1);
 inicializar(w, 1); inicializar(r, 1);
 lectores = 0; escritores = 0;
 cobegin
 escritor1();...; escritorn();
 lector1(); ... ; lectorm();
 coend;
}
```

```
void lectori()
{
 ...
 P(r);
 P(mutex1);
 lectores++;
 if (lectores==1)
 P(w);
 V(mutex1);
 V(r);
 leer();
 P(mutex1);
 lectores--;
 if (lectores==0)
 V(w);
 V(mutex1);
 ...
}
```

```
void escritorj()
{
 ...
 P(mutex2);
 escritores++;
 if (escritores==1) P(r);
 V(mutex2);
 P(w);
 escribir();
 V(w);
 P(mutex2);
 escritores--;
 if (escritores==0) V(r);
 V(mutex2)
 ...
}
```

Supongamos que llegan por éste orden: **lector, escritor, lector, escritor**

**Sig. Lector para por el nuevo semáforo r**

**lectores/escritores (prioridad escritores)**

22

```
TSemáforo mutex1, mutex2, w, r;
int lectores, escritores;
void main()
{
 inicializar(mutex1, 1);
 inicializar(mutex2, 1);
 inicializar(w, 1); inicializar(r, 1);
 lectores = 0; escritores = 0;
 cobegin
 escritor1();...; escritorn();
 lector1(); ... ; lectorm();
 coend;
}
```

```
void lectori()
{
 ...
 P(r);
 P(mutex1);
 lectores++;
 if (lectores==1)
 P(w);
 V(mutex1);
 V(r);
 leer();
 P(mutex1);
 lectores--;
 if (lectores==0)
 V(w);
 V(mutex1);
 ...
}

void escritorj()
{
 ...
 P(mutex2);
 escritores++;
 if (escritores==1) P(r);
 V(mutex2);
 P(w);
 escribir();
 escritores--;
 if (escritores==0) V(r);
 V(mutex2);
 ...
}
```

**Adelanta el nuevo lector**

# Semáforos: sincronización procesos-lectores/escritores (acceso según llegada)

23

```
TSemáforo mutex, fifo, w;
int lectores;
void main()
{
 inicializar(mutex, 1);
 inicializar(fifo, 1); inicializar(w,
1);
 lectores = 0;
 cobegin
 escritor1 ();...; escritorn();
 lector1 (); ... ; lectorm();
 coend;
}
```

```
void lectori()
{
 ...
 P(fifo);
 P(mutex);
 lectores++;
 if (lectores==1)
 P(w);
 V(mutex);
 V(fifo);
 leer();
 P(mutex);
 lectores--;
 if (lectores==0)
 V(w);
 V(mutex);
 ...
}
```

```
void escritorj()
{
 ...
 P(fifo);
 P(w);
 V(fifo);
 escribir();
 V(w);
 ...
}
```



# Semáforos: sincronización de procesos: problema barbería

24

Una barbería tiene una sala de espera con  $n$  sillas, y una habitación con un sillón donde se atiende a los clientes. Si no hay clientes el barbero se duerme. Si un cliente entra en la barbería y todas las sillas están ocupadas, entonces se va, sino, se sienta en una de las sillas disponibles. Si el barbero está dormido, el cliente lo despertará.

El sistema debe coordinar el barbero y los clientes

```
#define sillas n
TSemáforo mutex, clientes, barbero;
int espera;
void main()
{ inicializar(mutex, 1);
 inicializar(clientes, 0);
 inicializar(barbero, 0); espera=0;
 cobegin
 barbero();
 cliente1(); cliente2(); ...
 clientem();
 coend;
}
```

```
void barbero()
{
 while (true)
 {
 P(clientes);
 P(mutex);
 espera=espera-1;
 V(barbero);
 V(mutex);
 cortar_pelo();
 }
}
```

```
void clientei()
{
 P(mutex);
 if (espera < sillas)
 {
 espera=espera+1;
 V(clientes);
 V(mutex);
 P(barbero);
 se_corta_pelo();
 }
 else V(mutex);
}
```

# Semáforos: sincronización de procesos: problema del barbero

25

Una barbería tiene una sala de espera con  $n$  sillas, y una habitación con un espejo donde se atiende a los clientes. Si no hay clientes el barbero se duerme. Si un cliente entra en la barbería y todas las sillas están ocupadas, entonces el cliente se va. Lo primero ejecuta P y bloquea excepto si han llegado antes clientes

**Cientes : sincroniza al barbero**

**barbero : clientes de uno en uno**

**Mutex: variable espera**

**y han ejecutado la operación V correspondiente.**

```
#define sillas n
TSemáforo mutex, clientes, barbero;
int espera;
void main()
{ inicializar(mutex, 1);
 inicializar(clientes, 0);
```

**que el barbero vaya**

**despertando uno a uno con V**

**En este semáforo se bloquean los clientes al ejecutar P esperando**

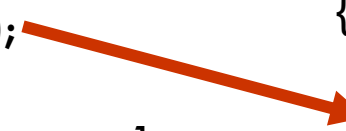
```
void barbero()
{
```

```
 while (true)
 {
```

```
 P(clientes);
 P(mutex);
 espera=espera-1;
 V(barbero);
 V(mutex);
 cortar_pelo();
```

```
void clientei()
{
```

```
 P(mutex);
 if (espera < sillas)
 {
 espera=espera+1;
 V(clientes);
 V(mutex);
 P(barbero);
 se_corta_pelo();
 }
 else V(mutex);
}
```



# Semáforos: sincronización de procesos: problema filósofos

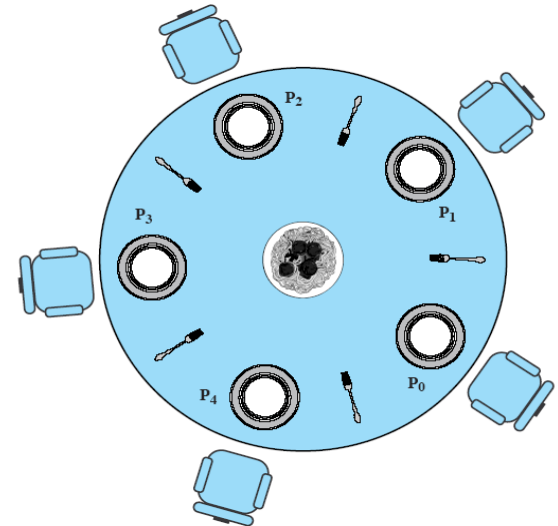
26

Cinco filósofos se dedican a pensar y a comer en una mesa circular. En el centro de la mesa hay un cuenco con arroz, y la mesa está puesta con cinco platos y cinco palillos, uno por cada filósofo. Cuando un filósofo tiene hambre se sienta en la mesa a comer en su sitio. El filósofo sólo puede coger un palillo cada vez y no le puede quitar un palillo a un compañero que lo tenga en la mano. Cuando un filósofo tiene los dos palillos come sin soltarlos hasta que termine y vuelve a pensar. El sistema debe coordinar los filósofos para evitar la espera indefinida y no se mueran de hambre.

```
TSemáforo palillo[5];
void main()
{ int i;
 for (i=0; i<5; i++)
 inicializar(palillo[i], 1);
 cobegin
 filósofo(0); filósofo(1); ...
 filósofo(4);
 coend;
}
```

```
void filósofo(int i)
{
 while (true)
 {
 pensar();
 P(palillo[i]);
 P(palillo[(i+1)%5]);
 comer();
 V(palillo[i]);
 V(palillo[(i+1)%5]);
 }
}
```

Solución que mantiene exclusión mutua pero se produce interbloqueo cuando acuden a comer todos a la vez



# Semáforo sincronización de proc filósofos

**Solución: Sólo se pueden sentar  
en la mesa 4 filósofos a la vez**

27

Cinco filósofos se dedican a pensar y a comer en una mesa circular. En el centro de la mesa hay un cuenco con arroz, y la mesa está puesta con cinco platos y cinco palillos, uno por cada filósofo. Cuando un filósofo tiene hambre se sienta en la mesa a comer en su sitio. El filósofo sólo puede coger un palillo cada vez y no le puede quitar un palillo a un compañero que lo tenga en la mano. Cuando un filósofo tiene los dos palillos come sin soltarlos hasta que termine y vuelve a pensar.

```
TSemáforo palillo[5], silla;
void main()
{
 int i;
 for (i=0; i<5; i++)
 inicializar(palillo[i], 1);
 inicializar(silla, 4);
 cobegin
 filósofo(0); filósofo(1); ...
 filósofo(4);
 coend;
}
```

```
void filósofo(int i)
{
 while (true)
 {
 pensar();
 P(silla);
 P(palillo[i]);
 P(palillo[(i+1)%5]);
 V(silla);
 comer();
 V(palillo[i]);
 V(palillo[(i+1)%5]);
 }
}
```

Solución que mantiene  
exclusión mutua y evita  
interbloqueos

# Semáforos: limitaciones

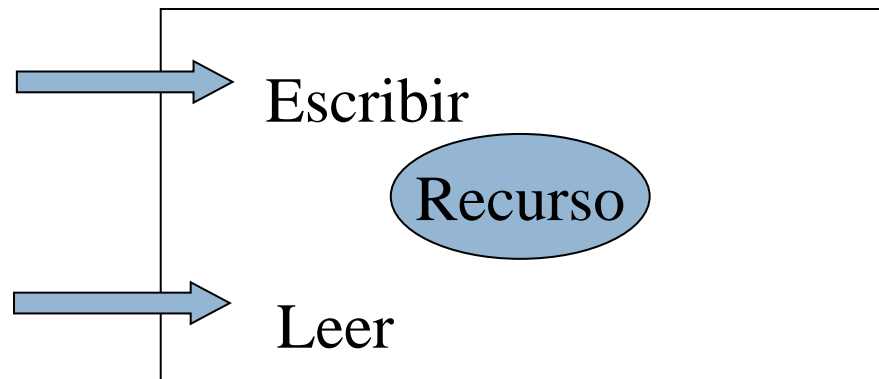
28

- Resulta difícil construir un programa correcto mediante semáforos. No es sencillo recordar qué semáforo está asociado a cada recurso o variable.
- Las operaciones P y V se distribuyen por todo el programa y no es fácil advertir el efecto global que provocan.
- El usuario es responsable tanto de la gestión de la exclusión mutua como de la sincronización entre los procesos.
- Cuando se examina un recurso y este está ocupado el proceso siempre se bloquea.

# Monitores

29

- Tipo Abstracto de Datos: Datos locales, procedimientos y una secuencia de inicio.
- Los datos locales sólo están accesibles desde los procedimientos del monitor.
- A un monitor sólo puede entrar un proceso en un instante dado, de modo que si un proceso quiere usar un monitor y existe otro proceso que ya lo está usando, entonces el proceso que quiere entrar se suspende hasta que salga el que está dentro.
- Si los datos del monitor representan a algún recurso, el monitor ofrecerá un servicio de exclusión mutua en el acceso a ese recurso.



# Monitores: sincronización

30

- El monitor proporciona sincronización por medio de variables de condición.
- Procedimientos para operar con las variables de condición:
  - ▣ **Espera**(condición): Suspende la ejecución del proceso que llama bajo la condición. Se dispone de una cola de procesos a cada variable de condición.
  - ▣ **Señal**(condición): Reanuda la ejecución de algún proceso suspendido en el procedimiento anterior. Si no hay procesos suspendidos no hace nada.
- Cuando un proceso se bloquea en una cola de una variable condición, sale del monitor, permitiendo que otro proceso pueda entrar en él.
- La propia naturaleza del monitor garantiza la exclusión mutua, sin embargo, la sincronización entre los procesos es responsabilidad del programador.

# Monitores: sincronización

Área de espera del monitor

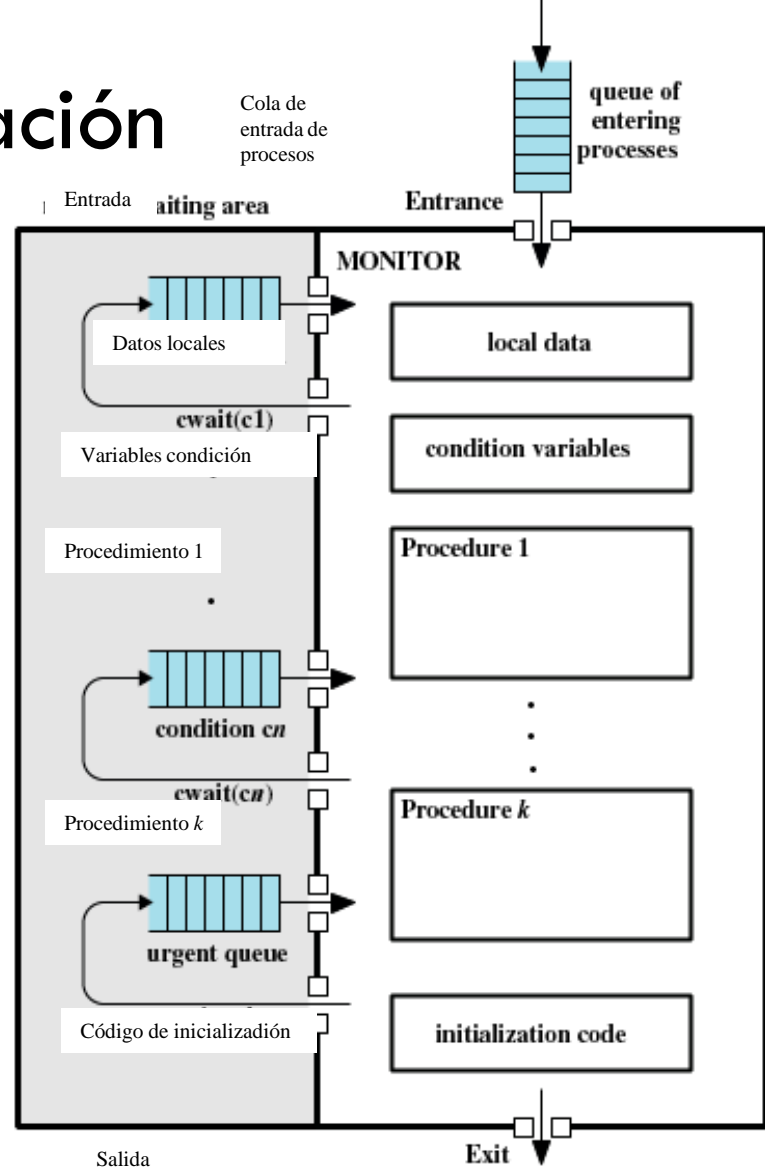


Figura 5.15. Estructura de un monitor

Structure of a Monitor



# Mensajes

32

- El paso de mensajes resuelve la comunicación y la sincronización de procesos. Adecuado para sistemas centralizados y distribuidos.
- Primitivas:
  - ▣ Enviar(destino, mensaje)
  - ▣ Recibir(origen, mensaje)
- Las primitivas son atómicas a nivel hardware.

# Mensajes

33

## □ Direcccionamiento

- **Directo:** Se nombra de forma explícita en la primitiva el proceso al que se refieren.

Enviar (Procesoi, mensaje)

- **Indirecto:** Los mensajes se envían y se reciben a través de una entidad intermedia llamada buzón.

Enviar (buzón, mensaje)

- Se desacopla el emisor y el receptor
- Los conjuntos de emisores y receptores no tienen porqué tener la misma cardinalidad.
- La asociación de procesos a buzones puede ser estática o dinámica.

# Mensajes

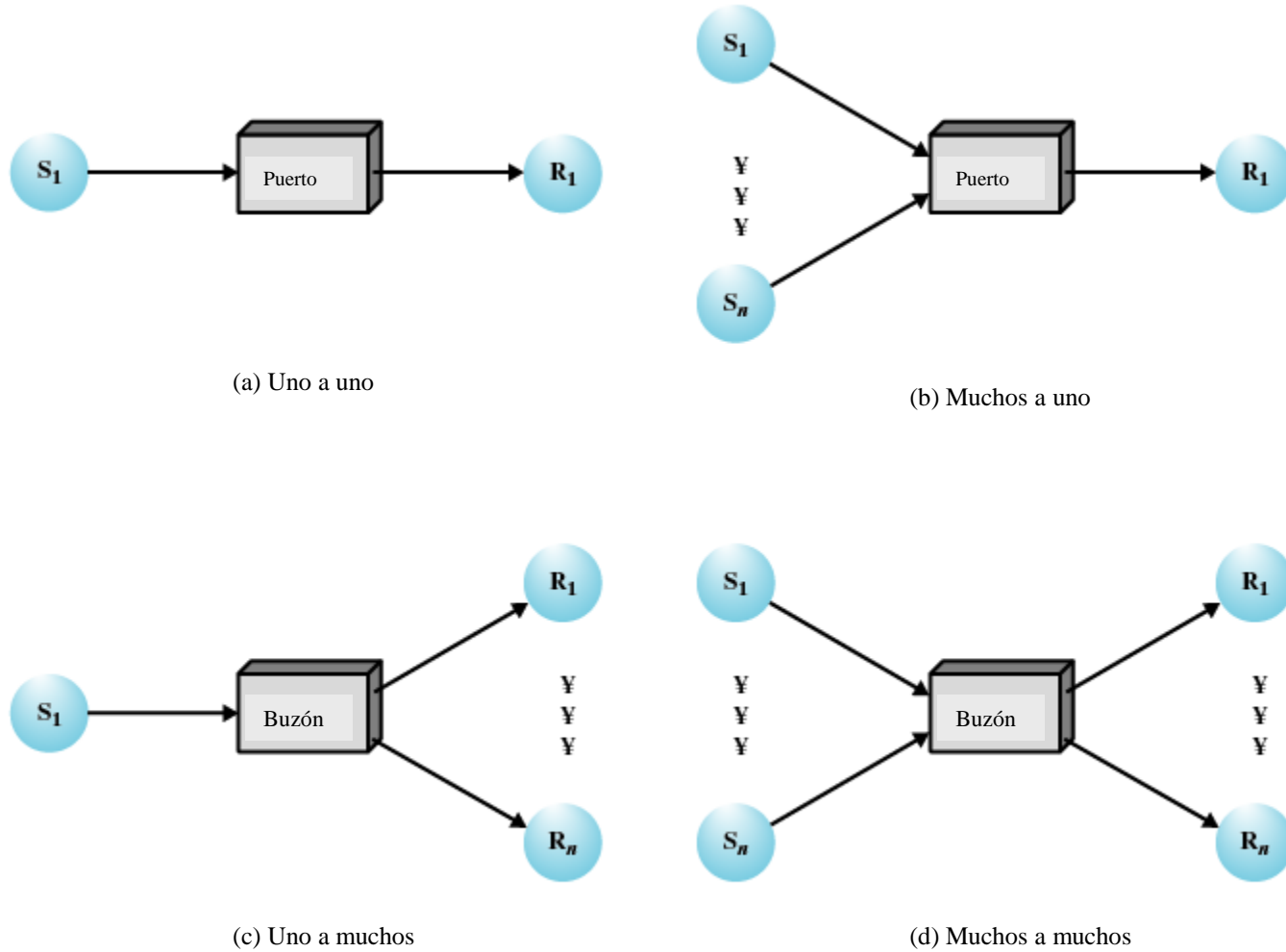


Figura 5.18. Comunicación indirecta de procesos

# Mensajes: sincronización

35

- Modelos de sincronización: Enviar
  - ▣ **Bloqueante:** El proceso que envía sólo prosigue su tarea cuando el mensaje ha sido recibido
  - ▣ **No Bloqueante:** El proceso que envía un mensaje sigue su ejecución sin preocuparse de si el mensaje se recibe o no.
  - ▣ **Invocación remota:** El proceso que envía el mensaje sólo prosigue su ejecución cuando ha recibido una respuesta explícita del receptor.

# Mensajes: sincronización

36

## □ Modelos de sincronización: Recibir

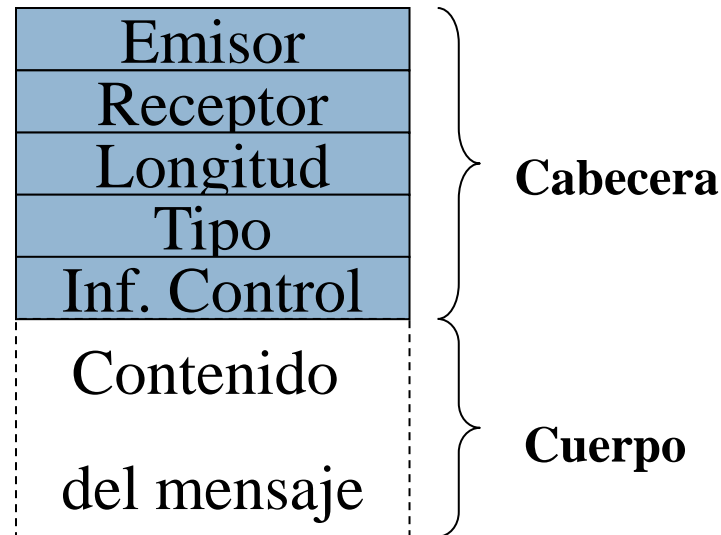
- ▣ **Bloqueante:** El proceso que realiza recibir un mensaje lo recoge si éste existe o bien se bloquea si el mensaje no está.
- ▣ **No Bloqueante:** El proceso que realiza recibir un mensaje especifica un tiempo máximo de espera del mensaje.

Recibir(buzón, mensaje, tiempo\_espera)

# Mensajes: estructura

37

- Intercambio de información:
  - ▣ Por valor: Se realiza una copia del mensaje desde el espacio de direcciones del receptor.
  - ▣ Por referencia: Se transmite sólo un puntero al mensaje.
- Clasificación
  - ▣ Longitud fija
  - ▣ Longitud variable
  - ▣ De tipo definido



# Interbloqueos: Definición y caracterización

38

- **Definición 1:** Un conjunto de procesos está en un interbloqueo si cada proceso está esperando un recurso que sólo puede liberar otro proceso del conjunto.
- ▣ Los procesos adquieren algún recurso y esperan a que otros recursos retenidos por otros procesos se liberen.

```
void Proceso1()
{
 ...
 P(S1)
 P(S2)
 ...
 V(S2)
 V(S1)
}
```

```
void Proceso2()
{
 ...
 P(S2)
 P(S1)
 ...
 V(S1)
 V(S2)
}
```

# Interbloqueos: Definición y caracterización

39

- **Definición 2:** Se dice que el estado de un sistema se puede reducir por un proceso  $P$  si se pueden satisfacer las necesidades del proceso con los recursos disponibles.
- **Definición 3:** Se dice que un sistema está en un estado seguro si el sistema puede asignar todos los recursos que necesitan los procesos en algún orden.



# Interbloqueos: Definición y caracterización

40

- **Caracterización del interbloqueo:** Condiciones necesarias para que se dé un interbloqueo:
  - Exclusión mutua
  - Retención y espera
  - No existencia de expropiación
  - Espera circular
- Un sistema está libre de interbloqueos si existe una secuencia de reducciones del estado actual del sistema que incluye a todos los procesos, o si se encuentra en un estado seguro.

# Interbloqueos: Definición y caracterización

41

- Descripción del estado de un sistema:
  - ▣ Representación matricial
  - ▣ Representación gráfica
- Representación matricial: Para representar el estado del sistema se usan dos matrices y un vector: matriz de solicitud  $S$ , matriz de asignación  $A$  y vector  $E$  con la cantidad de elementos de cada tipo de recurso.

$A[i, j] \equiv$  Cantidad de elementos del recurso  $j$  que tiene asignado el proceso  $i$

$S[i, j] \equiv$  Cantidad de elementos del recurso  $j$  que solicita el proceso  $i$

$E[i] \equiv$  Cantidad de elementos del recurso  $i$

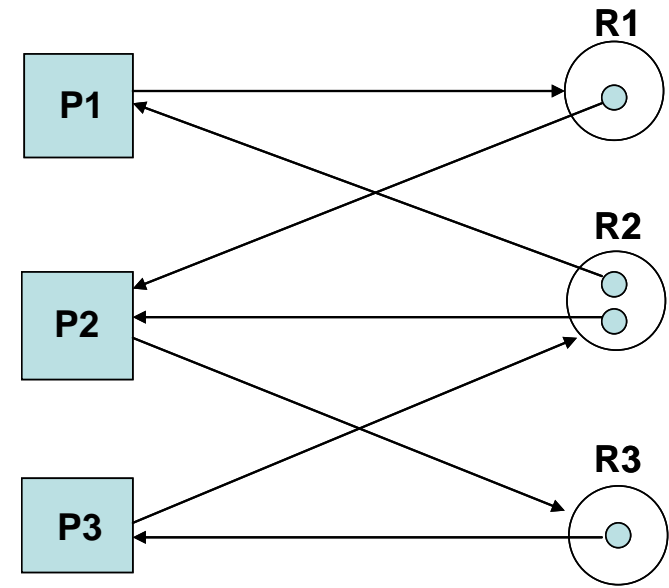
# Interbloqueos: Definición y caracterización: Ejemplo

42

- Sea un sistema formado por tres procesos: P1, P2 y P3; y los recursos siguientes: una impresora R1, dos unidades de disco R2 y una cinta R3.
- Dada la siguiente situación:
  - El proceso P1 posee uno de los recursos R2 y solicita R1
  - El proceso P2 posee uno de los recursos R2 y un recurso R1 y solicita el recurso R3.
  - El proceso P3 posee el recurso R3
  - y solicita el recurso R2.

- Representaciones matricial y gráfica:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad E = (1, 2, 1)$$



# Interbloqueos: Estrategias de actuación

43

- **Prevención:** Evitar cualquier posibilidad que pueda llevar a una situación de interbloqueo fijando una serie de restricciones
- **Predicción:** Evitar el interbloqueo analizando la información disponible y los recursos que necesitará cada proceso
- **Detección:** No se establecen restricciones y el sistema se limita a detectar situaciones de interbloqueo
- **No actuación:** Se ignora la presencia de interbloqueos

# Interbloqueos: Prevención

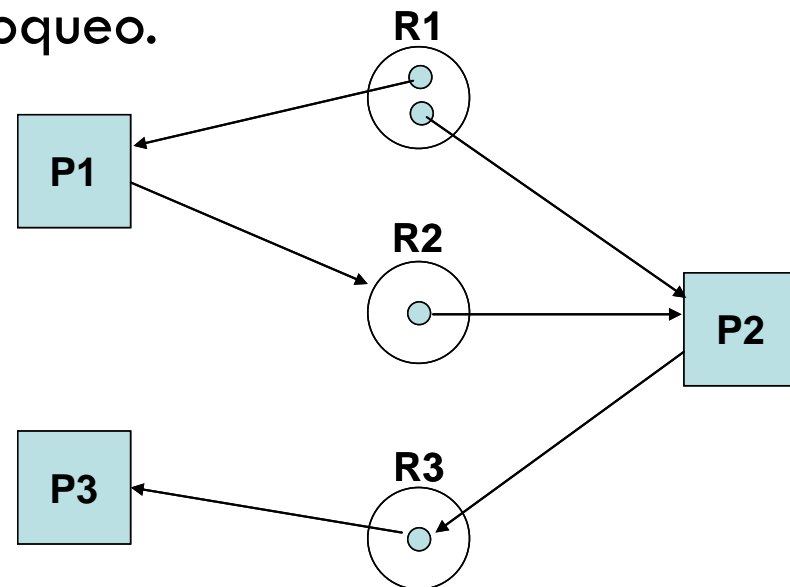
44

- Evitar una de las condiciones del interbloqueo
  - ▣ **Retención y espera:** Un proceso con un recurso no puede pedir otro.
  - ▣ **No existencia de expropiación:** Permitir la expropiación de recursos no utilizados.
  - ▣ **Espera circular:** Se solicitan los recursos según un cierto orden establecido.
- Afecta al rendimiento del sistema:
  - ▣ Puede provocar infrautilización de recursos
  - ▣ Puede provocar esperas muy dilatadas de los procesos

# Interbloqueos: Detección

45

- Se comprueba si se ha producido un interbloqueo
  - ▣ Definir intervalos de activación del algoritmo de detección
  - ▣ Detectar los procesos a los que afecta el interbloqueo
- Definir estrategia de recuperación del sistema
- Si no existen ciclos: No hay interbloqueo
- Existen ciclos: Puede existir interbloqueo.
  - Si sólo hay un elemento por cada tipo de recurso, la existencia de un ciclo es condición necesaria y suficiente para el interbloqueo.
  - Si hay algún camino que no sea ciclo, que sale de alguno de los nodos que forman el ciclo, entonces no hay interbloqueo.



# Interbloqueos: Recuperación

46

- Romper el interbloqueo para que los procesos puedan finalizar su ejecución y liberar los recursos.
- Reiniciar uno o más procesos bloqueados

Considerar:

- Prioridad del proceso
- Tiempo de procesamiento utilizado y el que resta
- Tipo y número de recursos que posee
- Número de recursos que necesita para finalizar
- Número de procesos involucrados en su reiniciación.
- Expropiar los recursos de algunos de los procesos bloqueados

# Interbloqueos: Soluciones combinadas

47

- Agrupar los recursos en clases disjuntas
- Se evita el interbloqueo entre las clases
- Usar en cada clase el método más apropiado para evitar o prevenir en ella el interbloqueo



# GESTIÓN DE MEMORIA

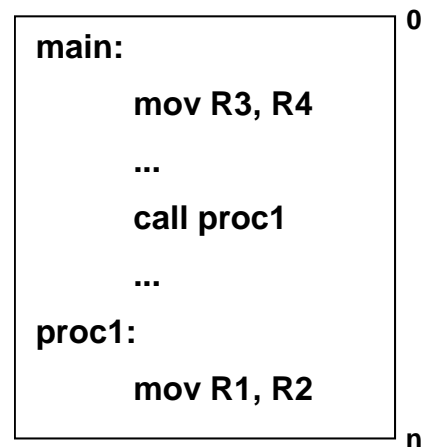
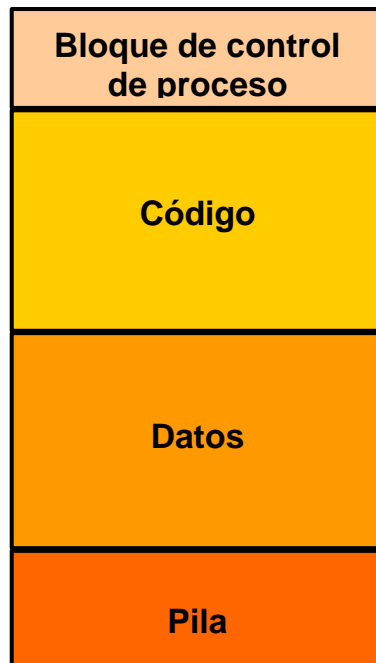
## Capítulo 5

# Contenidos

- Introducción
- Organización de la memoria física
  - ▣ Asignación contigua
    - Particiones fijas
    - Particiones variables
  - ▣ Asignación dispersa
    - Paginación
    - Segmentación
    - Segmentación paginada
- Memoria virtual
  - ▣ Paginación por demanda
  - ▣ Segmentación por demanda

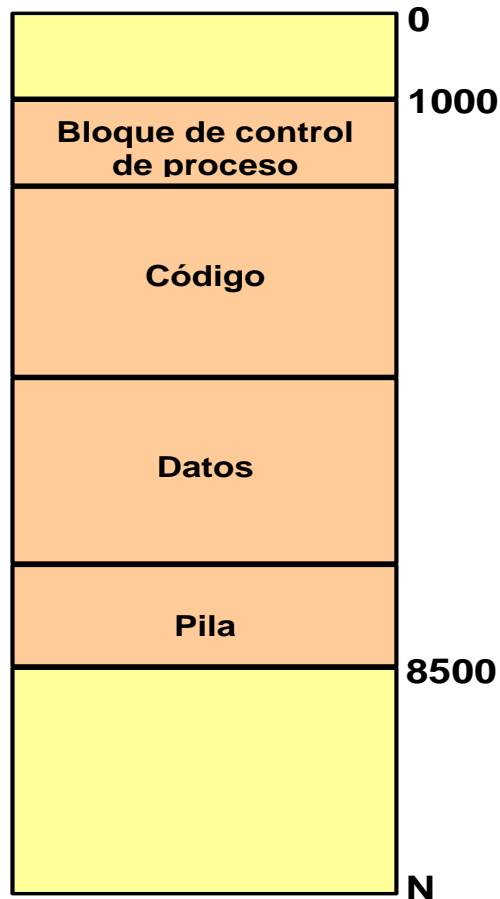
# Conceptos básicos

- La gestión de la memoria se encarga de administrar el recurso “memoria” en un sistema donde se ejecutan varios procesos.
- El espacio asociado a un proceso se contempla como un conjunto de referencias a instrucciones o datos (espacio de direcciones lógicas)



# Conceptos básicos

- El espacio de direcciones físico es la zona de memoria física donde se ubica el proceso para su ejecución.

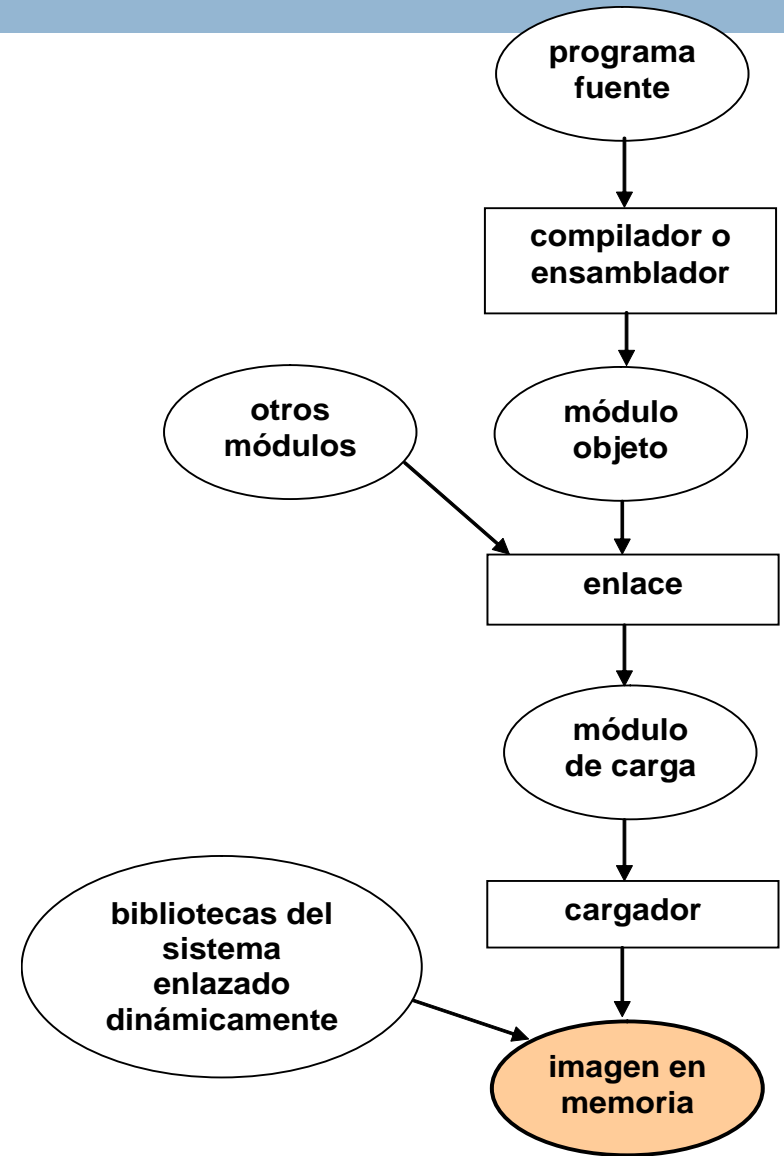


# Problemas fundamentales

- **Reubicación:** las referencias de un proceso deben adaptarse a la ubicación de memoria donde éste se ejecuta.
- **Escasez:** la memoria requerida por los procesos puede ser mayor que la memoria física disponible.
- **Protección:** la zona de memoria asignada a cada proceso es privada y no debe ser “invadida” por otros procesos.
- **Compartición:** se reduce la ocupación de memoria si varios procesos comparten datos o código.
- **Organización:** la memoria física puede ser asignada a los procesos de forma contigua o dispersa.

# Problema de reubicación

- Todas las referencias a instrucciones o datos (direcciones lógicas) realizadas en un proceso tienen que ser traducidas a direcciones absolutas o físicas.
- El problema de reubicación puede resolverse en cualquiera de las siguientes fases:
  - ▣ Programación
  - ▣ Compilación
  - ▣ Carga
  - ▣ Ejecución



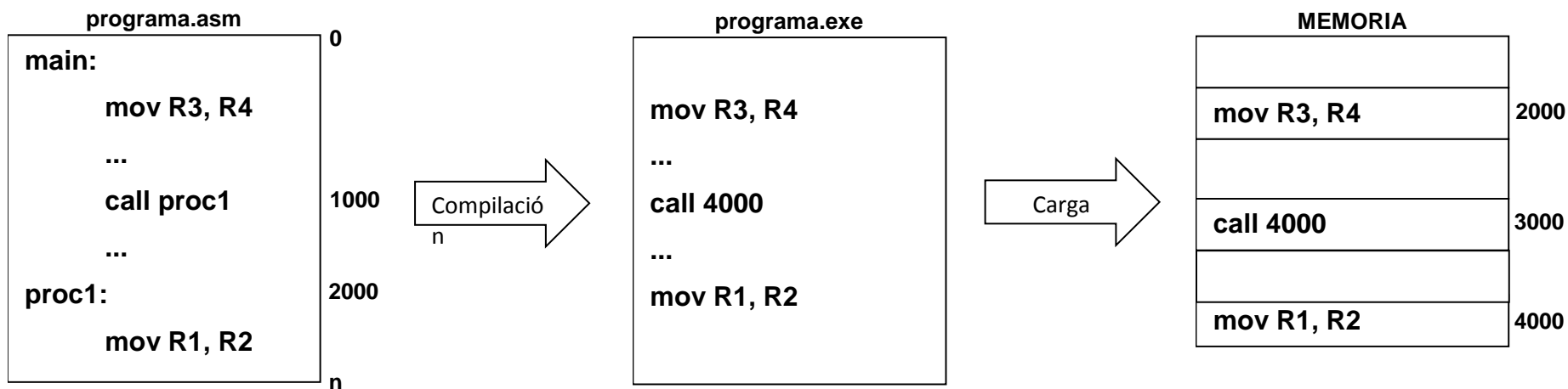
# Problema de reubicación

## Reubicación en tiempo de programación

- El programador especifica directamente todas las direcciones físicas reales en el propio programa.

## Reubicación en tiempo de compilación

- La asignación de direcciones físicas se produce durante la compilación del programa. Es necesario saber dónde va a estar ubicado el proceso.
- El proceso debe ser recompilado, si finalmente se asigna a una ubicación diferente de memoria.



# Reubicación en tiempo de carga

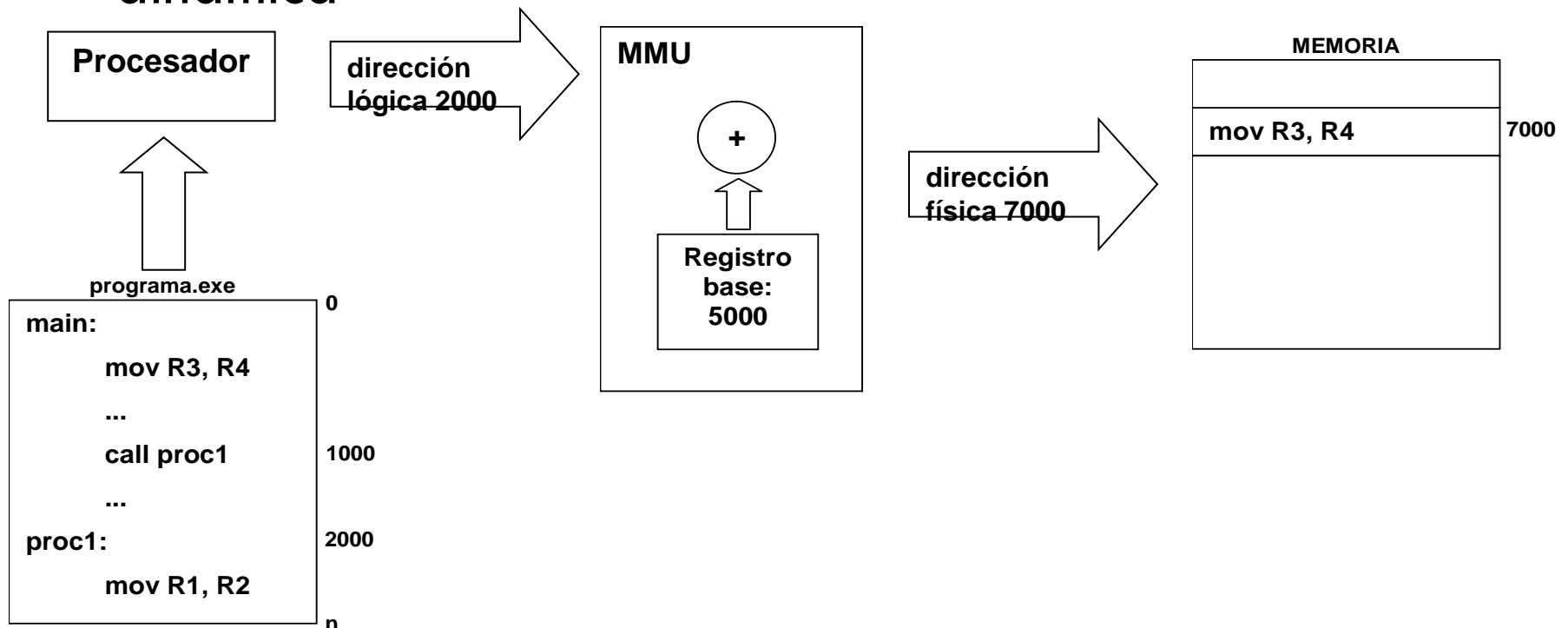
- El cargador lee un fichero ejecutable y lo carga en memoria
- El cargador puede detectar las referencias no resueltas en tiempo de compilación y resolverlas en función de la ubicación donde se cargue el fichero ejecutable





# Reubicación en tiempo de ejecución

- El programa cargado conserva direcciones relativas.
- Necesita el soporte de hardware específico (MMU: Unidad de Manejo de Memoria) que permita traducir direcciones lógicas a direcciones físicas de forma dinámica



# Problema de escasez de memoria

- Los requerimientos de memoria de los procesos tienden a superar la cantidad de memoria física disponible.
- Técnicas para solucionarlo:
  - ▣ Superposiciones (overlays)
  - ▣ Intercambios (swapping)
  - ▣ Memoria virtual
  - ▣ Carga y enlace dinámicos

# Método de superposiciones

- Un proceso puede fragmentarse en partes denominadas superposiciones (overlays).
- Sólo se mantienen en memoria las partes necesarias en cada momento.
- Inconveniente: debe ser manejado por el diseñador del programa.
- Ejemplo: compilador de dos pasadas.

|                    |     |                     |      |
|--------------------|-----|---------------------|------|
| Paso 1:            | 70K | Memoria disponible: | 150K |
| Paso 2:            | 80K | Memoria necesaria:  | 200K |
| Tabla de símbolos: | 20K | Paso 1:             | 120K |
| Rutinas comunes:   | 30K | Paso 2:             | 130K |

# Método de intercambios (swapping)

- ❑ Técnica para poder ejecutar concurrentemente más procesos que los que caben en memoria física.
- ❑ Inconveniente: hace más complejos y costosos los cambios de contexto, sobre todo si el tamaño de los procesos es grande.

# Memoria virtual

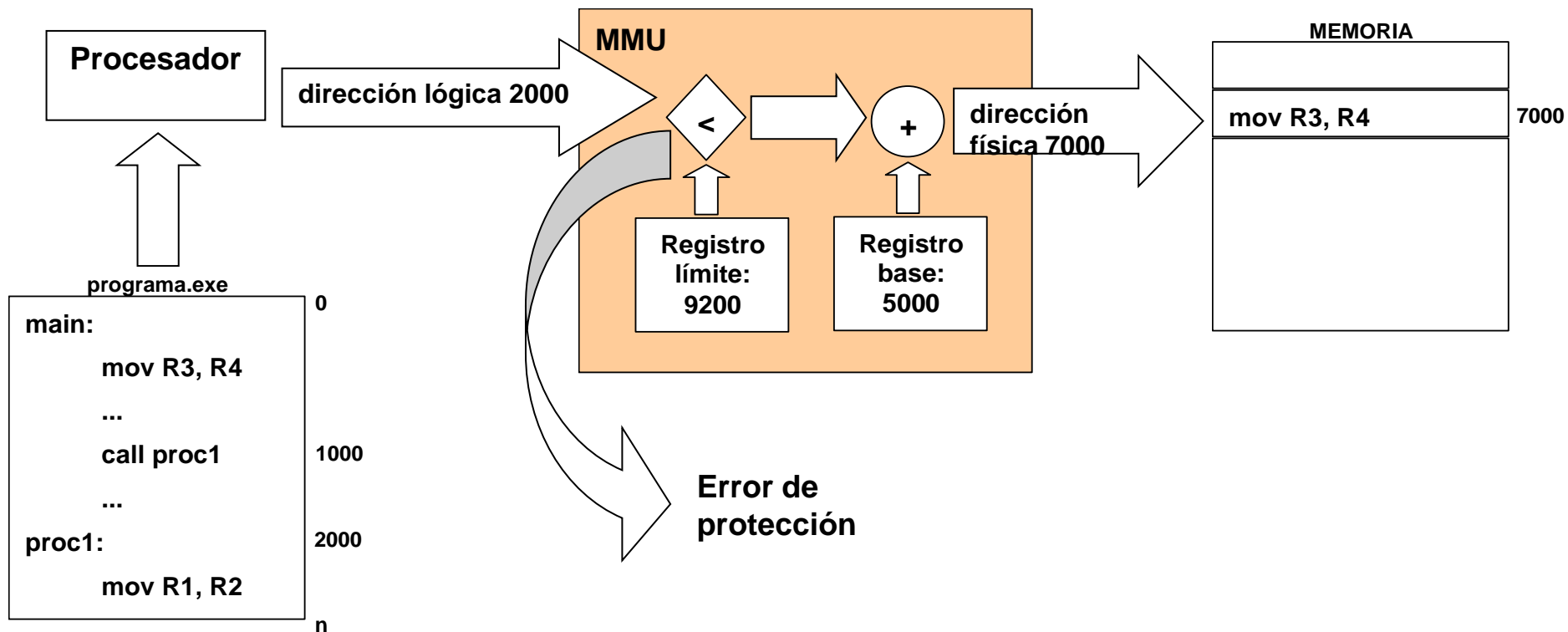
- La alternativa consiste en intercambiar “fragmentos” de los procesos.
- Para ello se requieren técnicas de gestión basadas en el uso de memoria virtual:
  - ▣ que permitan la división del espacio del proceso y su asignación a zonas de memoria física no continuas
  - ▣ pueden utilizarse zonas de disco (memoria secundaria) como complemento del espacio de memoria primaria disponible

# Método de carga y enlace dinámico

- Se puede retrasar tanto el enlace como la carga de una biblioteca hasta el momento de ejecución. Por tanto, no es necesario que las bibliotecas permanezcan en memoria.
- También permite la compartición de las bibliotecas cargadas.
- Ejemplo: DLL en entorno Windows.

# Problema de protección de memoria

- ❑ Cada proceso debe tener un espacio de direcciones (o zona de memoria) propio.
- ❑ Los procesos sólo pueden acceder a su propio espacio de direcciones salvo en aquellos casos que el sistema permita compartir zonas de memoria.
- ❑ Se utilizan registros base y límite.



# Compartición

- Procesos cooperativos pueden compartir código o datos.
- El gestor de memoria debe permitir el acceso a áreas compartidas de memoria sin comprometer la protección básica.
- Ejemplo:

Código: 50K

Usuarios: 20

Datos: 10K

Memoria necesaria:  $20 * (50K + 10K)$

Con compartición:  $50K + 20 * 10K$

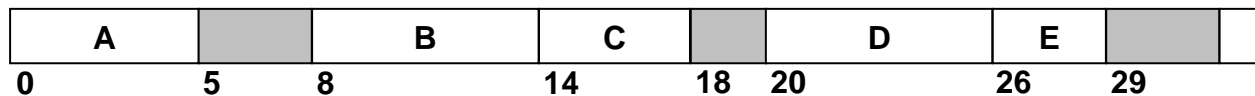


# Organización de la memoria física

- **Asignación contigua:** las direcciones físicas de un mismo proceso son contiguas:
  - ▣ Particiones fijas
  - ▣ Particiones variables
- **Asignación dispersa:** las direcciones físicas de un mismo proceso no tienen por qué ser contiguas:
  - ▣ Paginación
  - ▣ Segmentación
  - ▣ Segmentación paginada

# Gestión de la ocupación de memoria

- Mediante mapa de bits:
  - ▣ Se divide la memoria en unidades de asignación.
  - ▣ El estado de cada asignación se representa con un bit (1=asignada, 0=no asignada)
  - ▣ Es importante la elección del tamaño de la unidad de asignación

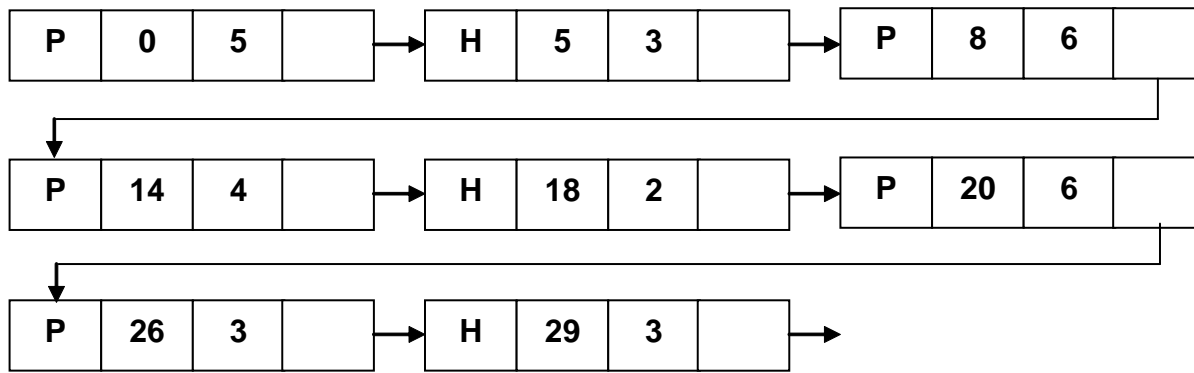
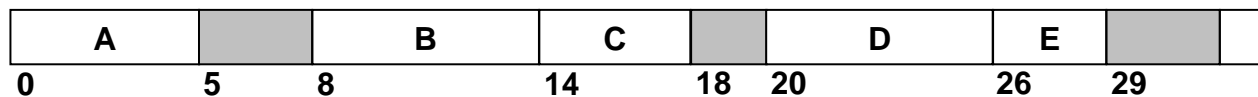


```
11111000
11111111
11001111
11111000
...
```

# Gestión de la ocupación de memoria

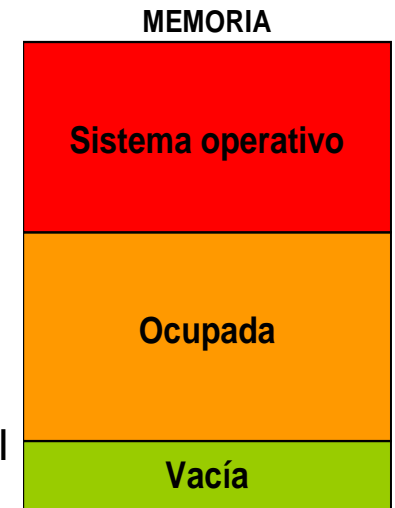
## □ Mediante lista enlazada:

- ▣ Se tiene una lista de segmentos ocupados (proceso) y libres (hueco)
- ▣ Se suelen tener ordenadas por direcciones.
- ▣ Se pueden tener listas separadas para procesos y huecos (ordenadas por tamaño)



# Asignación contigua simple

- Reserva una zona de memoria consecutiva al sistema operativo y el resto lo asigna al programa objeto de procesamiento.
- Utilizada en sistemas monousuario.
- Consideraciones:
  - ▣ es espacio de direcciones se encuentra todo en el mismo estado (asignado o no)
  - ▣ la asignación de memoria se produce durante la planificación del proceso
  - ▣ la liberación ocurre al terminar el procesamiento
  - ▣ la protección se establece mediante un registro límite y un indicador del modo de procesamiento (usuario o superusuario)



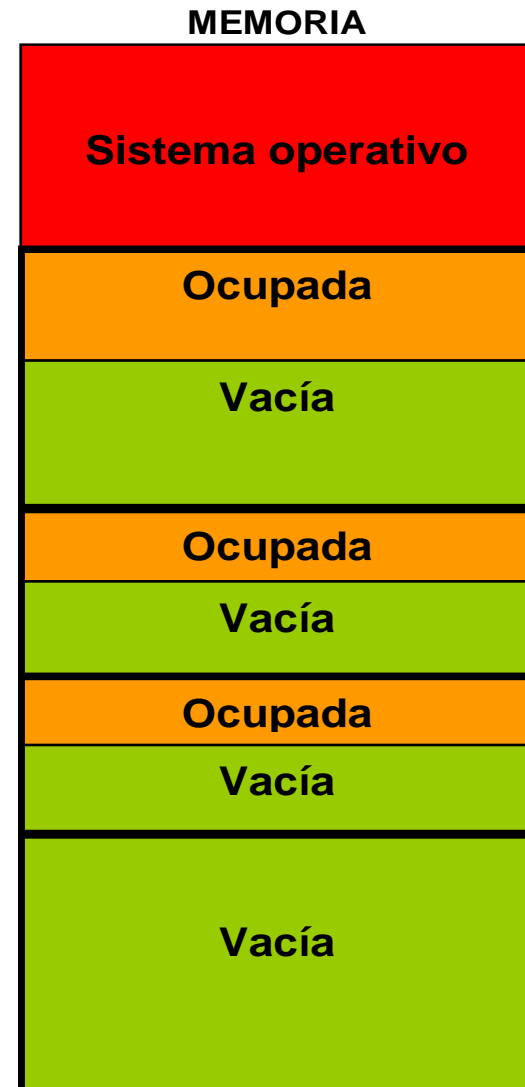
# Asignación contigua simple

## □ Inconvenientes:

- ▣ No se permite multiprogramación
- ▣ Parte de la zona asignada puede estar vacía (**pobre utilización de la memoria**)
- ▣ Limitación del tamaño máximo de programa que puede procesarse
- ▣ Incapacidad para compartir recursos lógicos comunes
- ▣ Todo el programa tiene que estar cargado en memoria para poderlo ejecutar

# Método de particiones

- Se reserva una zona de memoria al sistema operativo y el resto se divide en particiones, cada una de las cuales se asigna a un programa.
- Es el mecanismo más simple para la gestión de la multiprogramación.
- El grado de multiprogramación (número máximo de programas en memoria) viene dado por el número máximo de particiones.
- Consideraciones:
  - ▣ Es necesario saber el estado, asignado o no, de cada partición y su tamaño.



# Método de particiones

- ❑ La asignación se produce, por particiones completas, durante la planificación.
- ❑ La liberación, por particiones completas, se realiza al terminar.
- ❑ La protección se consigue mediante registros límite. En cada acceso a memoria se obtendrá la dirección física y se comparará con los registros límite.

## **Tabla de estado de descripción de las particiones:**

- ❑ Estado de la partición (asignada o no)
- ❑ Identificador del programa al que está asignada
- ❑ Registro base de la partición
- ❑ Registro límite o tamaño de la partición

# Particiones fijas

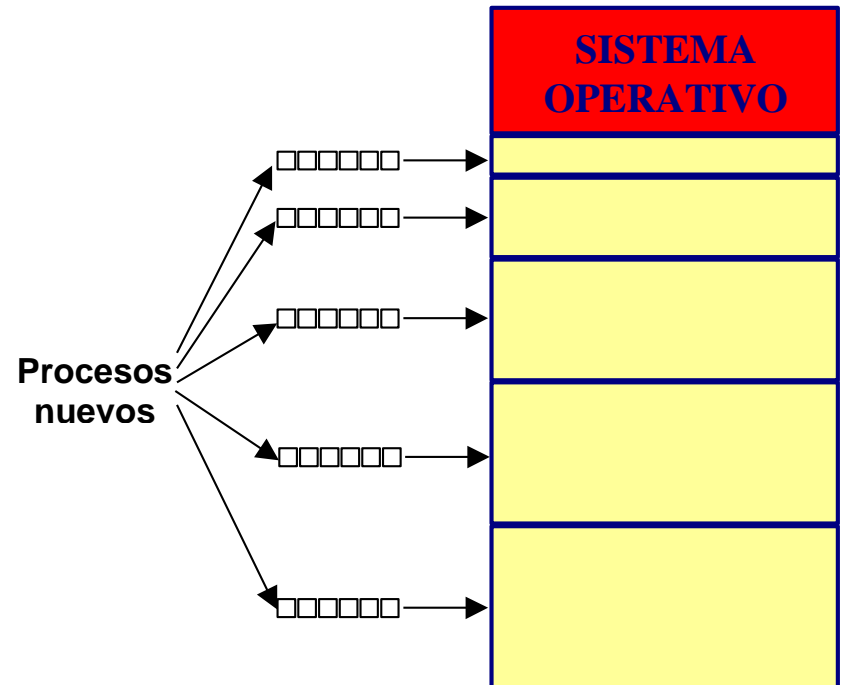
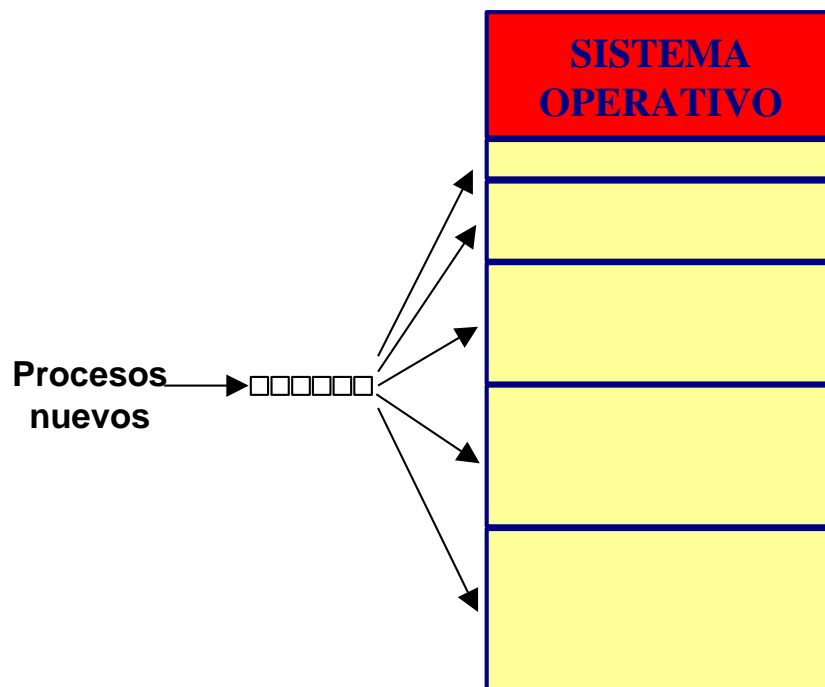
- Las particiones tienen un tamaño fijo.
- Estas pueden tener o no el mismo tamaño.
- El administrador del sistema elige los tamaños de particiones dependiendo del entorno donde se ubique el sistema.
- Cada partición contiene un proceso.
- El número de particiones limita el nivel de multiprogramación.
- Alternativas:
  - ▣ Cola única
  - ▣ Múltiples colas: se asigna cada proceso a la menor partición en la que quepa.



# Particiones fijas

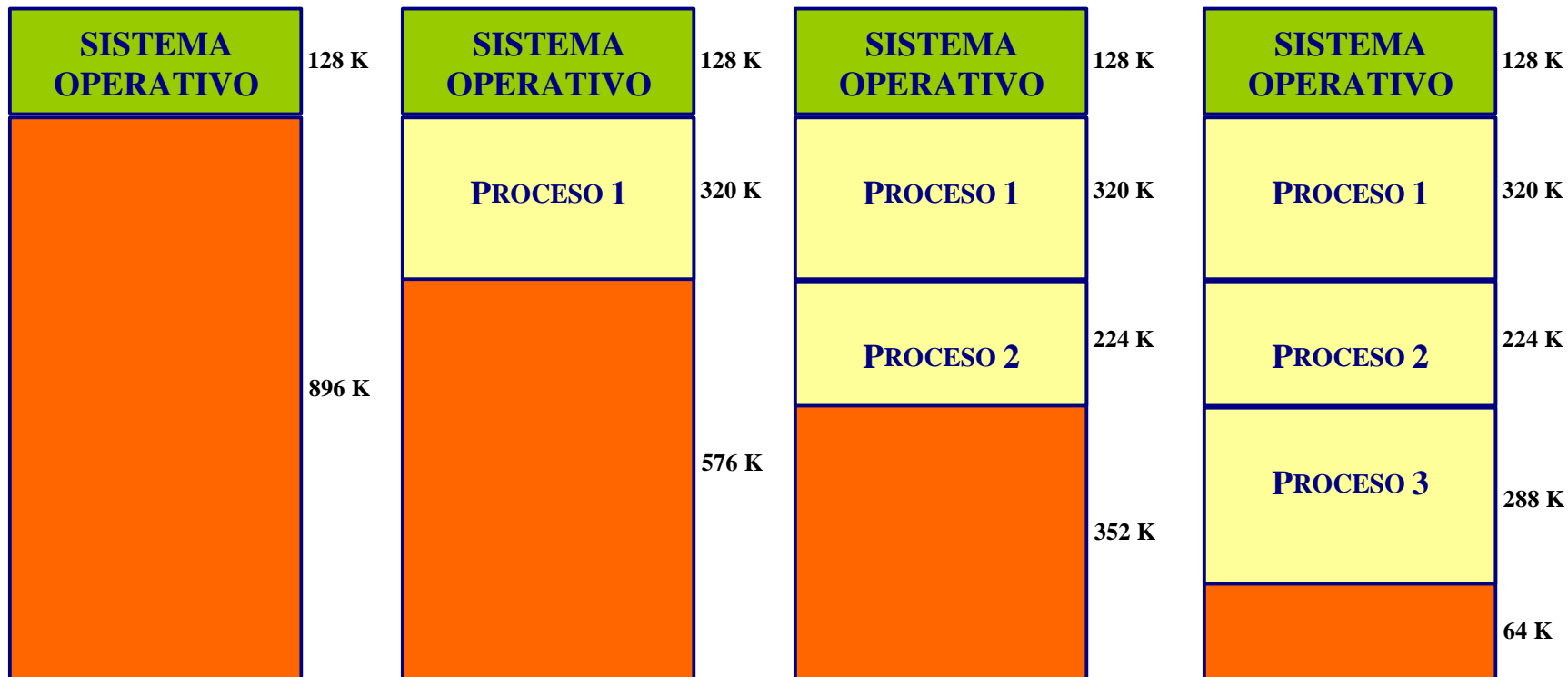
## ❑ Inconvenientes:

- ❑ fragmentación interna
- ❑ limitación del tamaño máximo de programa a la partición más grande
- ❑ bajo índice de ocupación de memoria

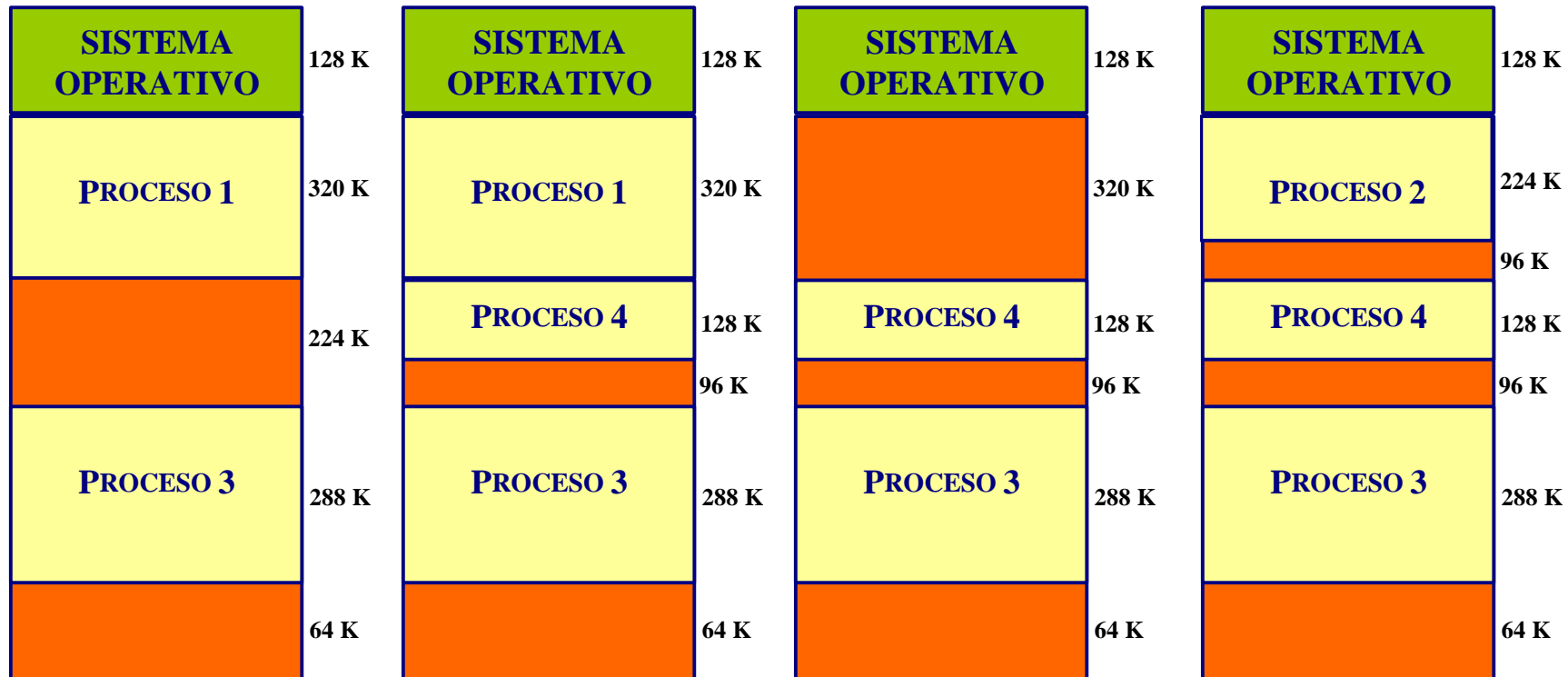


# Particiones variables

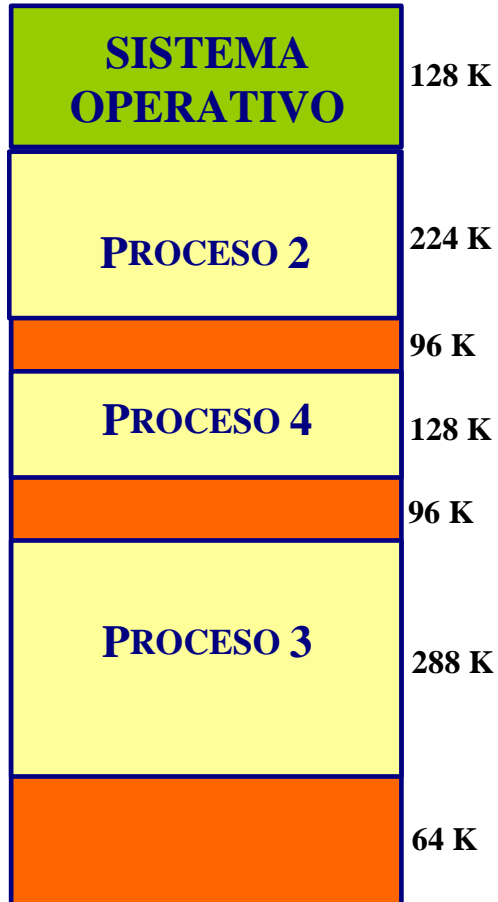
- Los procesos son asignados a particiones que se ajustan a su tamaño.
- De este modo, no se produce fragmentación interna.
- Cuando se va a procesar un programa se le crea una partición y se libera cuando termine.



# Particiones variables



# Particiones variables



| <i>Número</i> | <i>Proceso</i> | <i>Tamaño</i> | <i>Dirección</i> | <i>Estado</i> |
|---------------|----------------|---------------|------------------|---------------|
| 1             | 2              | 224 K         | 128 K            | asignada      |
| 2             |                | 96 K          | 352 K            | disponible    |
| 3             | 4              | 128 K         | 448 K            | asignada      |
| 4             |                | 96 K          | 576 K            | disponible    |
| 5             | 3              | 288 K         | 672 K            | asignada      |
| 6             |                | 64 K          | 960 K            | disponible    |

# Algoritmo general de asignación de partición

```
procedimiento asignación(demanda: entero)
{
 recorrer tabla hasta encontrar estado_p=disponible
 si existe
 {
 caso tamaño_p>demanda
 tamaño_p=tamaño_p-demanda
 crear nueva entrada en tabla
 caso tamaño_p=demanda
 estado_p=no_disponible
 caso tamaño_p<demanda
 repetir procedimiento
 }
 sino
 esperar
}
```

# Algoritmo general de liberación de partición

procedimiento liberación(partición)

{

  caso partición adyacente a zona libre

$\text{tamaño\_z\_l} = \text{tamaño\_z\_l} + \text{tamaño\_p}$

$\text{direccion\_z\_l} = \min(\text{direccion\_z\_l}, \text{direccion\_p})$

    borrar entrada\_p

  caso partición adyacente a zonas libres

$\text{tamaño\_z\_l\_1} = \text{tamaño\_z\_l\_1} + \text{tamaño\_p} + \text{tamaño\_z\_l\_2}$

    borrar entrada\_p

    borrar entrada\_z\_l\_2

  caso partición no adyacente a zona libre

    estado\_p = disponible

}

# Algoritmos de asignación de particiones

- **Algoritmo de asignación del primer hueco:** se asigna la primera partición en la que quepa el proceso.
  - ▣ Tiende a concentrar grandes zonas libres al final de la memoria
  - ▣ Rápido
- **Algoritmo de asignación del siguiente hueco:** se asigna la primera partición en la que quepa el proceso, a partir de la posición de memoria de la última partición asignada.
  - ▣ Tiene las ventajas del primer hueco, distribuyendo, además, los procesos por toda la memoria
  - ▣ Rápido

# Algoritmos de asignación de particiones

- **Algoritmo de asignación del mejor hueco:** se asigna el hueco más pequeño que tenga el tamaño suficiente.
  - ▣ Tiende a preservar las zonas libres más grandes
  - ▣ Puede fragmentar la memoria en múltiples zonas muy pequeñas
  - ▣ Lento
- **Algoritmo de asignación del peor hueco:** se asigna el proceso al hueco más grande.
  - ▣ Tiende a homogeneizar el tamaño de las zonas libres
  - ▣ Se adapta mal para atender programas grandes
  - ▣ Proporciona buenos resultados para gestionar sistemas donde los programas son sensiblemente parecidos
  - ▣ Lento



# Algoritmos de asignación de particiones

## □ Estructuras de datos:

- ▣ Lista enlazada de huecos ordenada por direcciones:
  - Adecuada para los algoritmos de primer y siguiente hueco
  - Facilita la fusión de huecos
- ▣ Lista enlazada de huecos ordenada por tamaño:
  - Adecuada para los algoritmos de mejor y peor hueco
  - Dificulta la fusión de huecos

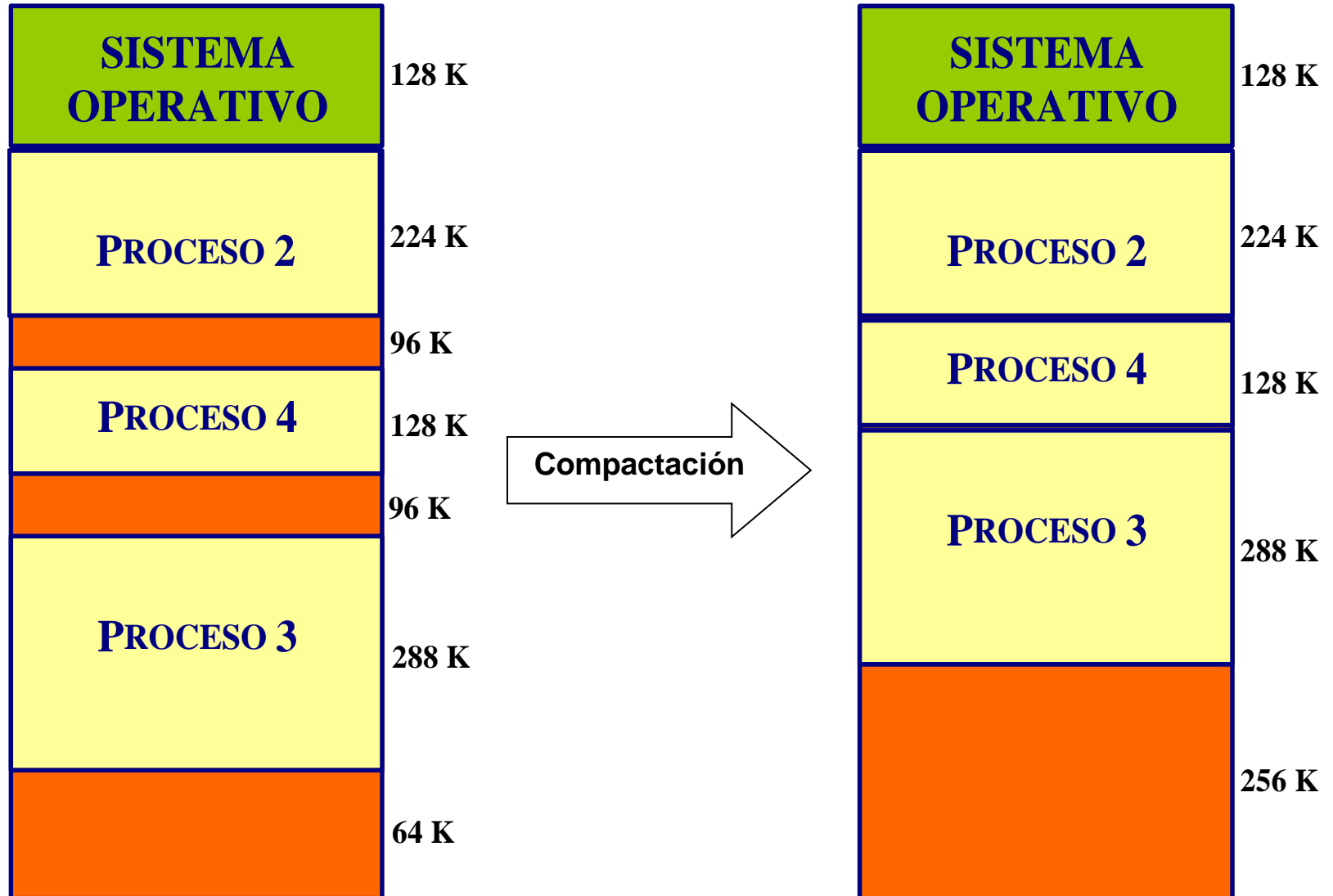
## □ Inconvenientes:

- ▣ Gestión de particiones compleja
- ▣ Fragmentación externa
- ▣ Limitación del tamaño de los programas
- ▣ Incapacidad para compartir recursos lógicos comunes

# Compactación

- Técnica para mejorar la utilización de memoria en la estrategia de particiones dinámicas.
- Desplazar las particiones asignadas para colocar toda la memoria libre en una única partición de gran tamaño.
- Se resuelve el problema de la fragmentación externa.
- Los algoritmos de compactación se caracterizan, básicamente, por el instante de efectuarla:
  - ▣ compactar tras cada liberación de partición
  - ▣ compactar cuando se solicita una partición mayor que cualquier zona libre y menor que la suma de éstas
- El tiempo de compactación puede llegar a ser alto.

# Compactación



# Intercambio (swapping)

- Técnica para aumentar la multiprogramación en la gestión de memoria por asignación contigua simple o por particiones.
- Se realiza cuando se decide admitir un nuevo proceso para el cual no se encuentra una partición libre adecuada.
- Se selecciona alguno de los procesos suspendidos que ocupan particiones en las que cabe el nuevo proceso.
- Consiste en transferir bloques de información entre memoria central y memoria auxiliar de modo que los programas se van ejecutando a base de intervalos de tiempo.
- La memoria de swap debe ser rápida.
- Para reducir el tiempo de transferencia entre memoria central y auxiliar:
  - ▣ transferir sólo aquellas direcciones conteniendo información
  - ▣ mejorar las prestaciones de los dispositivos sobre lo que se efectúa el swap

# Técnicas de asignación dispersa

- El espacio de direcciones virtuales no ha de estar, necesariamente, mapeado en memoria de forma contigua.
  - ▣ Paginación
  - ▣ Segmentación
  - ▣ Segmentación paginada

# Paginación

- ❑ Las técnicas de asignación contigua usan de forma ineficiente la memoria, debido a la fragmentación externa o interna.
- ❑ La paginación es una estrategia de asignación no contigua de la memoria que consiste en dividir los espacios de direcciones lógicas y físicas en zonas de igual tamaño.
- ❑ La memoria lógica está dividida en bloques de tamaño fijo denominados **páginas**.
- ❑ La memoria física se encuentra dividida en bloques, de igual tamaño que las páginas, denominados **marcos**.

# Traducción de direcciones

- Las direcciones lógicas tienen dos campos: página y desplazamiento



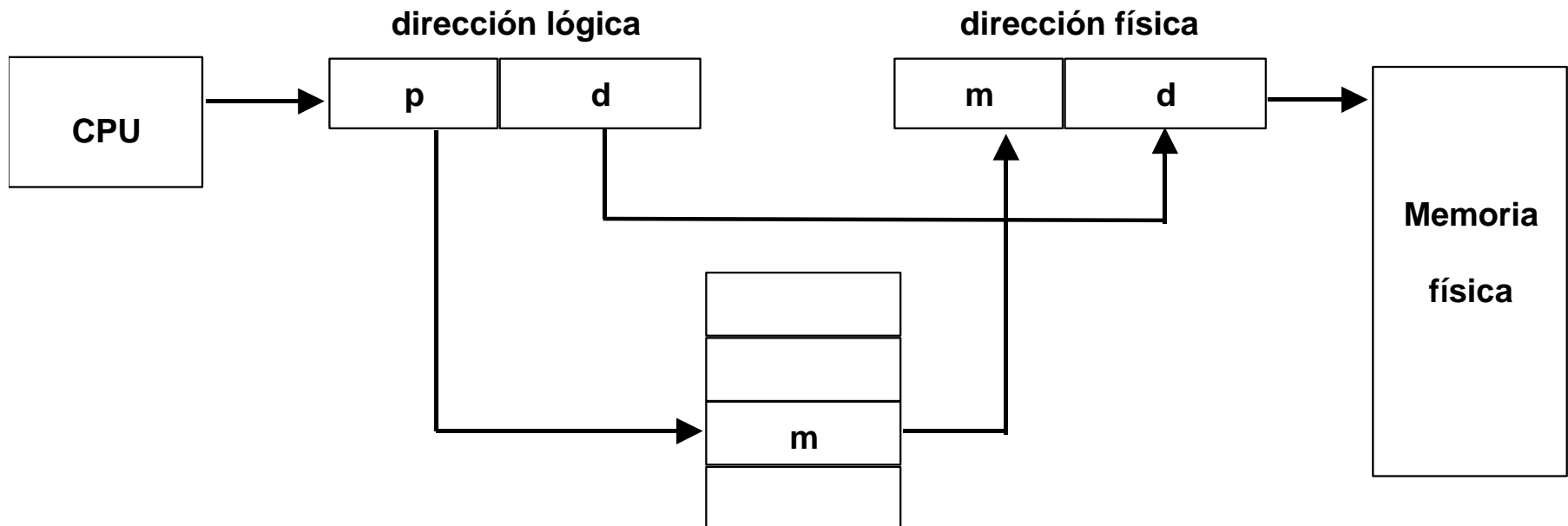
- Las direcciones físicas tienen dos campos: marco y desplazamiento.



- Cada proceso tiene asignada una tabla de páginas (en su Bloque de Control de Proceso) que establece la correspondencia entre las páginas y los marcos donde están cargadas, además de información adicional.

# Traducción de direcciones

- El tamaño de página suele estar entre 512 bytes y 8K.
- La selección de una potencia de 2 como tamaño hace más fácil la traslación de una dirección lógica a un número de página y un desplazamiento.
- Si el tamaño de página es  $2^k$ , los  $k$  bits menos significativos representan un desplazamiento y los  $(m-k)$  restantes el número de página.





# Traducción de direcciones

|    |   |   |
|----|---|---|
| 0  | a | 0 |
| 1  | b |   |
| 2  | c |   |
| 3  | d |   |
| 4  | e | 1 |
| 5  | f |   |
| 6  | g |   |
| 7  | h |   |
| 8  | i | 2 |
| 9  | j |   |
| 10 | k |   |
| 11 | l |   |
| 12 | m | 3 |
| 13 | n |   |
| 14 | o |   |
| 15 | p |   |

memoria  
lógica

|   |   |
|---|---|
| 0 | 5 |
| 1 | 6 |
| 2 | 1 |
| 3 | 2 |

tabla de  
páginas

|    |   |   |
|----|---|---|
| 0  |   | 0 |
| 1  |   |   |
| 2  |   |   |
| 3  |   |   |
| 4  | i | 1 |
| 5  | j |   |
| 6  | k |   |
| 7  | l |   |
| 8  | m | 2 |
| 9  | n |   |
| 10 | o |   |
| 11 | p |   |
| 12 |   | 3 |
| 13 |   |   |
| 14 |   |   |
| 15 |   |   |
| 16 |   | 4 |
| 17 |   |   |
| 18 |   |   |
| 19 |   |   |
| 20 | a | 5 |
| 21 | b |   |
| 22 | c |   |
| 23 | d |   |
| 24 | e | 6 |
| 25 | f |   |
| 26 | g |   |
| 27 | h |   |
| 28 |   | 7 |
| 29 |   |   |
| 30 |   |   |
| 31 |   |   |

memoria  
física

# Traducción de direcciones

- Se puede producir **fragmentación interna**.
  - ▣ debida a espacio no utilizado en el último marco asignado a cada proceso.
  - ▣ Los tamaños de página grandes aumentan la fragmentación interna.
  - ▣ Los tamaños de pagina pequeños requieren tablas de páginas grandes.
- La reubicación se facilita, ya que el espacio de direcciones lógicas comienza en la dirección 0.
- Varios procesos pueden compartir un marco de página referenciándolo desde diferentes tablas, con lo que se duplica página pero no marco.
- Las páginas pueden estar protegidas de diferentes modos: lectura, escritura o lectura/escritura.
- Cuando se intenta el acceso a un marco que no está asociado se produce un error de protección.

# Implementación de la tabla de páginas

- Tabla de páginas en memoria:
  - ▣ El MMU sabe la posición de memoria donde está la tabla de páginas del proceso: registro base de la tabla de páginas (PTBR) y registro de longitud de la tabla de páginas (PTLR)
  - ▣ Obtiene el marco asociado.
  - ▣ Construye la dirección física.
  - ▣ Accede a memoria física.
  - ▣ Se realizan dos accesos a memoria RAM.

# Implementación de la tabla de páginas

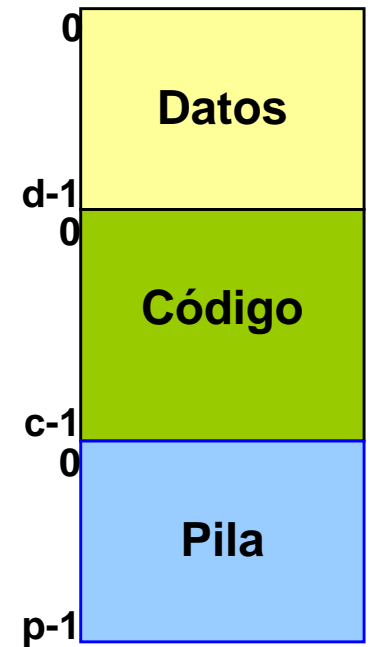
- Mapas asociativos:
  - ▣ Para que la búsqueda sea más rápida, todas las tablas están en una memoria muy rápida (caché).
  - ▣ Tiene alto coste.
  - ▣ Se realiza un acceso a caché y otro a memoria RAM.
- Combinación de las anteriores (TLBs: Translation Look-aside Buffers):
  - ▣ Las tablas se contienen parcialmente en caché (los descriptores más recientemente utilizados)
  - ▣ Si no se encuentra en caché, se busca en la memoria RAM.
  - ▣ Si hay acierto en la caché, se realiza un acceso a caché y otro a RAM. Si no hay acierto, se accede dos veces a memoria RAM.

# Implementación de la tabla de páginas

- Tablas de páginas invertidas:
  - ▣ Cuando el espacio virtual es mucho mayor que el físico la tabla de páginas puede ocupar mucha memoria.
  - ▣ La tabla se indexa por número de marco en lugar de por número de página.
  - ▣ La traducción es mucho más difícil: hay que buscar una combinación (identificador de proceso, número de página) coincidente.
- Paginación multinivel:
  - ▣ Cuando las tablas de páginas son muy grandes, se pueden usar 2 o más niveles de paginación.
  - ▣ La tabla de páginas estará paginada.
  - ▣ Se realizan más accesos a memoria.

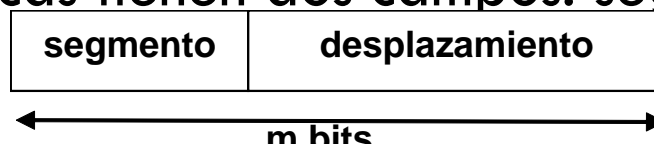
# Segmentación

- Se divide el espacio lógico de direcciones del proceso en agrupaciones lógicas de información denominados **segmentos**.
- Los segmentos son entidades lógicas relacionadas por el programador:
  - ▣ Conjuntos de subrutinas
  - ▣ Conjuntos de variables o datos
  - ▣ La pila
- Cada segmento consiste en un espacio lineal de direcciones, desde 0 hasta algún máximo.



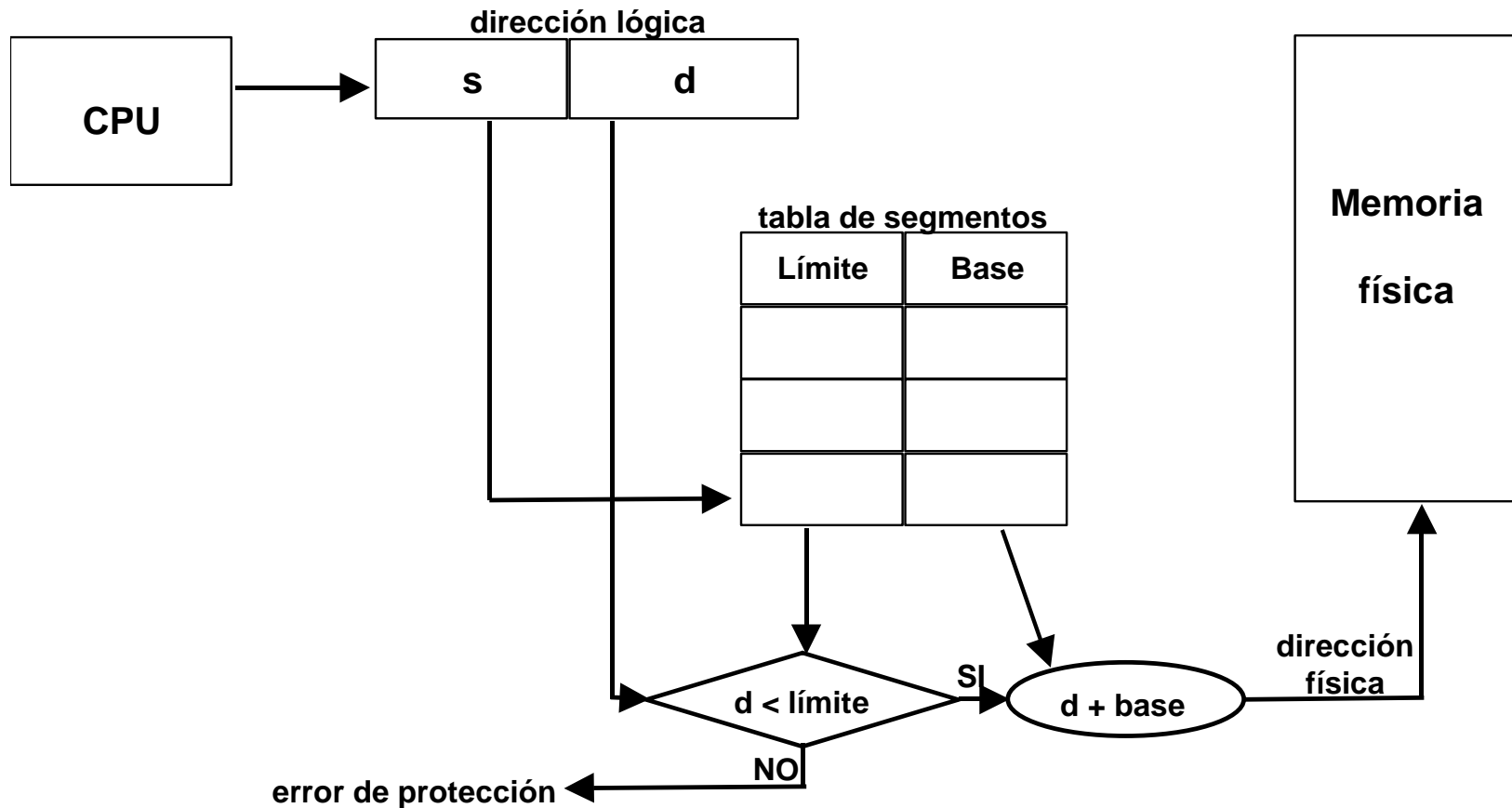
# Segmentación

- Toda la información de un segmento se ubica en un área contigua de memoria.
- Distintos segmentos pueden ir ubicados en zonas no contiguas de la memoria física (se pueden ocupar diferentes particiones no contiguas).
- La segmentación es similar al método de particiones dinámicas, salvo en que el espacio de direcciones está dividido en bloques (“segmentos”).
  - ▣ No se produce fragmentación interna.
  - ▣ Se produce fragmentación externa (menor que con particiones variables)
- Las direcciones lógicas tienen dos campos: segmento y desplazamiento.



# Segmentación

- Cada programa posee una **tabla de segmentos** que relaciona las direcciones lógicas y físicas





# Segmentación

## □ Ventajas:

- ▣ Elimina la fragmentación externa (si es preciso, se compacta)
- ▣ Los segmentos pueden crecer de forma independiente.
- ▣ Facilidad para compartición de memoria.
- ▣ Protección a nivel de unidades lógicas.
- ▣ El programador debe desarrollar de forma modular los programas.

## □ Desventajas:

- ▣ Dificultades de gestión de la memoria debido a que los segmentos tienen tamaño variable.
- ▣ Todo el programa tiene que estar en memoria para poderlo ejecutar.
- ▣ Sobrecarga debida al uso de tablas y a la compactación.

# Implementación de la tabla de segmentos

- Tabla de segmentos en memoria:
  - ▣ Al segmento se le suma la dirección base de la tabla de segmentos.
  - ▣ En la fila se encuentra la direcciones base y límite de los segmentos.
  - ▣ Se construye la dirección física sumando el registro base al desplazamiento.
  - ▣ Se realizan dos accesos a memoria RAM.
- Mapas asociativos:
  - ▣ Para que la búsqueda sea más rápida, todas las tablas están en una memoria muy rápida (caché).
  - ▣ Tiene alto coste.
  - ▣ Se realiza un acceso a caché y otro a memoria RAM

# Implementación de la tabla de segmentos

- Combinación de las anteriores:
  - ▣ Las tablas se contienen parcialmente en caché (los descriptores más recientemente utilizados)
  - ▣ Si no se encuentra en caché, se busca en la memoria RAM.
  - ▣ Si hay acierto en la caché, se realiza un acceso a caché y otro a RAM. Si no hay acierto, se accede dos veces a memoria RAM.

# Paginación vs segmentación

| Paginación                                                                      | Segmentación                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| La división de los programas en páginas es transparente al programador          | El programador especifica al compilador los segmentos del programa                |
| Las páginas tienen tamaño fijo                                                  | Los segmentos tienen tamaño variable                                              |
| Dirección virtual =<br>$\text{n}^\circ \text{ de página} + \text{desplamiento}$ | Dirección virtual =<br>$\text{n}^\circ \text{ de segmento} + \text{desplamiento}$ |
| No hay fragmentación externa                                                    | Hay fragmentación externa                                                         |
| Hay fragmentación interna                                                       | No hay fragmentación interna                                                      |
| Se puede compartir y proteger a nivel de página                                 | Se puede compartir y proteger a nivel de segmentos                                |

# Segmentación paginada

- Cuando los segmentos son excesivamente grandes:
  - ▣ Aumenta la fragmentación externa
  - ▣ Aumenta el problema de encontrar un hueco libre en memoria
- Solución: paginar los segmentos.
- A cada segmento se le asocia su propia tabla de páginas.
- Las direcciones lógicas están formadas por un número de segmento, un número de página y el desplazamiento.

|          |        |                |
|----------|--------|----------------|
| segmento | página | desplazamiento |
|----------|--------|----------------|



# Segmentación paginada

- Es necesaria la consulta de dos tablas para obtener la dirección física, lo cual puede repercutir en el rendimiento del sistema.
- Aumenta el espacio consumido por las tablas.
- Se reduce la fragmentación interna a la última página del segmento.

# Memoria virtual

- Técnica que permite la ejecución de un proceso aunque no esté cargado totalmente en memoria. El resto del proceso se encontrará en memoria secundaria.
- Ventajas:
  - ▣ Un programa ya no está restringido por la cantidad de memoria física disponible.
  - ▣ Se aumenta la utilización de la CPU, al poder ejecutar más programas al mismo tiempo.
  - ▣ Se requiere menos E/S para cargar o intercambiar los procesos de usuario, por lo que se ejecutarán más rápido.
- El mecanismo más elemental de memoria virtual es el de **recubrimientos**.

# Memoria virtual

- Se encuentran dos implementaciones de memoria virtual:
  - ▣ Paginación por demanda
  - ▣ Segmentación por demanda
- Se mantienen en memoria principal aquellas páginas o segmentos que sean necesarios en cada momento.
- El conjunto de páginas o segmentos que se mantienen para cada proceso constituyen su **conjunto residente**.



# Paginación por demanda

- Se combinan las técnicas de:
  - ▣ paginación
  - ▣ intercambios (swapping)
- Un intercambiador manipula procesos enteros entre memoria principal y secundaria.
- Un paginador hace intercambios de páginas entre memoria principal y secundaria según haga falta.

# Paginación por demanda

- Cada entrada de la tabla de páginas posee un **bit de validez** que indica si la página está cargada actualmente en memoria o no, y un **bit de modificación** que indica si la página se ha modificado o no en memoria (**página sucia** y **página limpia**).

|                |                     |       |
|----------------|---------------------|-------|
| bit de validez | bit de modificación | marco |
|----------------|---------------------|-------|

- La conversión de direcciones virtuales (página y desplazamiento) a direcciones físicas se realiza de una forma parecida a la paginación simple.
- Cuando se accede a una página que no está en memoria central, se genera una **interrupción por falta de página**, cuyo objeto es cargarla en memoria.
- Se produce un **reemplazo de páginas** si la memoria está totalmente ocupada y se produce un **fallo de página**.

# Paginación por demanda

## Algoritmo general:

inicio procesamiento instrucción

si bit\_de\_validez = 1

    acceder a memoria

sino

    si no existe bloque libre

        seleccionar página a sustituir

        actualizar tablas

        si página modificada (bit\_de\_modificación = 1)

            escribir página en memoria auxiliar

        finsi

    finsi

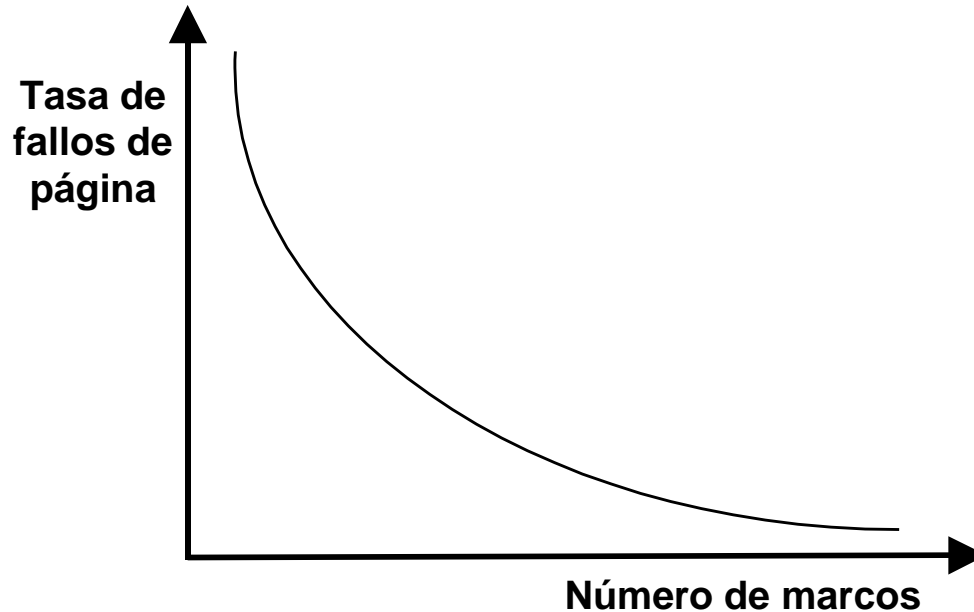
    transferir nueva página a memoria principal

    actualizar tablas

finsi

# Rendimiento de la paginación por demanda

- La tasa de fallos de página disminuye cuando aumenta el número de marcos.

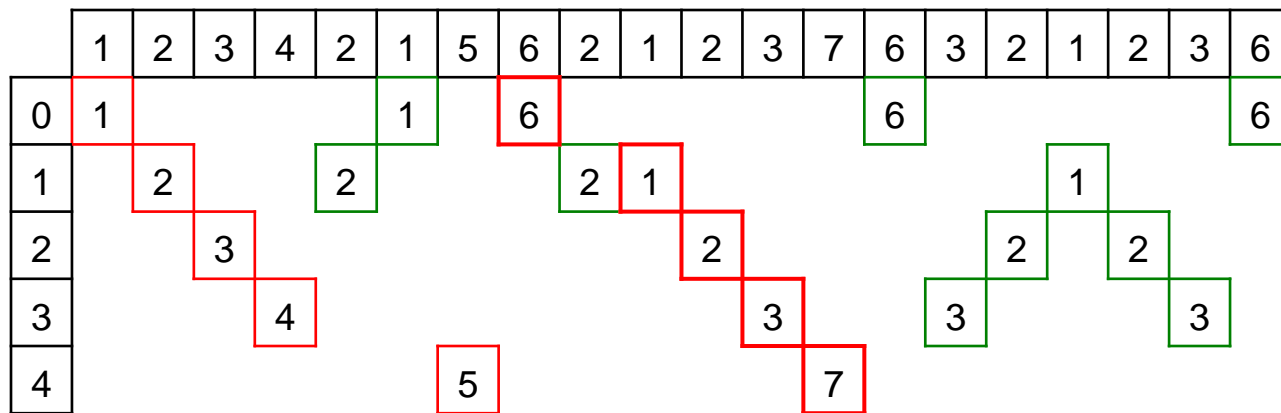


# Algoritmos de reemplazo de páginas

- Algoritmo FIFO.
- Algoritmo óptimo.
- Algoritmo LRU.
- Algoritmo de segunda oportunidad.
- Algoritmo LFU.
- Algoritmo NUR.

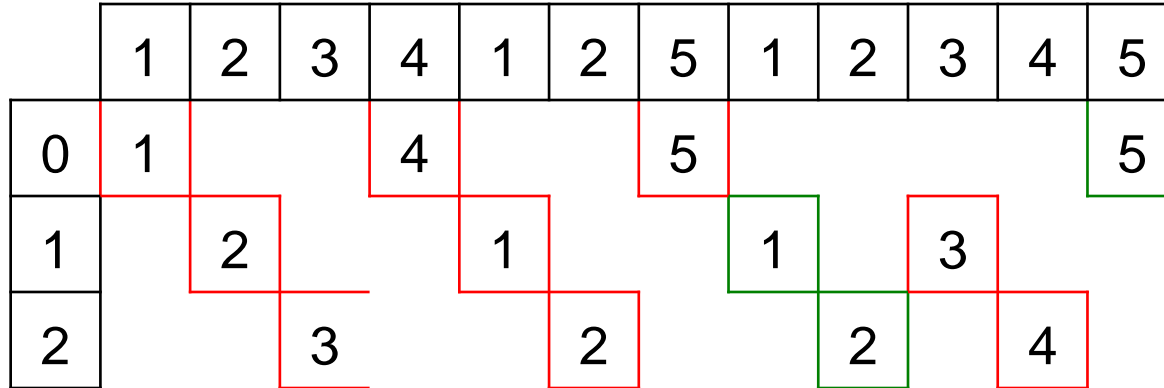
# Algoritmo FIFO

- elimina la página que hace más tiempo que fue cargada en memoria.

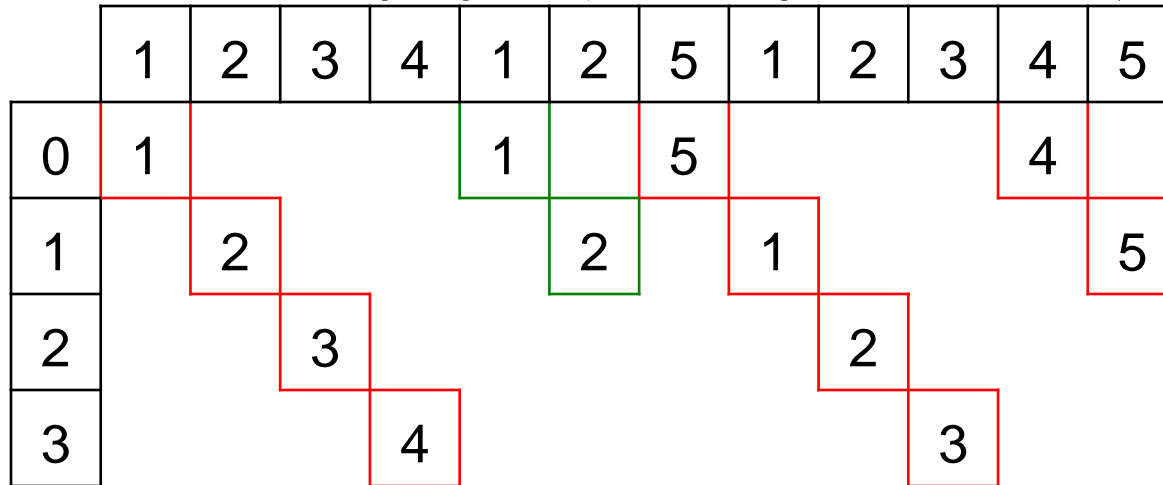


- Se producen 10 fallos de página (5 reemplazamientos)
- Una página que se utilice mucho y sea antigua se sustituirá.
- Se puede producir la anomalía FIFO o **anomalía de Belady**: se producen más fallos de páginas al aumentar el número de marcos.

# Algoritmo FIFO



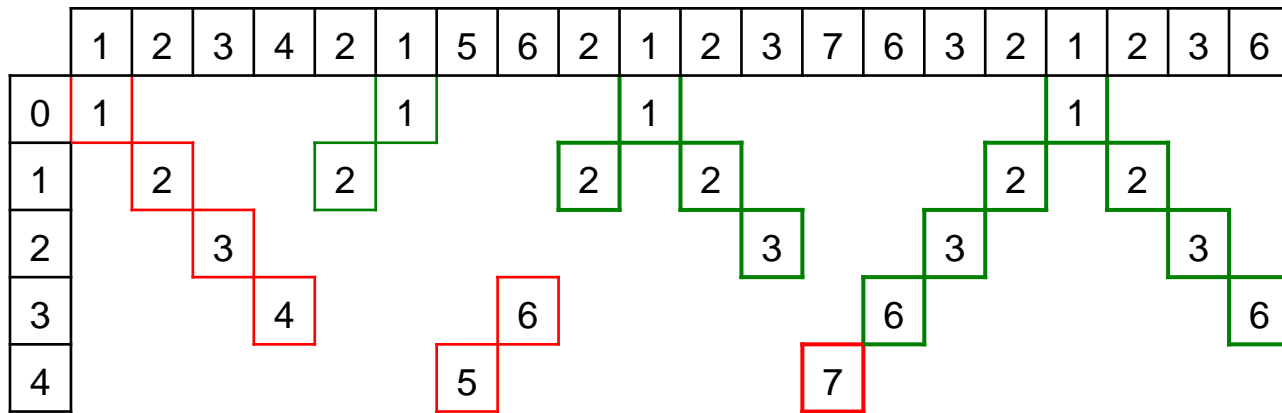
- Se producen 9 fallos de página (6 reemplazamientos)



- Se producen 10 fallos de página (6 reemplazamientos)

# Algoritmo óptimo

- reemplaza la página que tardará más tiempo en ser referenciada.

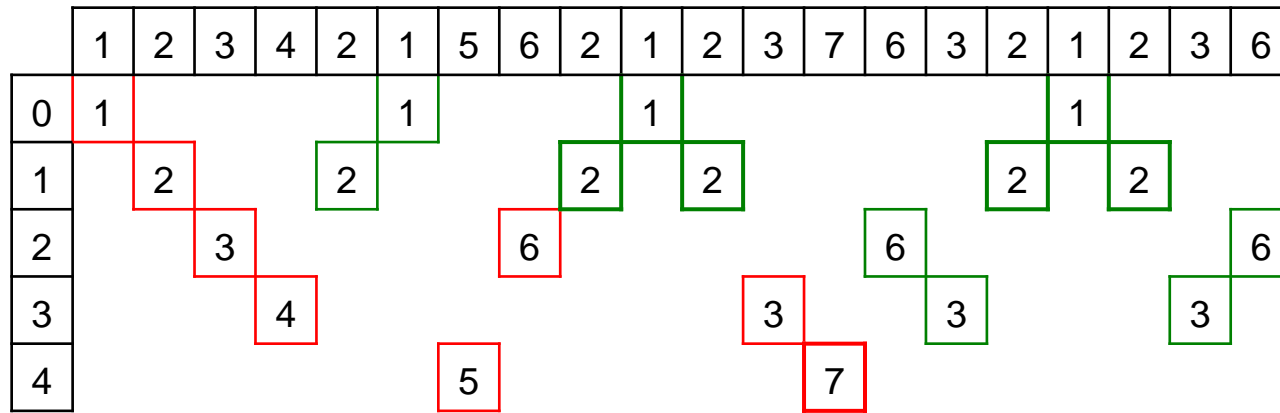


- Se producen 7 fallos de página (2 reemplazamientos)
- Algoritmo no realizable. Tiene importancia como comparativa.
- No presenta la anomalía de Belady.



# Algoritmo LRU (Least Recently Used)

- Se elimina la página que hace más tiempo que no se ha utilizado.
- Aproximación al algoritmo óptimo que utiliza el pasado reciente como aproximación de lo que sucederá en el futuro cercano.

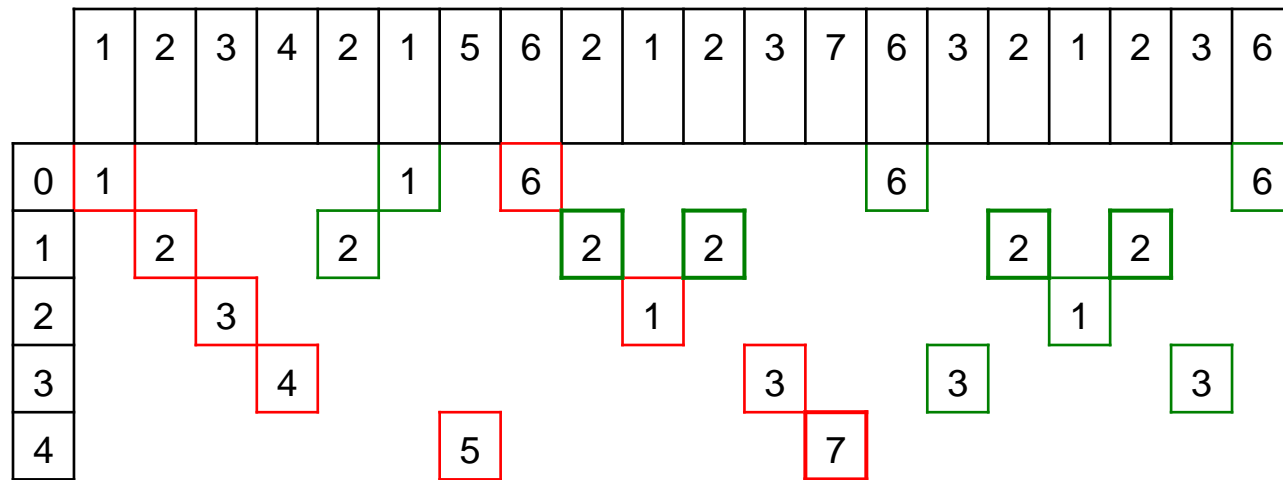


- Se producen 8 fallos de página (3 reemplazamientos)

# Algoritmo de segunda oportunidad

- Se asocia a cada página un bit de referencia.
- Se elige una página con criterio FIFO y se inspecciona el bit de referencia:
  - ▣ Si el bit está a 1, se le da una segunda oportunidad:
    - poner el bit de referencia a 0
    - dejar la página en memoria
  - ▣ Si el bit está a 0, esa página será la víctima.
- Se elige la siguiente página con criterio FIFO y se aplican las mismas reglas.

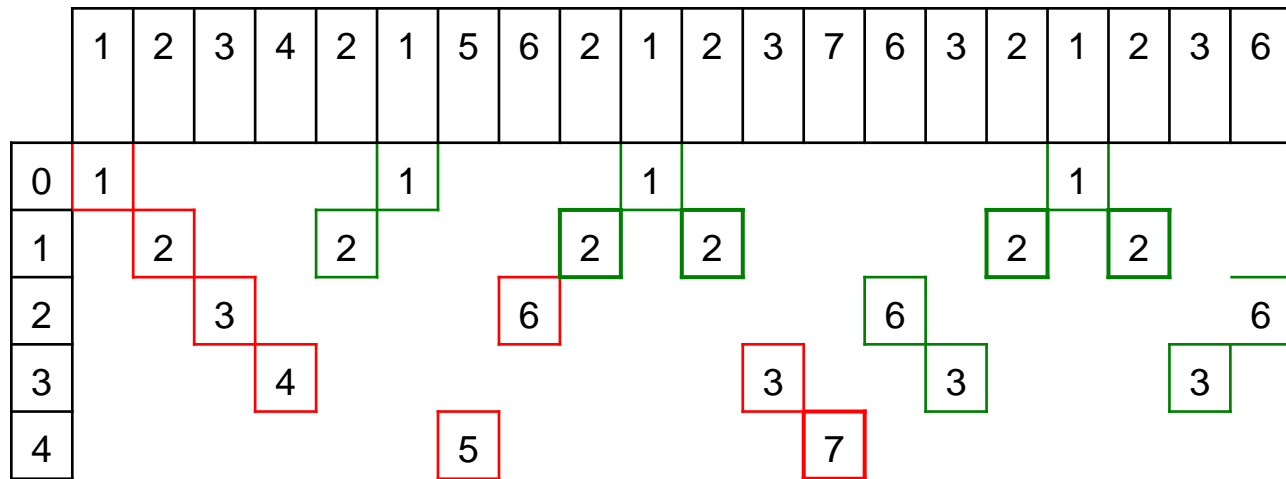
# Algoritmo de segunda oportunidad



- Se producen 9 fallos de página (4 reemplazamientos)

# Algoritmo LFU (Least Frequently Used)

- Se elimina la página con menor índice de uso.
- Asociado a cada página hay un contador de uso que se inicializa cada vez que entra en memoria.
- A igual índice se aplica FIFO.



- Se producen 8 fallos de página (3 reemplazamientos)

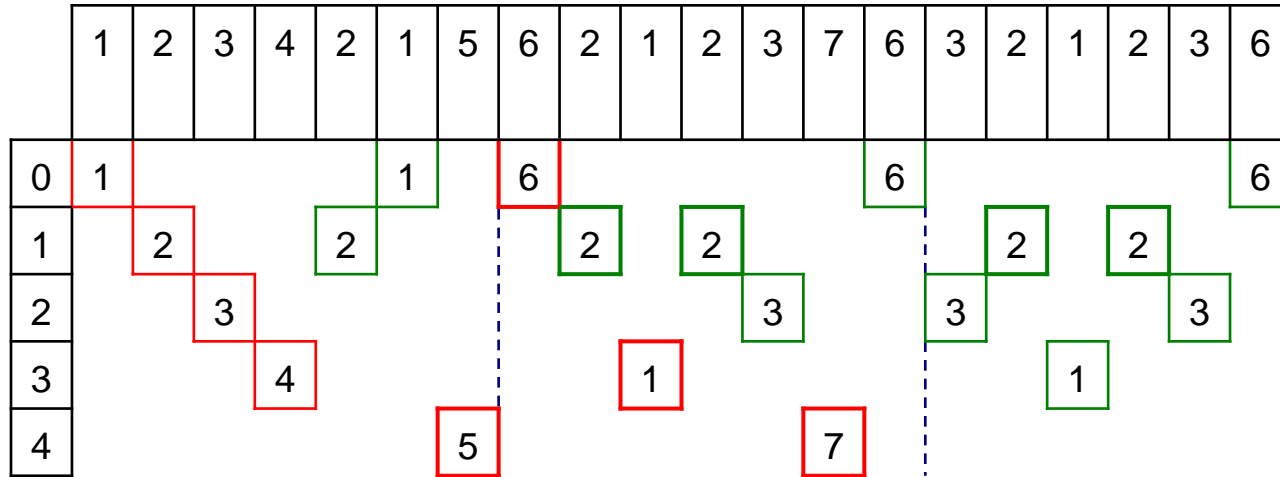
# Algoritmo NUR (Not Used Recently)

- Se asocia a cada página un bit de referencia y un bit de modificación.
- Se elimina una de las páginas siguiendo criterio FIFO con el siguiente orden:

| Prioridad de página | Bit de referencia | Bit de modificación |
|---------------------|-------------------|---------------------|
| 0                   | 0                 | 0                   |
| 1                   | 0                 | 1                   |
| 2                   | 1                 | 0                   |
| 3                   | 1                 | 1                   |

- El bit de referencia se actualiza cada cierto tiempo.
- Inconveniente: después de poner a 0 todos los bits de referencia, puede liberarse incluso el último bloque que se referenció.

# Algoritmo NUR (Not Used Recently)



- Se producen 8 fallos de página (3 reemplazamientos)
- Las páginas 2 y 3 escriben.
- Cada 7 referencias se pone el bit de referencia a 0

# Asignación de páginas

- **Asignación equitativa:** si hay  $m$  marcos y  $n$  procesos, se le asignan  $m/n$  marcos a cada proceso.
- **Asignación proporcional:** se asigna memoria a cada proceso según su tamaño.

$$V = \sum v_i$$

$$m_i = \frac{v_i}{V} \times m$$

- $v_i$ : tamaño del proceso  $i$
- $m$ : n° total de marcos
- $m_i$ : marcos asignados al proceso  $i$

# Formas de reemplazo de páginas

## Reemplazo global:

- Un proceso elige para reemplazar páginas en marcos del conjunto de marcos total.
- Puede elegir marcos de otros procesos.
- El número de marcos asignados a un proceso es variable. Crece o decrece según lo necesite.

## Reemplazo local:

- Un proceso sólo reemplaza páginas alojadas en marcos de su conjunto de marcos asignados.
- El número de marcos asignados al proceso es fijo.
- Se puede producir **hiperpaginación**.



# Hiperpaginación (thrashing)

- Alto índice de agitación o actividad en el trasiego de información entre la memoria central y la memoria auxiliar.
- Se produce cuando un proceso usa activamente un número determinado de páginas y tiene asignados un número menor de marcos. Por tanto, se producen **fallos de página frecuentes**.
- La hiperpaginación reduce el rendimiento del sistema.
- Si se emplea **estrategia de asignación global de marcos**:
  - ▣ No existe restricción en el número de marcos asignados a los procesos
  - ▣ Un programa puede tomar muchos marcos de otros procesos
  - ▣ Estos procesos producirán muchos fallos de página
  - ▣ Solución: reducir el grado de multiprogramación

# Hiperpaginación (thrashing)

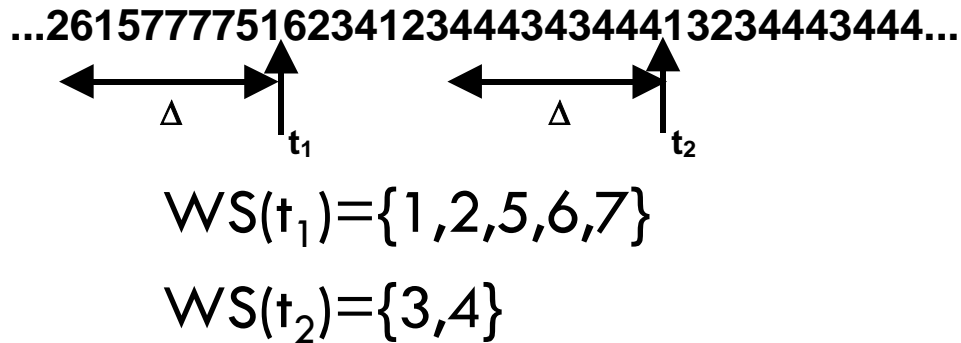
- Si se emplea **estrategia de asignación local de bloques**:
  - ▣ Los procesos tienen asignados un número máximo de marcos
  - ▣ Un proceso puede necesitar más marcos de los asignados provocando fallos de página frecuentes
  - ▣ Puede llegar a ralentizar el paginador
  - ▣ Otros procesos que no sufren de hiperpaginación tardarán más al intentar cargar una página
  - ▣ Solución: asignar a cada proceso los marcos que necesite
- No se sabe a priori cuántos marcos necesitará un proceso, por lo que se intenta modelizar la utilización de la memoria.

# Hiperpaginación (thrashing)

- **Controlar la frecuencia de fallos de página:**
  - ▣ Se establecen límites superior e inferior a la proporción de fallos
  - ▣ Si se excede el límite superior, se asignan más marcos al proceso
  - ▣ Si se cae por debajo del límite inferior, se libera algún marco
  - ▣ Un proceso puede llegar a suspenderse si se queda con muy pocos marcos, por haberlos cedido a otros procesos
- **Modelo del working set (conjunto de trabajo o conjunto residente):**
  - ▣ Se basa en el modelo de la localidad: a medida que progresa la ejecución de un programa, las referencias a memoria evolucionan de una localidad a otra
  - ▣ Una localidad es un conjunto de páginas que se utilizan juntas activamente

# Hiperpaginación (thrashing)

- El **working set** es el conjunto de páginas de las  $n$  últimas referencias (ventana del WS) a memoria.



- Si  $TWS_i$  es el tamaño de cada working set, el número total de demandas es  $D = \sum TWS_i$
- Si  $M$  es el número de marcos de memoria física, si  $D > M$  entonces se produce hiperpaginación
- Se asigna a cada proceso los marcos necesarios para tener su working set en memoria
- Si quedan marcos suficientes, se asigna memoria a otro proceso más

# Prepaginación

- Cuando se inicia o se despierta un proceso se producen un gran número de fallos de página
- La prepaginación es un intento de reducir este elevado nivel inicial de paginación.
- Consiste en cargar en memoria al mismo tiempo todas las páginas que se necesitarán.
- Cuando el proceso está en cola de espera a ser ejecutado, se pueden cargar las páginas que había antes de su suspensión.

# Segmentación por demanda

- En memoria central se encuentran los segmentos del programa en uso. El resto se encuentran en memoria secundaria.
- La tabla de segmentos está formada por los registros base y límite, un bit de validez, un bit de acceso (referencia), un bit de modificación y varios bits de control.

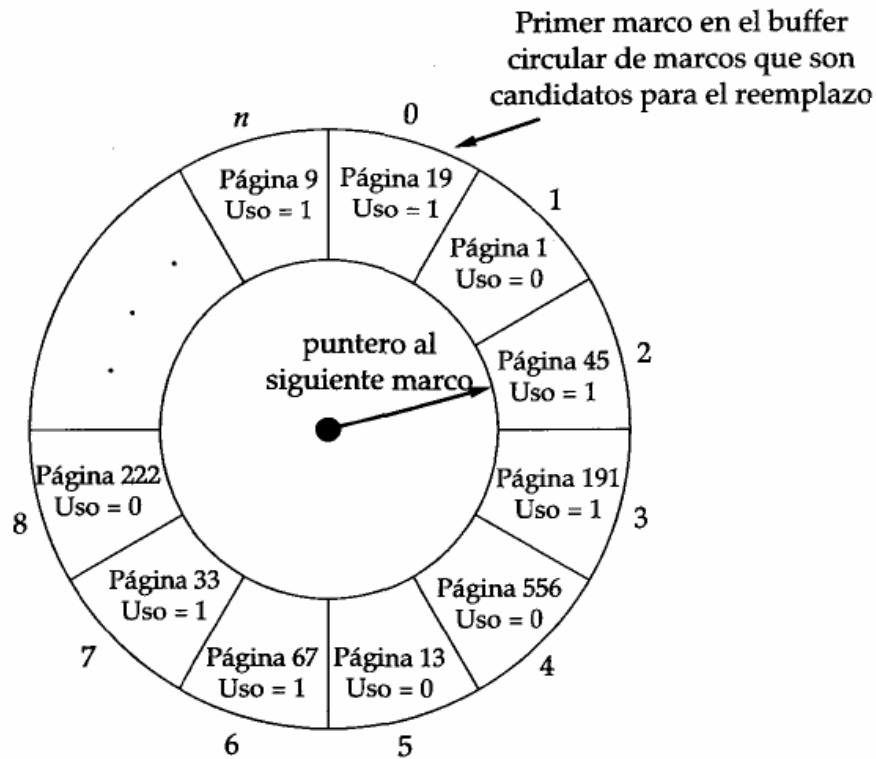
|                |               |                     |        |      |
|----------------|---------------|---------------------|--------|------|
| bit de validez | bit de acceso | bit de modificación | límite | base |
|----------------|---------------|---------------------|--------|------|

- Si se accede a un dirección cuyo segmento está fuera de memoria se produce una interrupción por **fallo de segmento**.
- La asignación se produce sobre zonas libres de tamaño suficiente:
  - ▣ si no hubiera espacio libre, se compacta
  - ▣ Si sigue sin haber, se utilizan técnicas similares a paginación (FIFO, LRU,...)

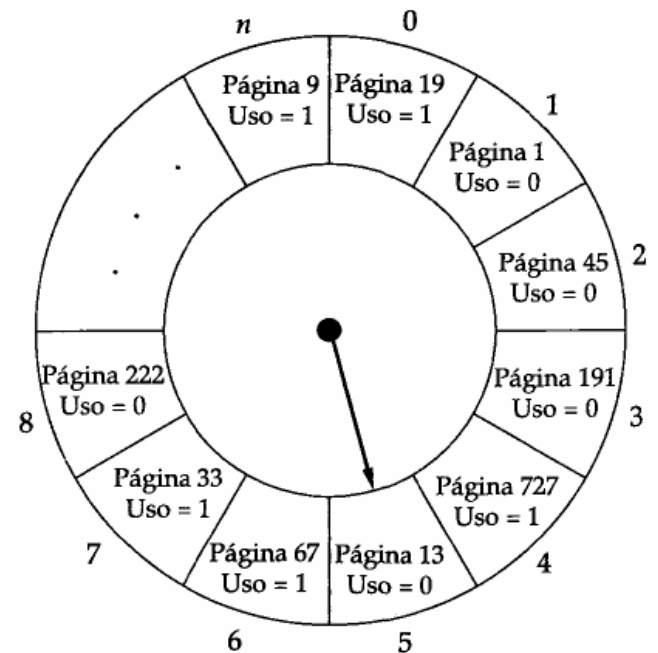
# Apéndice: Comparativa algoritmos sustitución página

|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------|---|---|---|--------------------------------------------------------------------------|----|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|----------------------------------------------------------------------------|----|----|---|-------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|-------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|
| Cadena de Referencias a Páginas | 2                                                                      | 3 | 2 | 1 | 5                                                                       | 2 | 4 | 5 | 3                                                                        | 2  | 5 | 2 |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| OPT                             | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td></td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 |   |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 | 3 |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr></table> | 2  | 3 | 1 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr></table><br>F | 2  | 3 | 1 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>      | 2 | 3 | 5 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>      | 2  | 3 | 5 | <table><tr><td>4</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table><br>F | 4  | 3 | 5 | <table><tr><td>4</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>   | 4  | 3  | 5 | <table><tr><td>4</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>      | 4 | 3 | 5 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table><br>F | 2  | 3 | 5 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>      | 2  | 3  | 5 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr></table>      | 2  | 3  | 5 |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| LRU                             | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td></td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 |   |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 | 3 |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table>  | 2  | 3 |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>      | 2  | 3 | 1 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>1</td></tr></table><br>F | 2 | 5 | 1 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>      | 2  | 5 | 1 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>4</td></tr></table><br>F | 2  | 5 | 4 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>4</td></tr></table>   | 2  | 5  | 4 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>4</td></tr></table><br>F | 3 | 5 | 4 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr></table><br>F | 3  | 5 | 2 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr></table>      | 3  | 5  | 2 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr></table>      | 3  | 5  | 2 |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| FIFO                            | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td></td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 |   |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 | 3 |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table>  | 2  | 3 |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>      | 2  | 3 | 1 | <table><tr><td>5</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr></table><br>F | 5 | 3 | 1 | <table><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>1</td></tr></table><br>F | 5  | 2 | 1 | <table><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>4</td></tr></table><br>F | 5  | 2 | 4 | <table><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>4</td></tr></table>   | 5  | 2  | 4 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>4</td></tr></table><br>F | 3 | 2 | 4 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>4</td></tr></table>      | 3  | 2 | 4 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>4</td></tr></table><br>F | 3  | 5  | 4 | <table><tr><td>3</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>2</td></tr></table><br>F | 3  | 5  | 2 |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| CLOCK                           | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td></td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 |   |   | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2 | 3 |   | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td></td></tr></table> | 2* | 3 |   | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>     | 2* | 3 | 1 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>      | 2 | 5 | 1 | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>1</td></tr></table>     | 2* | 5 | 1 | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>4</td></tr></table>     | 2* | 5 | 4 | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>5*</td></tr><tr><td>4</td></tr></table> | 2* | 5* | 4 | <table><tr><td>2</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>3</td></tr></table>      | 2 | 5 | 3 | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>5</td></tr><tr><td>3</td></tr></table>     | 2* | 5 | 3 | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>5*</td></tr><tr><td>3</td></tr></table>    | 2* | 5* | 3 | <table><tr><td>2*</td></tr><tr><td>5*</td></tr><tr><td>3</td></tr></table>    | 2* | 5* | 3 |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
|                                 |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 1                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 4                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 2*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 5*                              |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |
| 3                               |                                                                        |   |   |   |                                                                         |   |   |   |                                                                          |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                            |    |    |   |                                                                               |   |   |   |                                                                               |    |   |   |                                                                               |    |    |   |                                                                               |    |    |   |

# Apéndice: Ejemplo algoritmo 2ª oportunidad /reloj



(a) Estado del buffer justo antes del reemplazo de página



(b) Estado del buffer justo después del siguiente reemplazo de página



# SISTEMA DE FICHEROS

Capítulo 6

# Contenidos



- **Introducción**
- **Interfaz con el Sistema de Archivos**
  - ▣ Archivo
  - ▣ Modos de trabajo
  - ▣ Método de acceso
  - ▣ Directorios
- **Implementación del Sistema de Archivos**
  - ▣ Organización del sistema de archivos
  - ▣ Métodos de asignación
  - ▣ Gestión del espacio libre en disco
  - ▣ Implementación de directorios
  - ▣ Ejemplos de estructura de discos

# Conceptos básicos



- El computador para ejecutar programas necesita tenerlos en memoria principal (almacenamiento primario).
- Como la capacidad de memoria principal es reducida y además es volátil es necesario un Sistema de Almacenamiento Secundario (SAS) para contener los programas y datos que se vayan a utilizar.

# Conceptos básicos

- El SO es el software encargado de la gestión del SAS.  
Dispone de un módulo que realiza un segundo nivel de gestión de dispositivos periféricos:
  - ▣ Abstrae las propiedades físicas de los dispositivos de almacenamiento
  - ▣ Proporciona una interfaz a los usuarios de acceso a la información
  - ▣ Administra el espacio libre
  - ▣ Realiza la asignación del almacenamiento
- El sistema de archivos está formado por:
  - ▣ Colección de archivos. Cada uno de los cuales contiene datos relacionados.
  - ▣ Estructura de directorios. Organiza todos los archivos del sistema y proporciona información sobre ellos.
  - ▣ Particiones. Permite separar grandes colecciones de directorios.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros *fichero*

## Concepto

- Podemos definir un archivo o fichero como:
- Una abstracción para la manipulación de memoria secundaria ofrecida por el sistema operativo.
- Una colección de información relacionada que reside en el almacenamiento secundario a la cual se le asigna un nombre.
- Una secuencia de bits, bytes, líneas o registros con un significado definido por el creador y el usuario.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros *fichero*

## Estructura

- En un archivo se distingue su estructura lógica y su estructura física
- Estructura lógica:
  - ▣ Secuencia de bytes. Por ejemplo, un archivo de texto es una secuencia de caracteres organizados en líneas.
  - ▣ Secuencia de registros. Un registro puede ser una línea de texto, información de tamaño fijo o información de tamaño variable.
  - ▣ Estructura compleja. Por ejemplo, los archivos objeto, los archivos ejecutables, los archivos de formato gráfico.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros *fichero*



## Estructura

- Estructura física:
  - ▣ Secuencia de bloques. Los archivos se pueden considerar como una secuencia de bloques (sectores).
  - ▣ Se debe realizar una conversión de bloques lógicos a bloques físicos.
  - ▣ Se produce fragmentación interna.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros *fichero*

## Atributos

- Nombre del archivo: En algunos sistemas operativos pueden existir más de uno, distinguen entre mayúsculas y minúsculas.
- Tipo de archivo: Información necesaria en sistemas que soportan más de un tipo.
- Ubicación: Información sobre el dispositivo y bloques de memoria secundaria que le dan soporte físico al archivo.
- Tamaño: El número de bytes de la información que contiene el archivo.
- Propietario: Identificador del creador del archivo.
- Protección: Información sobre que usuarios pueden acceder al archivo y con que permisos (lectura, escritura, ejecución, etc.).
- Fechas de creación, último acceso, última modificación
- Información: Es el contenido del archivo.



# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *fichero*

### Operaciones

- ❑ Crear archivo: El archivo se crea sin datos. Hay que encontrar espacio en el disco y anotar su existencia. Ejemplo UNIX: `fd=creat (filename, mode)`
- ❑ Leer archivo: Ejemplo UNIX: `read (fd, buffer, nbytes)`
- ❑ Escribir en archivo: Ejemplo UNIX: `write (fd, buffer, nbytes)`
- ❑ Borrar archivo: Ejemplo UNIX: `unlink (filename)`
- ❑ Rebobinado de archivo: Ejemplo UNIX: `lseek (fd, offset, where)`
- ❑ Truncar archivo: Ejemplo UNIX: `fd=creat (filename, mode)`
- ❑ Obtener atributos: Ejemplo UNIX: `fd=fstat (filename, starbuf)`

# Interfaz con el Sistema de Ficheros *fichero*

## Operaciones

- Utilizando y combinando las llamadas al sistema básicas, se pueden realizar otras operaciones más complejas:
- *Copiar un archivo (cp)*
- *Concatenar archivos (cat)*
- *Renombrar archivos (mv)*

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *tipos de fichero*

- Un SO se puede diseñar para que reconozca y manipule diferentes tipos de archivos:
  - ▣ Si reconociera muchos tipos el SO sería más complejo ya que tendría que tener los conversores de tales tipos. Esto le da facilidades al usuario o programador.
  - ▣ Si reconociera pocos tipos el SO sería más sencillo y el usuario o programador tendrían que tener los conversores para poder acceder a esos archivos.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *tipos de fichero*

- Una técnica común para implementar los tipos de archivos es incluir el tipo como parte del nombre. Por ejemplo, MSDOS divide el nombre del archivo en nombre y extensión, siendo la extensión la que indica el tipo de archivo (“com”, “exe”, “bat”).
- Otra técnica es indicar en un campo el tipo de archivo. Por ejemplo, UNIX emplea un número mágico para indicar el tipo de archivo.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *tipos de fichero*

- Para cada SO se puede establecer una clasificación de los archivos desde el punto de vista funcional. Por ejemplo, para UNIX se distinguen los siguientes archivos:
  - ▣ Archivos ordinarios o regulares. Son archivos que contienen información introducida por un usuario, programa de aplicación o programa de utilidad del sistema.
  - ▣ Archivos directorios. Contienen una lista de nombres de archivo y punteros a nodos-i asociados. Son archivos ordinarios especiales ya que tienen unos privilegios especiales de protección de forma que solo el sistema de archivos puede escribir en ellos.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *tipos de fichero*

- Archivos especiales. Usados para acceder a los dispositivos. Se pueden distinguir dos tipos:
  - Caracteres. Permiten modelar dispositivos orientados a caracteres (impresoras, redes, terminales, etc.).
  - Bloques. Permiten modelar dispositivos orientados a bloques (discos, cd-rom, etc.)
- Pseudoarchivos. Son archivos que modelan los mecanismos de UNIX para la comunicación entre procesos (tubos, tubos con nombre, sockets).

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *modos de trabajo*

### Sesiones

- Para utilizar un archivo hay que definir una sesión con las llamadas al sistema `open` (abrir) y `close` (cerrar).
- **Abrir: `fd = open(filename, mode)` (UNIX)**
- Buscar el archivo en la estructura de directorios y llevar sus atributos a una entrada de una tabla de archivos abiertos en memoria. También registra algunos atributos adicionales como:
  - ▣ Puntero de posición actual.
  - ▣ Contador de aperturas de archivos abiertos.
  - ▣ Ubicación del archivo en disco. La información necesaria para localizar el archivo en el disco se mantiene en la memoria principal.
- El contenido del archivo es llevado parcialmente a buffers en memoria.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *modos de trabajo*

### Sesiones

- **Cerrar: `close(fd)` (UNIX)**
- Liberar la entrada correspondiente en la tabla de archivos abiertos. Refrescar todos los buffers de memoria sobre el disco.
- Para acceder a su contenido hay que utilizarlas llamadas `read` y `write`.



# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *modos de trabajo*

### **Mapeado en memoria**

- Para trabajar en el archivo hay que llevarlo a un espacio de direcciones de memoria virtual.
- El archivo es mapeado en el espacio de direcciones de uno o más procesos.
- Para leer y escribir en disco no hace falta operaciones como read o write, sino operaciones “normales” de lectura y escritura en memoria (=, :=).
- El sistema de memoria virtual se encarga de refrescar la imagen del disco con la imagen de memoria.
- Se utiliza con paginación o segmentación de memoria.
- Problemas
  - ▣ Un proceso puede intentar leer del disco el archivo cuando éste ha sido modificado por otro en memoria.
  - ▣ Un archivo puede ser mayor que el espacio de direcciones virtuales
  - ▣ No se conoce la longitud exacta del archivo

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *métodos de acceso*

- Técnica o modalidad empleada para acceder al contenido (información, datos) de un archivo. Un SO puede trabajar con un tipo o con varios.
  - ▣ Acceso secuencial
  - ▣ Acceso directo
  - ▣ Acceso indexado

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *métodos de acceso*

### Acceso secuencial

Se procesa la información de un archivo en el mismo orden en que esta figura en él, esto es, un registro tras otro. Los registros tienen un tamaño fijo.

- Existe un puntero de posición que avanza automáticamente al hacer una operación de lectura/escritura.
- Las operaciones de lectura/escritura no tienen como parámetro el número de registro y están ligadas siempre a la posición actual del puntero de posición.

**Leer siguiente: `read(fd, buffer, nbytes)`**

**Escribir siguiente: `write(fd, buffer, nbytes)`**

- Puede existir una operación de rebobinado que sitúe el puntero de posición al inicio del archivo.
- Es la forma de acceder a la información empleada por programas como editores, compiladores, etc.
- Este tipo de acceso funciona tanto en dispositivos de acceso secuencial como en dispositivos de acceso directo..

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *métodos de acceso*

### Acceso directo

- El archivo se contempla como una serie numerada de bloques o registros.
- No existen restricciones en cuanto al orden de lectura/escritura en los registros.
- Es necesario especificar, como un parámetro, el número de registro *n* sobre el que se requiere realizar la operación.

**read nreg: read(fd, buffer, nbytes, nreg)**

**write nreg: write(fd, buffer, nbytes, nreg)**

- Los archivos de acceso directo son muy útiles para realizar accesos, de forma selectiva, en grandes cantidades de información (bases de datos).
- Se emplea con dispositivos de acceso directo.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *métodos de acceso*

### **Acceso indexado**

- Se accede a sus registros través de una clave.
- El conjunto de claves y los punteros hacia los registros que contienen dicha clave es lo que se conoce como índice del archivo y suele estar cargado en memoria.
- Problemas
  - ▣ Con archivos de gran tamaño el archivo índice puede ser demasiado grande para conservarse en memoria principal.
  - ▣ Búsqueda de la clave en el archivo índice excesivamente larga.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Concepto

- Debido a que los sistemas de archivo almacenan gran cantidad de información es necesario organizarlos. Esta organización se realiza en dos partes: particiones y directorios.
- Los discos físicos se estructuran en zonas de tamaño y ubicación fijos denominadas particiones/minidiscos/volúmenes.
- Las particiones se estructuran en directorios. Los directorios se pueden implementar como:
  - ▣ Una estructura de datos al principio de cada partición.
  - ▣ Una estructura de datos dentro de un archivo.
- Los directorios pueden verse como una tabla de entradas que asocia nombres simbólicos a archivos y almacenan información relacionada con los archivos (ubicación, atributos, etc.).

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Concepto

La organización de un directorio debe proporcionar:

- Esquema de nombrado de archivos: Un modo de denominar a los archivos que sea conveniente para los usuarios. Algunas características deseables son:
  - ▣ El nombre no debe hacer referencia a la unidad física (A:, B). Los nombres no deben depender de la unidad física.
  - ▣ El nombre no debe ser demasiado largo.
  - ▣ Dos usuarios pueden tener el mismo nombre para archivos diferentes. Los usuarios no deben colisionar en el nombre de un archivo.
  - ▣ Un archivo puede tener varios nombres.
- Esquema de agrupamiento de archivos: Un modo de agrupación lógica de archivos por propiedades como son:
  - ▣ Pertenecer a la misma aplicación.
  - ▣ Ser del mismo tipo de archivo (p.e. formato gráfico).
- Eficiencia: Poder localizar un archivo con rapidez.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

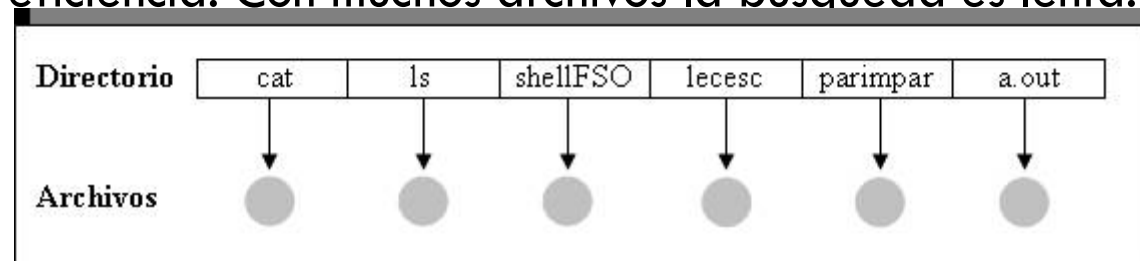
## *directorios*

### Estructura

- La estructura de un directorio indica cómo están organizados los archivos en el sistema de almacenamiento de archivos

### Directorio de un solo nivel

- Todos los archivos están contenidos en un único directorio. Todos los usuarios comparten el mismo directorio.
- Ventaja: Fácil de manejar y mantener.
- Desventajas:
  - ▣ Nombres únicos. Dos usuarios no pueden darle el mismo nombre a un archivo.
  - ▣ Baja eficiencia. Con muchos archivos la búsqueda es lenta.



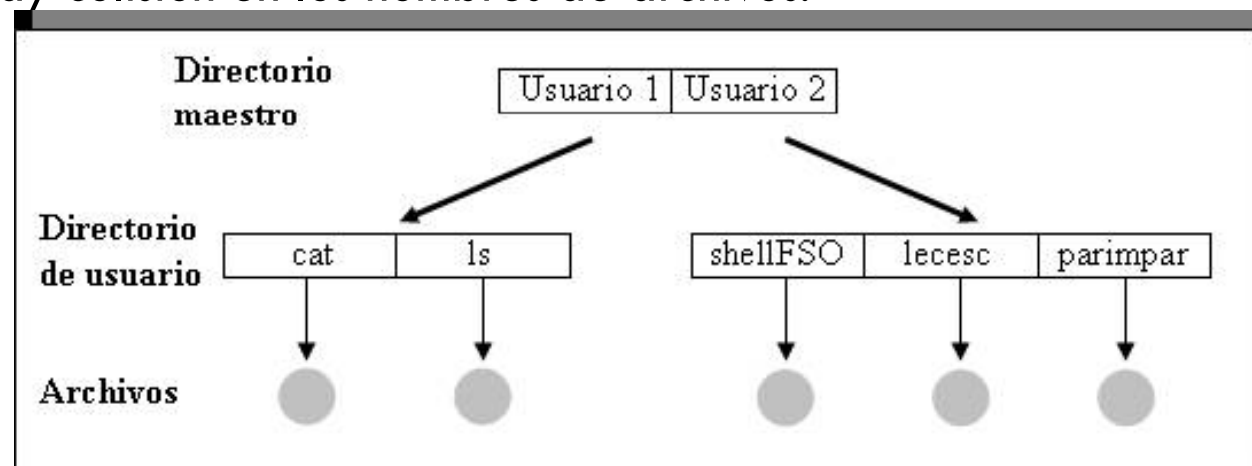


# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Directorio de dos niveles

- Un directorio para cada usuario. Normalmente un usuario sólo ve su directorio. Ej: CP/M.
- Rutas de búsqueda por defecto para manejar los archivos del sistema.
- Desventaja: No se pueden compartir archivos.
- Ventajas:
  - ▣ Mejora la eficiencia: sólo busca en el directorio de usuario.
  - ▣ No hay colisión en los nombres de archivos.

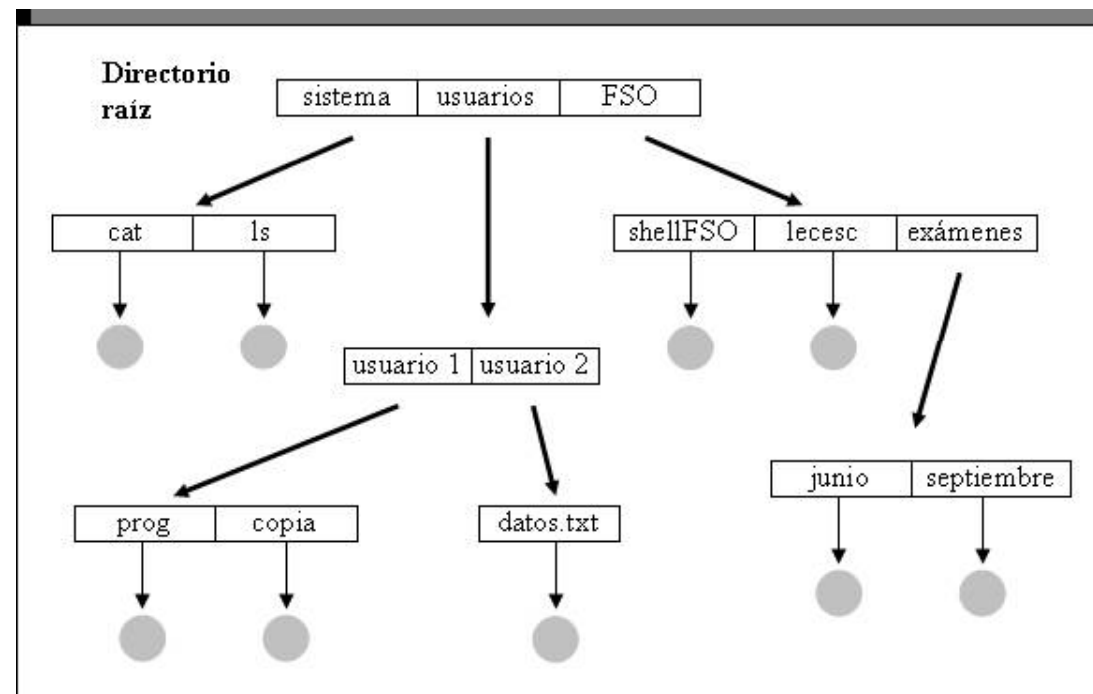


# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Directorio con estructura de árbol

- Un directorio contiene un conjunto de archivos y/o directorios. Un directorio es un tipo especial de archivo. Ej: MS-DOS
- Hay un directorio raíz para cada partición y subdirectorios para cada usuario, aplicación, sistema operativo, etc.



# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Directorio con estructura de árbol

#### Nombre de ruta

- ▣ Nombres de rutas absolutos. Nombran un archivo partiendo del directorio raíz.
- ▣ Nombres de rutas relativos. Nombran al archivo a partir del directorio actual.

#### ▣ Ventajas

- ▣ Facilidad para agrupar archivos. Usuarios puede definir sus directorios y subdirectorios.
- ▣ Usuarios diferentes pueden tener archivos con el mismo nombre. Ruta única para cada archivo.
- ▣ Facilidad para acceder a los archivos de otros usuarios. Se puede acceder a los archivos:
  - Especificando el nombre de ruta del archivo.
  - Utilizando la operación cambiar de directorio.
  - Definiendo una ruta de búsqueda con varias opciones.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Directorio con estructura de árbol

- Desventaja: Nombres de archivos pueden ser largos.
- Posibles soluciones:
  - ▣ Utilizar rutas de búsqueda por defecto.
  - ▣ Utilizar nombres de rutas relativos.
  - ▣ Mantener un archivo que contenga los nombres y la localización de todos los programas a los que se ha accedido recientemente que han aparecido.
  - ▣ Eliminar la partición del nombre de ruta. En UNIX el nombre de ruta no especifica la partición.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros

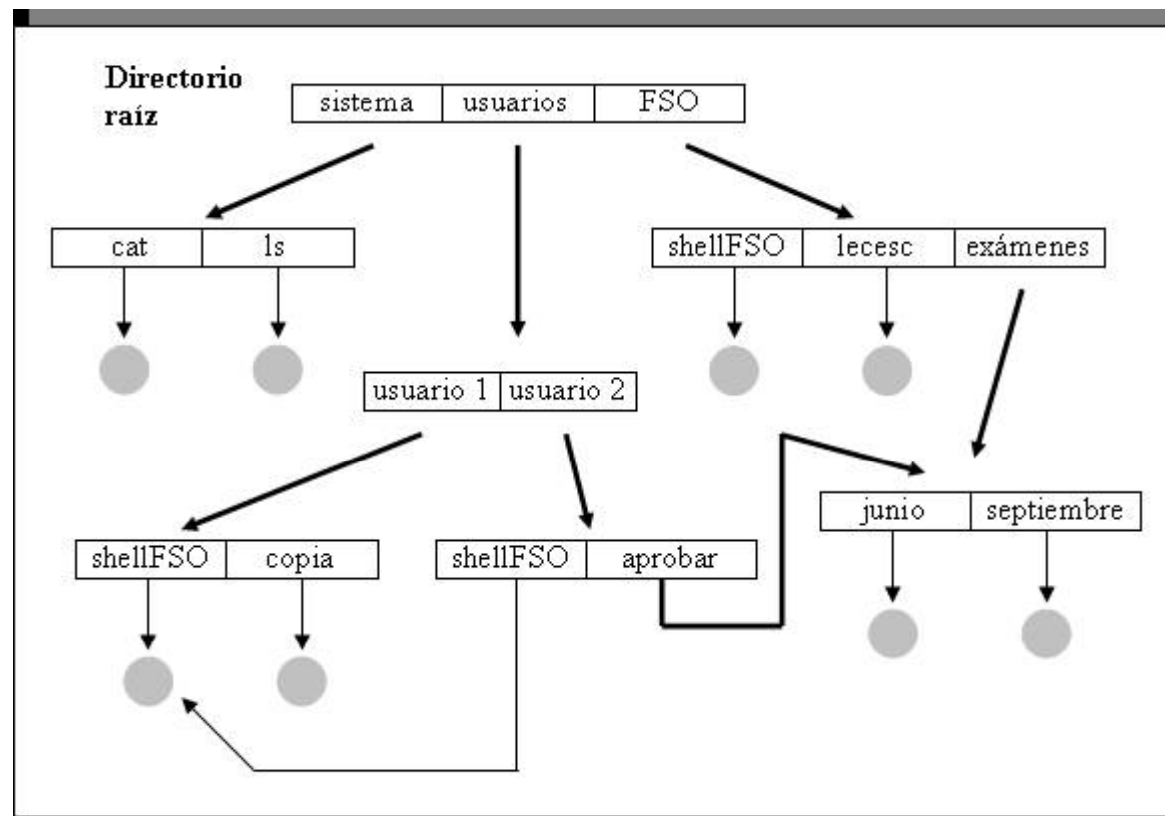
## *directorios*

### **Directorio de grafo acíclico**

- Permite archivos y directorios con varios nombres. Ej: UNIX.
- Aplicación: Compartir archivos entre usuarios.
- Posibles implementaciones
  - ▣ Duplicar todos los archivos de los directorios que los comparten.
  - ▣ Enlaces: Puntero o referencia a un archivo o directorio.
    - Enlaces físicos
      - El archivo sólo se elimina del disco cuando se borran todos los enlaces (todas las entradas de directorio que lo referencian).
      - Sólo se permite (salvo al administrador) enlazar archivos con archivos (no directorios).
    - Enlaces simbólicos
      - El archivo se elimina cuando se borra el enlace físico. Si permanece el enlace simbólico provoca errores al tratar de accederlo.
      - Se puede hacer con archivos y directorios, existe la posibilidad de ciclos.

# Interfaz con el Sistema de Ficheros *directorios*

## Directorio de grafo acíclico



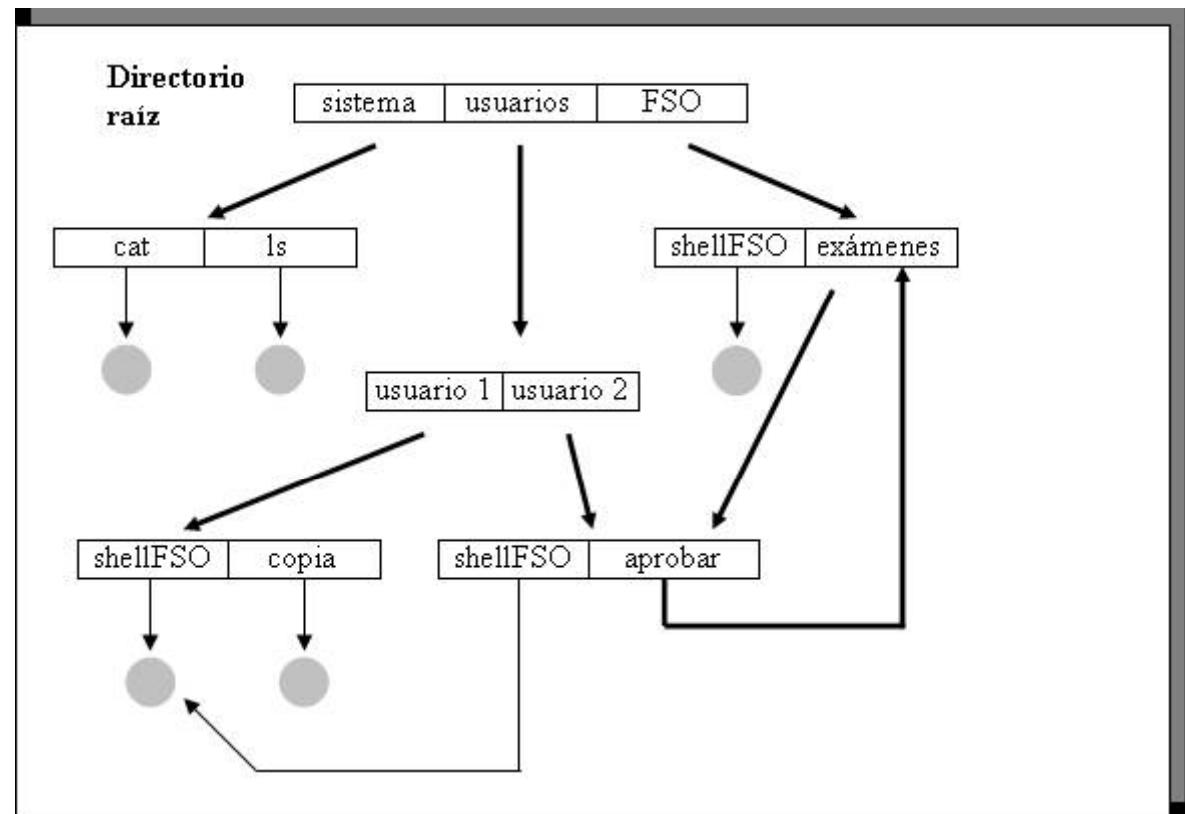
# Interfaz con el Sistema de Ficheros *directorios*

## Directorio de grafo general

- Es un grafo con posibilidad de ciclos.
- Aparecen cuando los directorios pueden tener varios enlaces.

- Problemas

- Evitar bucles infinitos en algoritmos de búsqueda de archivos.
- Borrado de archivos.



# Interfaz con el Sistema de Ficheros

## *directorios*

### Operaciones

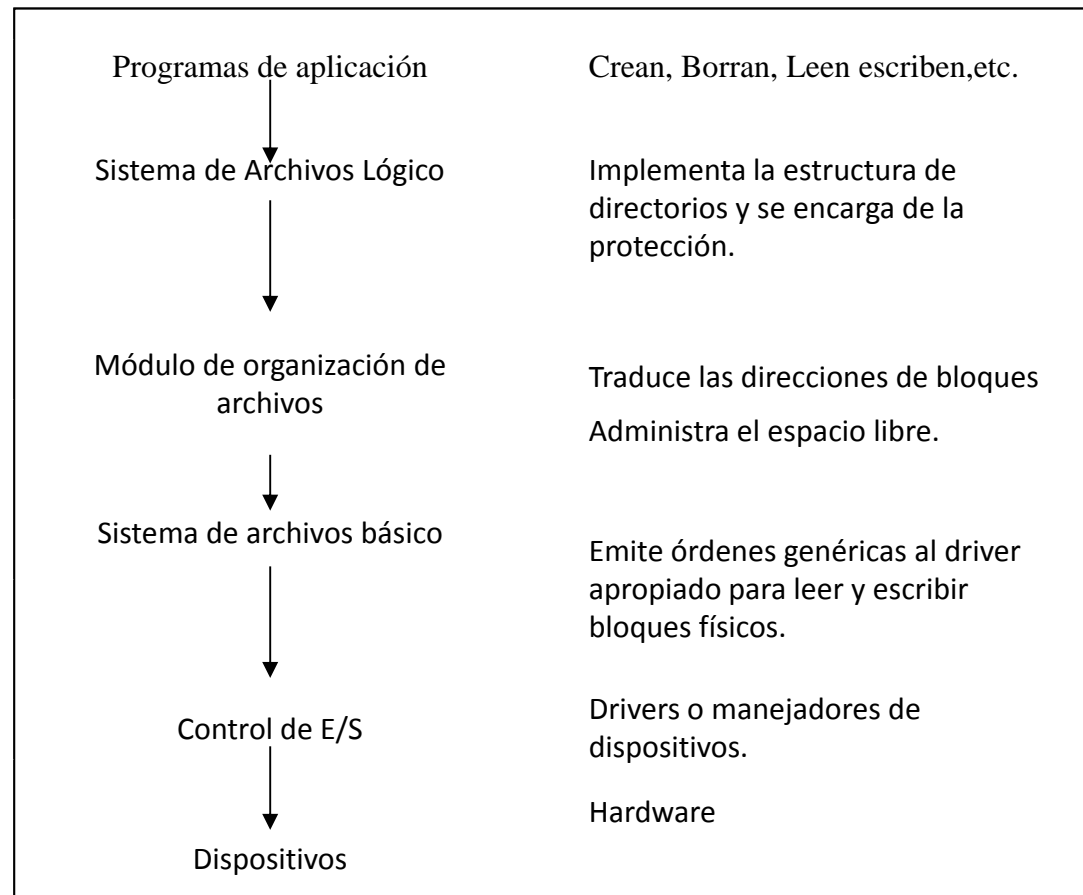
- Un directorio no es más que un tipo abstracto de datos que representa a un conjunto de archivos sobre el que se ha de poder realizar diferentes operaciones:
  - ▣ Insertar entradas/Crear un archivo. Al crear un archivo, debe añadirse una entrada al directorio.
  - ▣ Borrar entradas/Borrar un archivo. Al borrar un archivo, debe eliminarse una entrada del directorio.
  - ▣ Buscar una entrada/Buscar un archivo. Cuando un usuario o aplicación referencia a un archivo, debe buscarse en el directorio la entrada correspondiente al archivo.
  - ▣ Listar todas las entradas de un directorio. Puede solicitarse todo el directorio o una parte.



# Implementación del sistema de ficheros

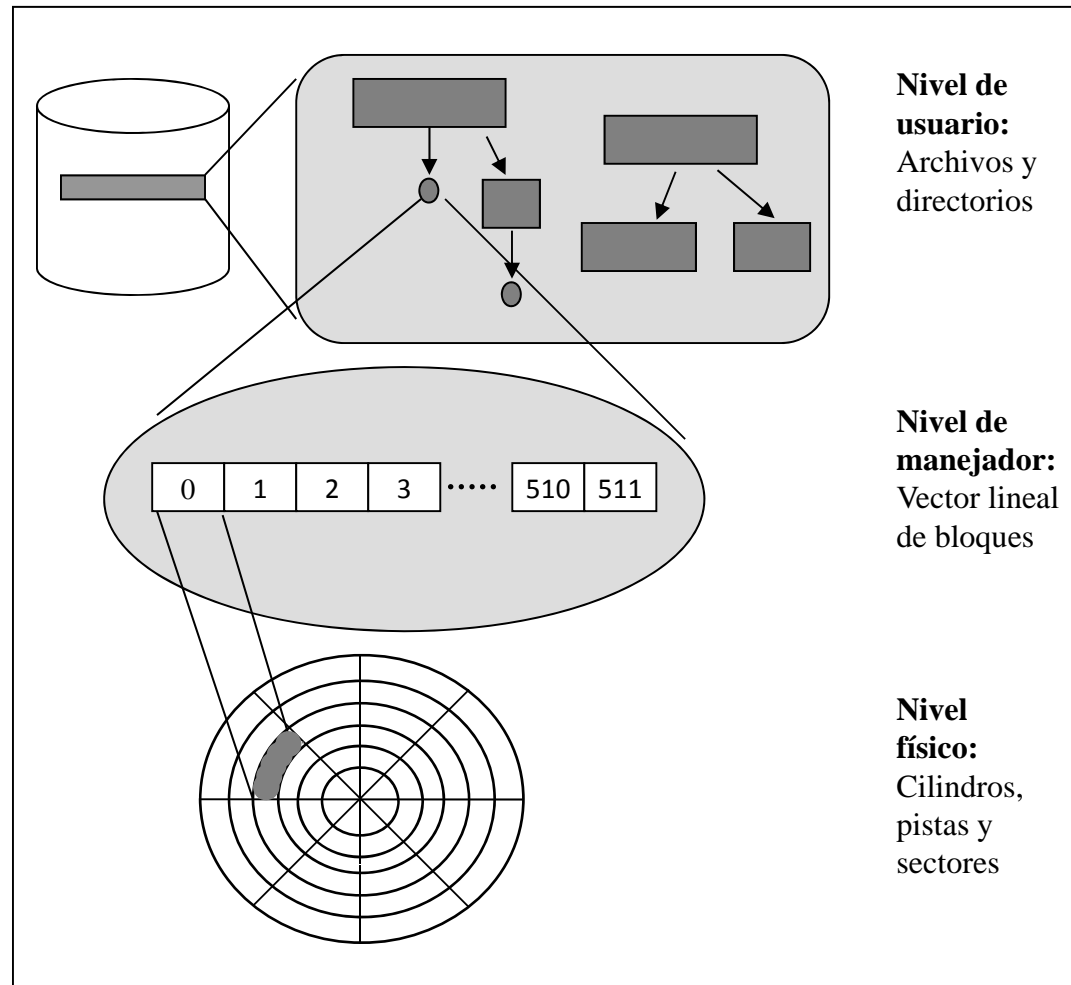
## organización

- El sistema de archivos se compone de varios niveles en el que cada nivel aprovecha las funciones de los niveles inferiores para crear nuevas funciones que se emplearán en los niveles superiores.



# Implementación del sistema de ficheros

## *organización*



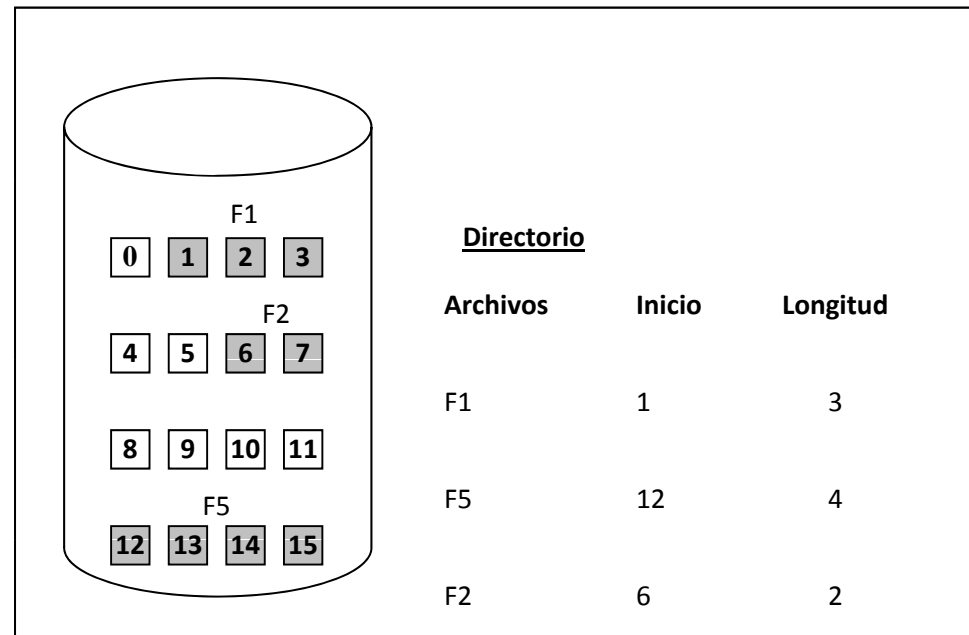
# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

Desde el punto de vista de la implementación un archivo es una colección de bloques. Existen varias técnicas que permiten implementar esa colección de bloques de modo que el espacio se aproveche de forma eficaz y se pueda acceder rápidamente a ellos.

### Asignación contigua

- Cada archivo ocupa un conjunto de bloques consecutivos en el disco.
- Un archivo queda definido por el primer bloque y su tamaño en bloques



# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### **Asignación contigua**

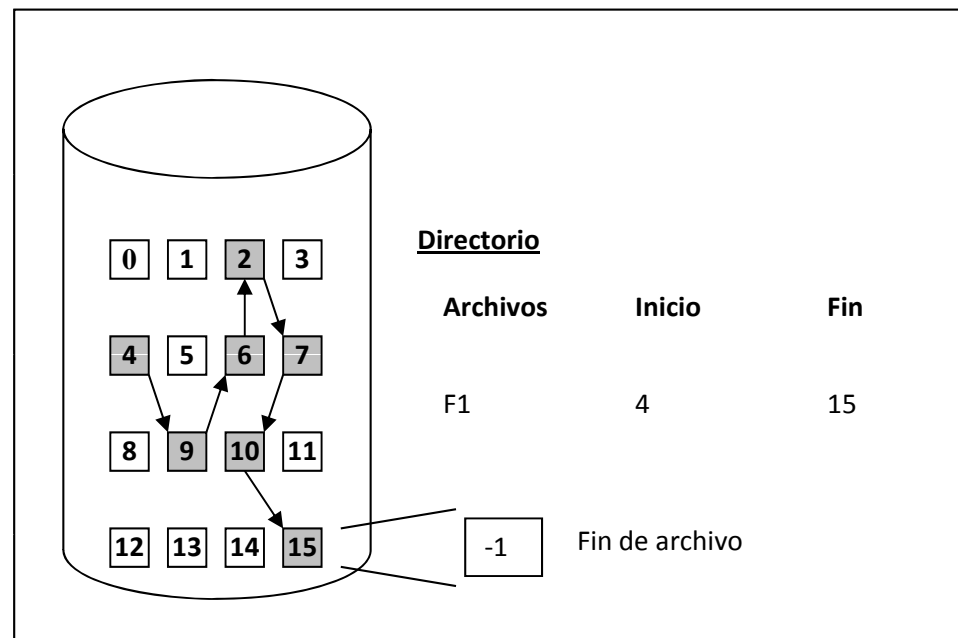
- Ventaja: Rapidez de acceso ya que para acceder a bloques consecutivos no hace falta mover el cabezal del disco.
- Métodos de gestión: Algoritmos: primer, mejor y siguiente hueco.
- Desventajas:
  - ▣ El crecimiento de los archivos está limitado.
  - ▣ Posible solución: Reservar un número de bloques superior al requerido inicialmente (Producirá fragmentación interna y un escaso aprovechamiento del disco)
  - ▣ Fragmentación externa
  - ▣ Posible solución: Compactación.

# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### Asignación enlazada

- Cada archivo es una lista enlazada de bloques.
- La entrada de directorio da el número del primer bloque.
- Cada bloque tiene un puntero al siguiente y una zona de datos.



# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### **Asignación enlazada**

#### □ Ventajas

- ▣ No limita el crecimiento de los archivos.
- ▣ Es fácil el aumento y reducción del tamaño de los archivos
- ▣ No existe fragmentación externa por lo que no existe necesidad de compactación.

#### □ Desventajas

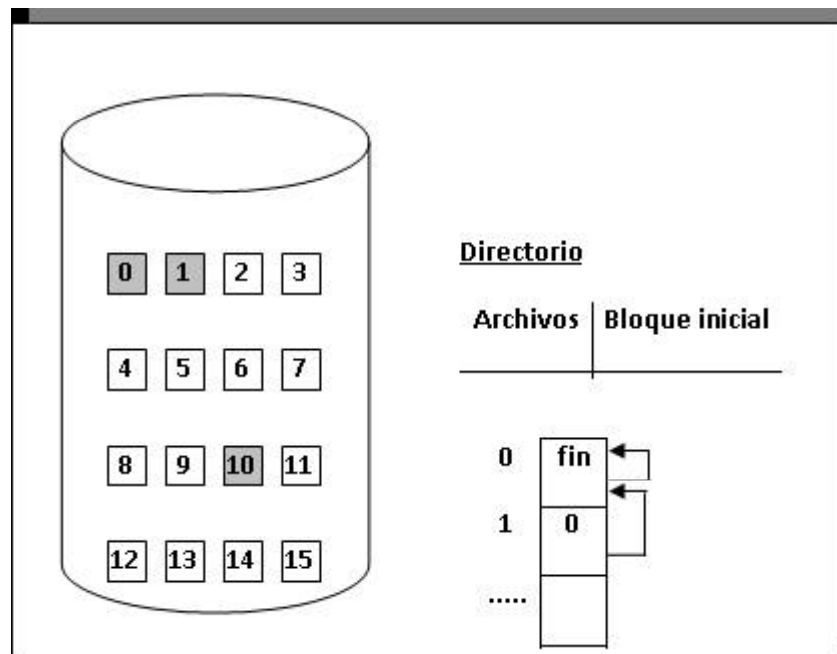
- ▣ Puede ser utilizado de manera efectiva para acceso secuencial pero el acceso aleatorio es costoso de implementar.
- ▣ Elevado número de desplazamientos del cabezal del disco.
- ▣ Baja fiabilidad: Debido a punteros mal calculados.

# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### FAT de MS-DOS (File Allocation Table)

- Es una variante de la asignación enlazada en la que los punteros no se encuentran en el bloque, sino en una estructura de datos separada (FAT) localizada en los primeros bloques del disco.



# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### **FAT de MS-DOS (File Allocation Table)**

#### □ Ventajas

- ▣ Los bloques solo contienen datos
- ▣ Si la FAT se coloca en una cache en memoria mejora significativamente el acceso aleatorio o directo. No obstante, para discos grandes no cabe toda la FAT en la cache

#### □ Desventajas

- ▣ Ocupa memoria principal o memoria caché.
- ▣ Diseño poco elegante: en una misma estructura de datos se mezcla información de diferentes archivos.
- ▣ Baja fiabilidad: la pérdida de un bloque de la FAT puede ocasionar la perdida del disco entero

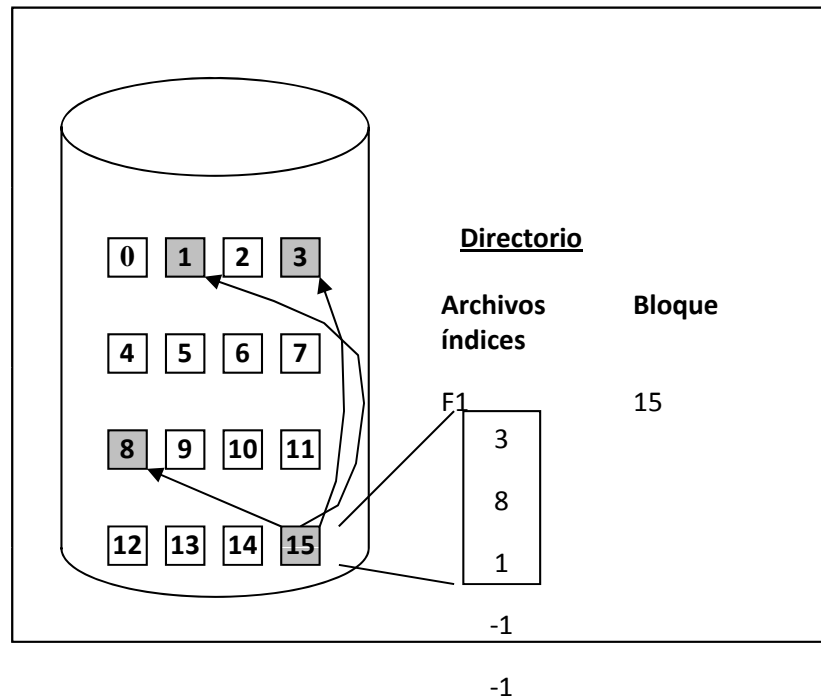


# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### Asignación indexada

- Cada archivo tiene un bloque de índice donde hay ubicado un vector con todos los punteros a los bloques del archivo.
- La  $i$ -ésima entrada del vector contiene el puntero al  $i$ -ésimo bloque.



# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### Asignación indexada

#### □ Ventajas

- ▣ El acceso aleatorio se implementa eficientemente.
- ▣ Diseño elegante: cada archivo tiene su estructura de datos separada.
- ▣ No hay fragmentación externa.

#### □ Desventajas

- ▣ Con pocos bloques, el bloque de índice supone un desperdicio importante de espacio.
- ▣ El tamaño máximo del archivo está limitada por el número de punteros que cabe en un bloque.
- ▣ Fragmentación interna en los bloques índice.

# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### **Variantes de la asignación indexada**

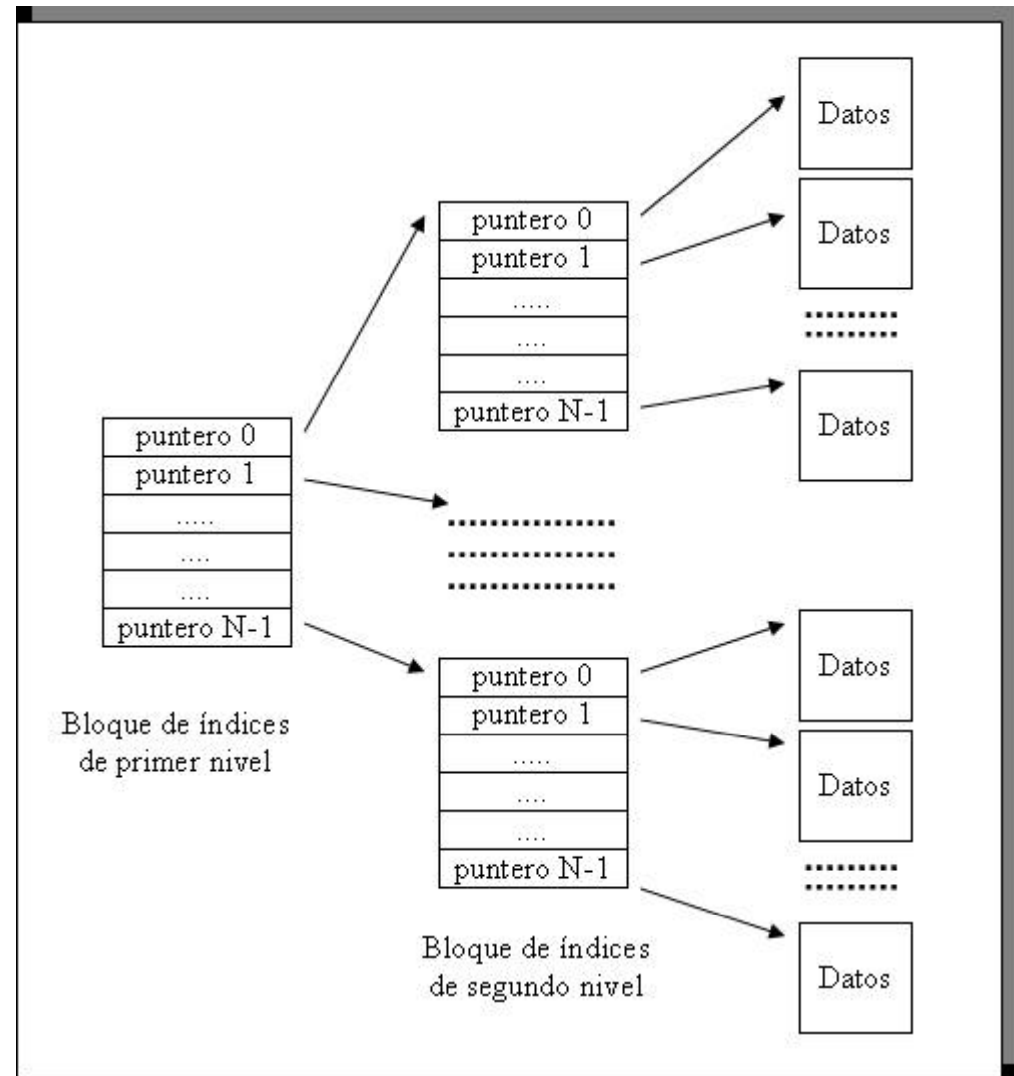
- Para poder implementar archivos grandes se necesita más de un bloque de índices.
- Los posibles esquemas son:
  - ▣ Bloques de índice enlazados. La última posición del bloque índice puede ser un NULL o bien un puntero a otro bloque de índices si el archivo fuera grande.

# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### Variantes de la asignación indexada

- Indexación multinivel.  
Se emplea un bloque índice de primer nivel que apunte a un conjunto de bloques índice de segundo nivel, que a su vez apuntan a bloques de datos.

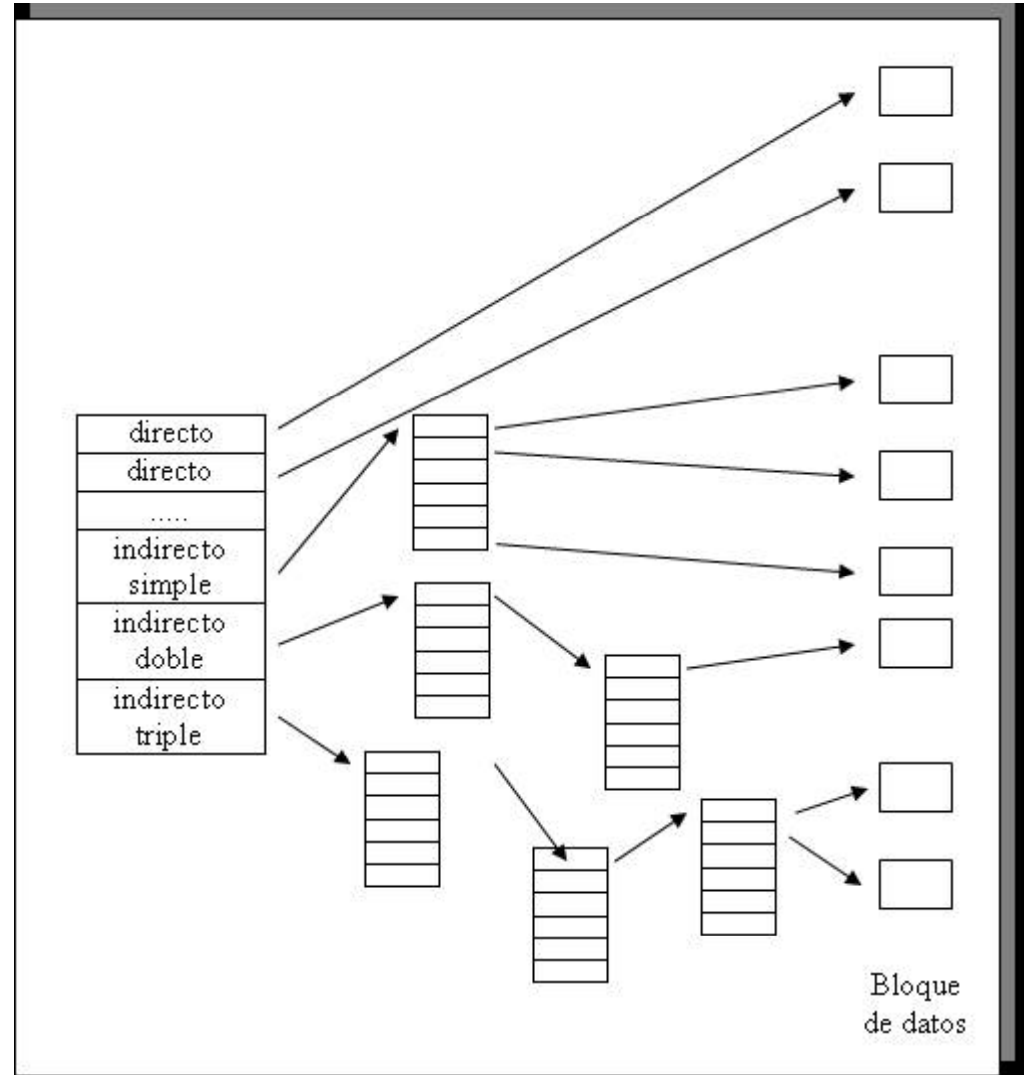


# Implementación del sistema de ficheros

## *métodos de asignación*

### Variantes de la asignación indexada

- Esquema combinado. El bloque índice contiene punteros a bloques de datos, punteros a índices de primer nivel, punteros a índices de segundo nivel y punteros a índices de tercer nivel (Ej: UNIX).



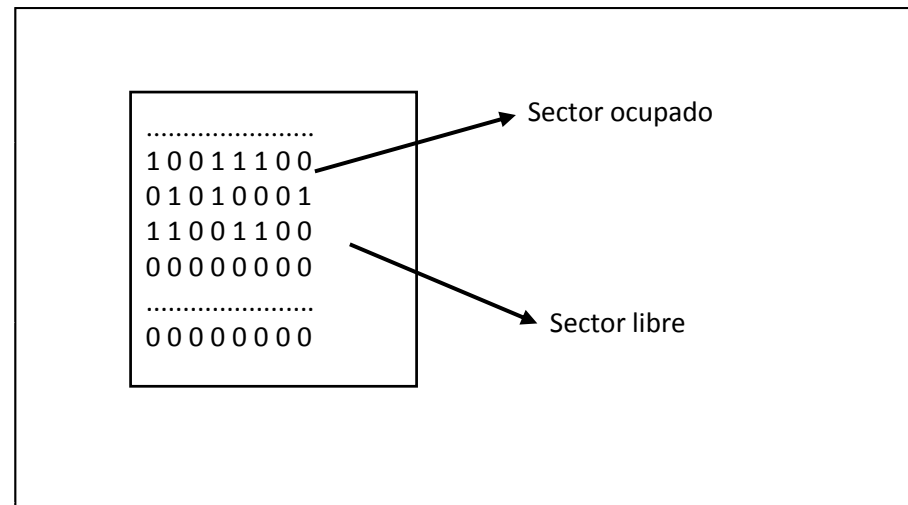
# Implementación del sistema de ficheros

## *gestión de espacio libre*

- Para llevar a cabo cualquiera de las técnicas de asignación anteriores, es necesario saber qué bloques del disco están disponibles. Para ello hay que mantener una estructura de datos con todos los bloques no asignados a archivos.

### Mapa de bits

- Es un vector de bits en el que cada bit indica el estado de un bloque en disco:
- $\text{bit}[i]=0$  bloque[i] libre y  $\text{bit}[i]=1$  bloque[i] ocupado
- Facilidad de asignación contigua.
- Tamaño reducido (facilidad de tenerlo completo en memoria).



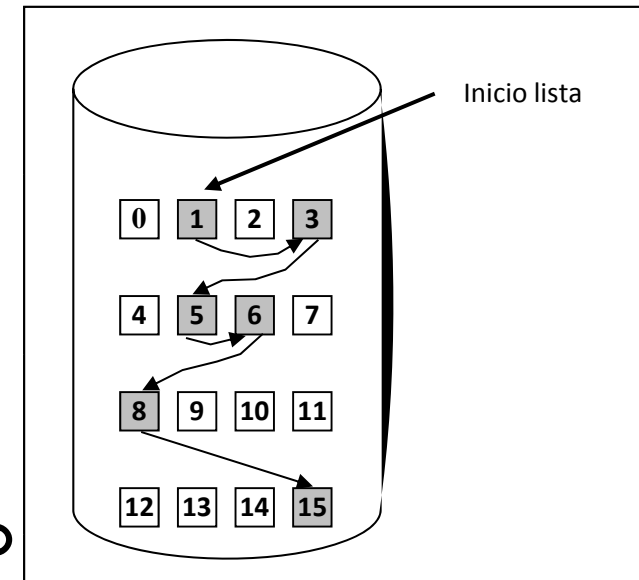
# Implementación del sistema de ficheros

## *gestión de espacio libre*

### Lista enlazada

Lista de bloques que contienen punteros a los bloques libres.

- Dificultad en la asignación contigua.
- Tamaño variable (máximo cuando el disco está vacío). Se mantiene en memoria únicamente el primer bloque de la lista enlazada.



# Implementación del sistema de ficheros

## *implementación de directorios*

- Un directorio es una estructura de datos que consiste en una colección de entradas de directorio.
- Cada entrada de directorio es un registro en el que consta:
  - ▣ El nombre del archivo.
  - ▣ Los atributos del archivo (o una referencia).
  - ▣ Una referencia a los bloques de datos del archivo



# Implementación del sistema de ficheros

## *implementación de directorios*

- Existen dos posibles estructuras:
- **Lista lineal** de nombres de archivo con punteros a bloques de datos. Para crear un archivo nuevo, primero hay que examinar el directorio para comprobar que ningún archivo existente tenga el mismo nombre. Luego se añade una nueva entrada al final de la lista. Para eliminar un archivo, lo buscamos en el directorio y liberamos el espacio que tiene asignado.
  - ▣ Ventaja: Fácil de programar
  - ▣ Desventaja: Lenta para buscar una entrada.
- **Tabla de dispersión** (hash): Lista lineal + tabla de códigos.
  - ▣ La función hash le asigna un código a cada nombre de archivo.
  - ▣ La tabla de códigos es un vector, indexado para códigos, que proporciona un puntero a la entrada de directorio de cada código.
  - ▣ Mejora el tiempo de búsqueda.

# Implementación del sistema de ficheros

## *implementación de directorios*

### Directorios en MSDOS

- Directorios con estructura de árbol.
- Cada entrada de directorio ocupa 32 bytes

| Nombre | Ext. | Attr. | Reservado | Tiempo | Fecha | Bloque 1 | Tam. |
|--------|------|-------|-----------|--------|-------|----------|------|
| 8      | 3    | 1     | 10        | 2      | 2     | 2        | 4    |

- La entrada de directorio contiene todos los atributos del archivo: nombre, extensión, atributos (Attr: del sistema, oculto, etc.), tiempo de última modificación (Tiempo), fecha de creación (Fecha).
- La entrada de directorio sólo proporciona el puntero al primer bloque de datos. La FAT proporciona el resto de punteros.
- Proporciona el tamaño del archivo (Tamaño).
- Los directorios son archivos con un número arbitrario de entradas excepto el directorio raíz que está en la cabecera del disco y tiene un tamaño máximo prefijado.

# Implementación del sistema de ficheros

## *implementación de directorios*

### Directorios en UNIX

- Directorios con estructura de grafo acíclico.
- La entrada es extremadamente sencilla: no contiene todos los atributos del archivo ni ningún puntero a bloques de datos: sólo una referencia al nodo-i (Num. nodo-i ).
- El nombre del archivo incluye la extensión (total 14 bytes por defecto, pero con posibilidad de especificar nombres más largos en la configuración del sistema).
- Los directorios son archivos.

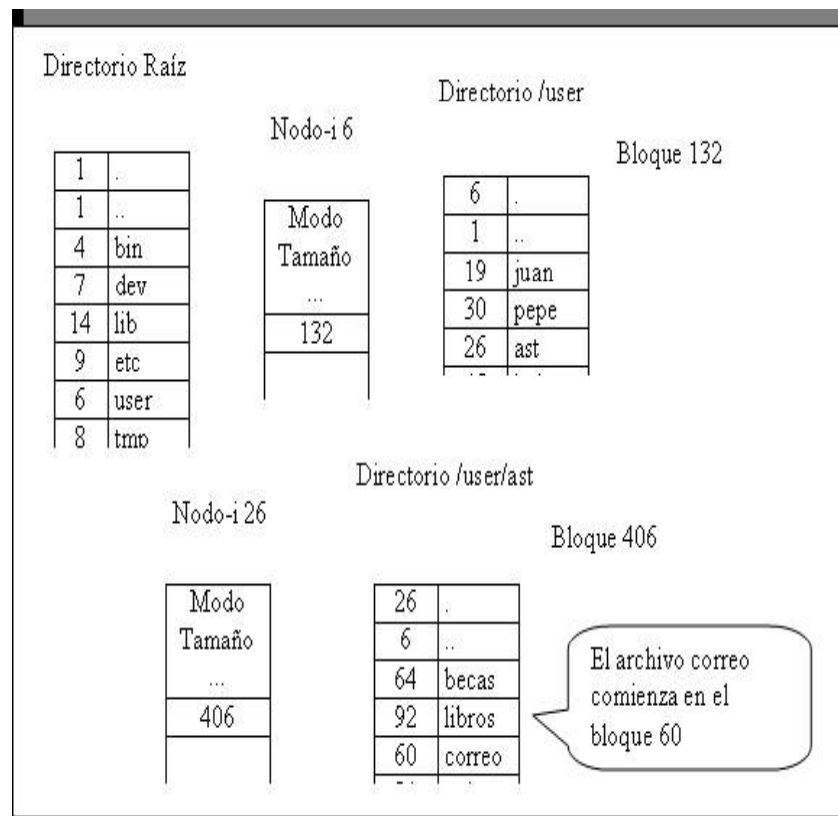
| Núm. nodo-i | Nombre de archivo |
|-------------|-------------------|
| 2           | 14                |

- Existen dos entradas que todos los directorios tienen:
  - "." indica el número del nodo-i del directorio actual.
  - ".." indica el número del nodo-i del directorio padre.

# Implementación del sistema de ficheros

## *implementación de directorios*

### Directorios en UNIX

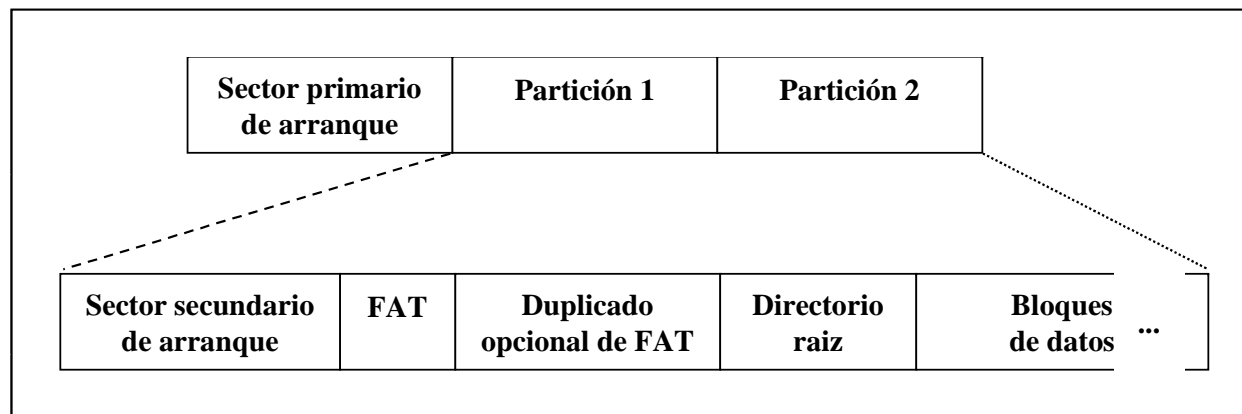


# Implementación del sistema de ficheros

## *ejemplos estructura discos*

### Estructura del disco en MS-DOS

- Sector de arranque primario. Contiene información crítica sobre la tabla de particiones y el código para el arranque del sistema.
- Tabla de particiones: Indica el principio, el tamaño y el tipo de cada partición. Se manipula con comandos como fdisk



# Implementación del sistema de ficheros

## *ejemplos estructura discos*



### Estructura del disco en MS-DOS

- El sector de arranque de MS-DOS contiene información sobre el sistema de archivos como:
  - ▣ Número de bytes por sector.
  - ▣ Número de sectores por bloque.
  - ▣ Tamaño del directorio raíz.
  - ▣ Número de tablas FAT.
  - ▣ Tamaño del dispositivo.
  - ▣ Código para iniciar el SO:
    - Búsqueda del directorio raíz.
    - Carga de los archivos “io.sys” y “msdos.sys”.
    - Transfiere control al “io.sys”.

# Implementación del sistema de ficheros

## *ejemplos estructura discos*



### Estructura del disco en MS-DOS

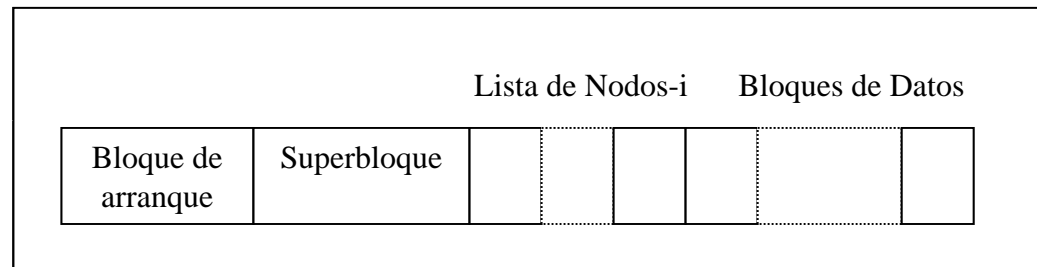
- Organización de una partición MS-DOS
  - ▣ La información previa a los bloques de datos (sector de arranque, FAT y directorio raíz) se organiza en sectores.
  - ▣ Los bloques de datos donde se almacenan los archivos (incluidas las entradas de directorios que no pertenecen al Raíz), se organizan mediante una lista enlazada (FAT).
  - ▣ Los bloques libres están marcados con un código especial. Cuando se asigna espacio a un archivo, MS-DOS busca en la FAT las entradas de bloque libre necesarias.

# Implementación del sistema de ficheros

## *ejemplos estructura discos*

### Estructura del disco en UNIX

- Bloque de arranque. Ocupa el primer sector del sistema de archivos y puede contener código de arranque.
- Superbloque: Contiene información sobre el sistema de ficheros
  - ▣ Tamaño del sistema de archivos
  - ▣ Lista de bloques libres
  - ▣ Tamaño de la lista de nodos-i, etc
- Lista de inodos (nodos-i). Hay una entrada por cada archivo. El administrador especifica el tamaño de la lista de nodos índice.
- Bloques de datos. Ocupa el resto del sistema de archivos. Un bloque de datos pertenece a un único fichero





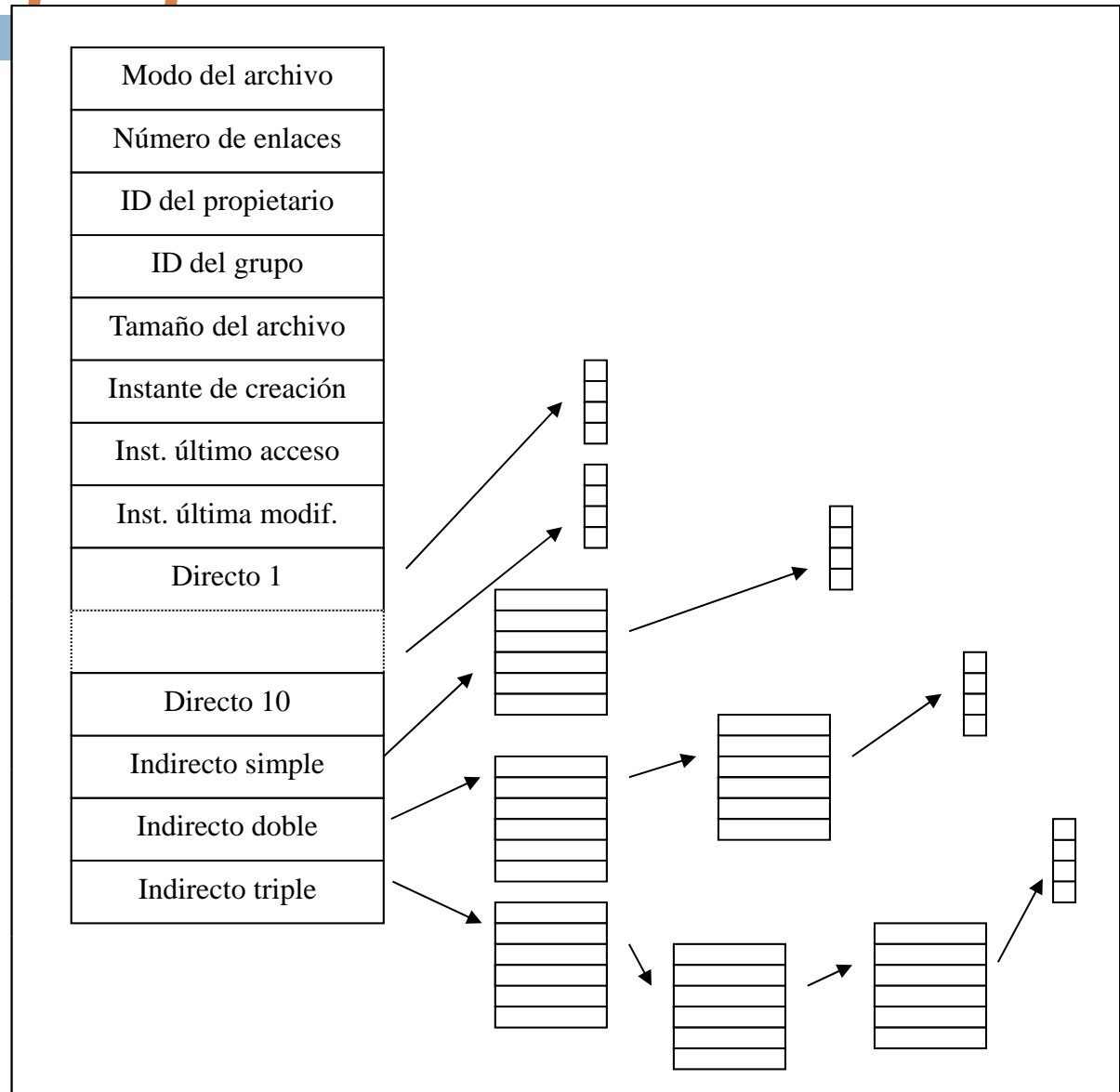
# Implementación del sistema de ficheros

## *ejemplos estructura discos*

### Estructura del disco en UNIX

#### Nodo índice

- Estructura de control que contiene la información de un archivo.
- Pueden asociarse varios nombres de archivo a un mismo nodo-i.
- Cada archivo es controlado por un único nodo-i.



# GESTIÓN DE E/S

## Capítulo 7

# Contenidos

- Introducción
- Software de E/S
  - ▣ Objetivos
  - ▣ Niveles
- Discos
  - ▣ Hw de disco
  - ▣ Sw de disco
    - Traducción de direcciones lógicas/físicas
    - Algoritmos de planificación del brazo

# Conceptos básicos

## Gestión de Entrada/Salida

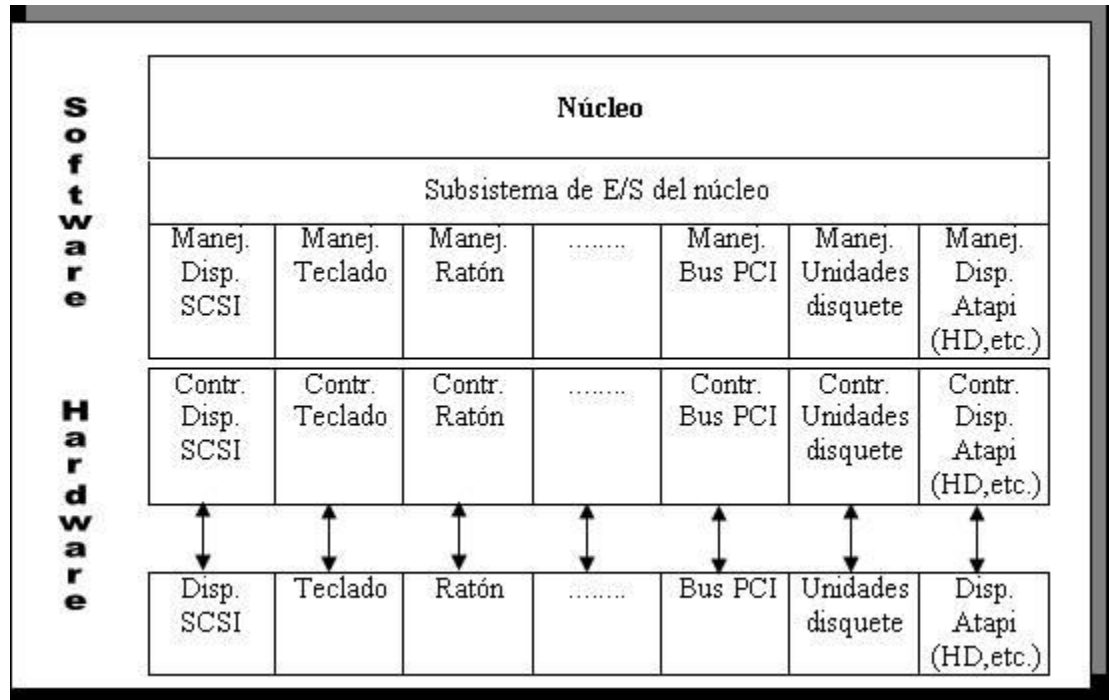
- Parte del SO encargada de la gestión de los dispositivos de E/S que actúa como interfaz entre los usuarios del sistema y los dispositivos de E/S, de forma que en las capas superiores los dispositivos se tratan de una manera uniforme, sencilla, segura y eficaz (**Independencia de Dispositivo**).

# Conceptos básicos

## Sistema de Entrada/Salida

Se divide en:

- Hardware de E/S. Formado por el dispositivo físico de E/S que es la parte electromecánica y el controlador del dispositivo que es la parte electrónica.
- Software de E/S. Formado por el software que permite la comunicación con el controlador del dispositivo.



# Software de entrada/salida

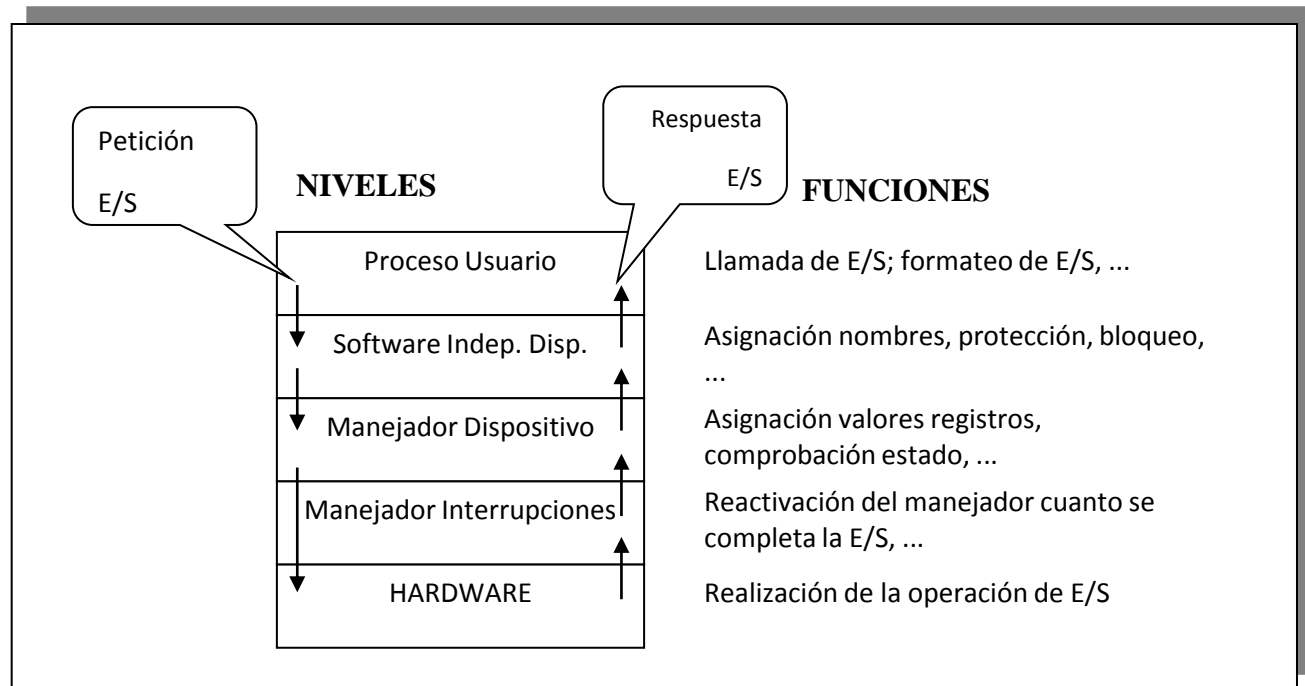
## objetivos

- Proporcionar independencia de dispositivo
- Nombres uniformes (del archivo o dispositivo y no depender del dispositivo)
- Manejo de errores (se debe manejar lo más cerca del Hardware)
- Independencia del tipo de transferencia (síncrona mediante bloqueo o asíncrona mediante interrupciones)
- Dispositivos compartidos o exclusivos

# Software de entrada/salida

## niveles

- En una operación de Entrada/Salida intervienen 4 tipos o niveles de programas



# Software de entrada/salida

## niveles

### Lectura de un bloque de archivo

- Se invoca al SO para llevar a cabo la llamada.
- El Software independiente del dispositivo busca, por ejemplo, en la caché.
- Se llama al manejador de dispositivos, si el bloque no estuviera en la caché.
- El manejador pasa la solicitud al Hardware.
- El proceso se bloquea hasta que termina la operación.
- Una vez terminada la operación, el Hardware genera una interrupción.
- Se ejecuta el manejador de interrupciones para descubrir lo ocurrido.
- Extrae el estado del dispositivo y lo despierta para enviarle los datos y que continúe.



# Software de entrada/salida

*niveles*

## **Manejador de interrupciones**

- Es el encargado de ocultar las interrupciones a los niveles superiores y que se gestionen en los niveles inferiores.
- Es el encargado de bloquear y despertar al proceso que solicita la entrada/salida.

# Software de entrada/salida

## niveles

### Manejador de dispositivos

- Funciones:
  - ▣ Recibir peticiones abstractas de niveles superiores
  - ▣ Enviar las órdenes al controlador y comprobar que se realizan adecuadamente
  - ▣ Devolver datos, información de estado y error
- Es el software que contiene todo el código dependiente de dispositivo. Es el único programa que tiene acceso a los registros del controlador.
- Suele manejar solo una clase de dispositivos.
- Después de enviar las órdenes al controlador, el manejador puede:
  - ▣ Bloquearse hasta recibir interrupción si la operación tarda mucho
  - ▣ No bloquearse si la operación ejecuta rápidamente

# Software de entrada/salida

*niveles*

## Programas del SO independientes del dispositivo

Funciones:

- Proporcionar operaciones de E/S comunes a todos los dispositivos
- Proporcionar interfaz uniforme a los programas de usuario
- Asignar nombre a los dispositivos
- Proteger los dispositivos
- Proporcionar tamaño de bloque independiente de los dispositivos
- Almacenar temporalmente los datos en las transferencias E/S (buffering)
- Gestionar la asignación de espacio en los dispositivos de bloques
- Reservar y liberar los dispositivos
- Informar de los errores y actuar en consecuencia si el tratamiento es independiente del dispositivo

# Software de entrada/salida

## niveles

### Nivel de usuario

- La mayoría del software de E/S están dentro del SO, pero una pequeña parte está fuera de él:
  - ▣ Bibliotecas que se enlazan con los programas de usuario. Llamadas al sistema, etc.
  - ▣ Sistemas de spooling. Consisten en un directorio para almacenar los ficheros a transferir y un proceso especializado (**daemon**) que es el único que puede utilizar el manejador del dispositivo para que se envíen los ficheros. Ej.: impresora.

# Discos

*intro*

- Presentan tres ventajas respecto al uso de la Memoria Principal:
  - ▣ La capacidad del espacio de almacenamiento disponible es mucho más grande
  - ▣ El precio por bit es más barato
  - ▣ No son volátiles

# Discos

## *Hw de disco*

- En el hardware de disco pueden distinguirse dos partes:
  - ▣ La unidad de disco que es el dispositivo electromecánico. Ej: FDD: Floppy Disk Drive.
  - ▣ El controlador de la unidad de disco. Ej: FDC: Floppy Disk Controller.

# Discos

## *Hw de disco*

### El disco

- Un **disco magnético** es un cilindro recubierto en las superficies planas de material magnético sobre el que se efectúa la grabación de datos.
- El **cabezal del disco** es un transductor que permite leer/escribir datos en el material magnético.

### Tipos de discos:

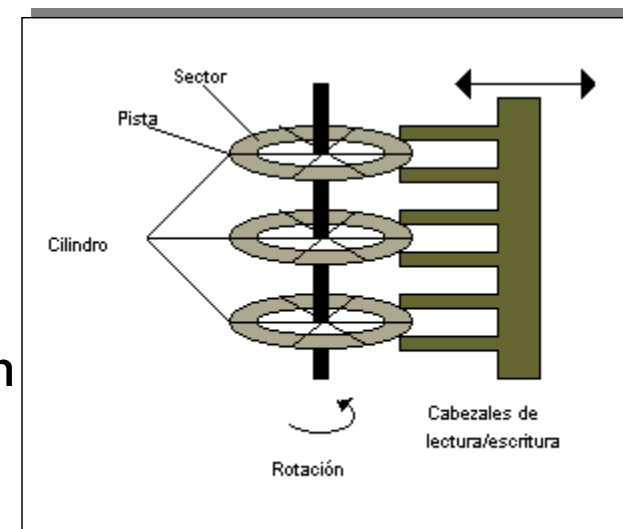
- Desplazamiento cabezas: fija y móvil.
- Transportabilidad de disco: fijo (rígido) y extraíble (flex.)
- Superficies: única y doble.
- Número disco: único y múltiples.
- Mecanismo de la cabeza: contacto, fija y aerodinámica

# Discos

## Hw de disco

### Organización del disco

- ❑ Cilindro: Conjunto de pistas accesibles en una posición del brazo. Se supone que hay una cabeza por cada cara.
- ❑ Pista: Círculo determinado por una cabeza. Está formada por sectores.
- ❑ Sectores: Unidad básica de trasiego de información.
- ❑ La organización en cilindros, pistas y sectores se efectúa mediante la operación dar **formato**.





# Discos

## Hw de disco

### Organización-Ejemplo:

| Unidad de Disco          | Número Cilindros | Pistas por Cilindro | Sectores por Pista | Sectores por Disco | Bytes por sector | Bytes por disco |
|--------------------------|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| 5 1/4"<br>Doble Densidad | 40               | 2                   | 9                  | 720                | 512              | 368640          |
| 5 1/4"<br>Alta Densidad  | 80               | 2                   | 15                 | 2400               | 512              | 1228800         |
| 3 1/2"<br>Doble Densidad | 80               | 2                   | 9                  | 1440               | 512              | 737280          |
| 3 1/2"<br>Alta Densidad  | 80               | 2                   | 18                 | 2880               | 512              | 1474560         |
| 3 1/2"<br>Extra Densidad | 80               | 2                   | 36                 | 5760               | 512              | 2949120         |

### Direccionamiento

- A un determinado sector físico se puede acceder mediante su dirección lógica. Por ejemplo, para el mismo disco flexible

| Dirección física sector |       |          | Dirección lógica sector |
|-------------------------|-------|----------|-------------------------|
| Cilindr                 | Pista | Sectores |                         |
| 0                       |       |          |                         |
| 0                       | 0     | 1..9     | 0..8                    |
| 0                       | 1     | 1..9     | 9..17                   |
| 1                       | 0     | 1..9     | 18..26                  |
| ....                    | ....  | ....     | ....                    |
| 39                      | 1     | 1..9     | 711..719                |

- El controlador numera los sectores dentro de una pista desde 1 a 9, y no desde 0 a 8. Cilindro y cabezales sí son numerados a partir del 0.

### **El dispositivo**

- El dispositivo electromecánico está constituido por motores, cabezas de lectura y escritura, carcasa, etc. y la lógica relacionada. Típicamente consta de:
  - ▣ Motores: para el giro del disco y para el posicionamiento del brazo.
  - ▣ Detectores de posición: de inicio de pista, para posición de referencia de las cabezas (pista 00) y de protección contra escritura.
  - ▣ Circuitos para efectuar las lecturas y las escrituras.

### **El dispositivo**

- Ante una operación de lectura o escritura, la unidad, en un esquema simplificado, opera de la siguiente manera:
  - ▣ Enciende el motor.
  - ▣ Posiciona las cabezas y espera un tiempo para que estas apoyen sobre la superficie.
  - ▣ Localiza el sector y efectúa la operación.
  - ▣ Para el motor.

# Discos

## Hw de disco

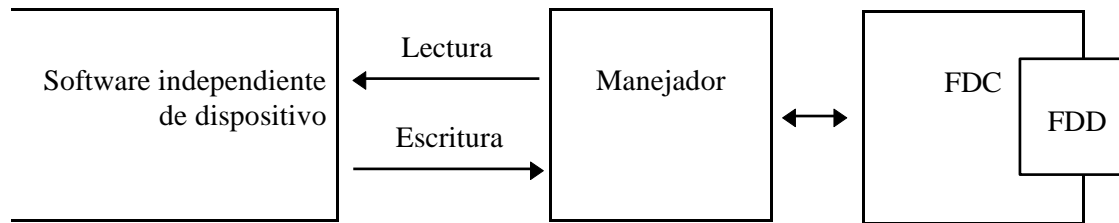
- Los tiempos que intervienen en las operaciones de entrada/salida a disco son:
  - ▣ **Tiempo de búsqueda** del cilindro o tiempo de posicionamiento de brazo. Es el tiempo necesario para mover el brazo del disco hasta la pista solicitada. Este tiempo incluye el tiempo de arranque y el tiempo de estabilización de velocidad.
  - ▣ **Tiempo de latencia** o retardo de rotación. Tiempo que transcurre desde que la cabeza está situada en el cilindro hasta que la cabeza se sitúa en el sector solicitado. El tiempo de acceso es igual al tiempo de búsqueda más el tiempo de latencia.
  - ▣ **Tiempo de transferencia.** Tiempo que se necesita para realizar la transferencia de los datos solicitados.

### El controlador

- Es la parte electrónica que establece la interacción entre el procesador y el disco recibiendo peticiones del primero, gestionando el trasvase y notificando al procesador el fin de operación.
- Realiza las siguientes operaciones:
  - ▣ Control de la unidad de disco. Movimiento del brazo para localizar el cilindro, selección de la cabeza correspondiente a la pista, operación sobre el sector interesado, recalibrado, etc.
  - ▣ Traspase de información. Comprobación de la corrección de los datos, interpretación y ejecución de las órdenes relacionadas con el disco.

### Esquema general

- Función principal del manejador es proporcionar un interfaz independiente del dispositivo.



- El esquema del manejador es un bucle infinito que atiende peticiones, encarga su realización e informa del resultado

# Discos

## Sw de disco

### Manejador

```
mensaje mens; /*buffer del mensaje */
manejador_disco ()
{
 int r, peticionario;

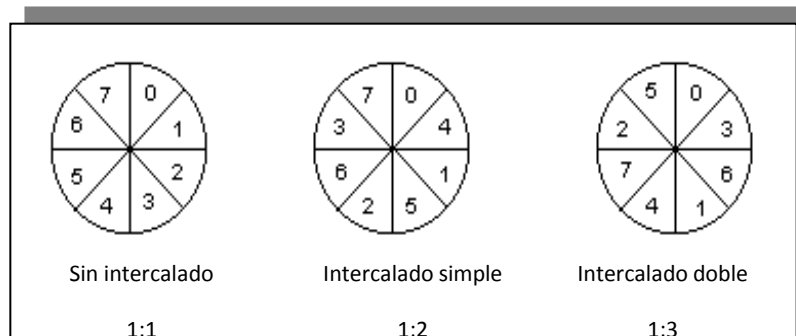
 iniciar();
 while (TRUE)
 {
 recibir_petición (&mens); /*esperar petición */
 peticionario = mens.peticionario; /*proceso que envió mensaje */
 switch(mens.m_tipo)
 {
 /*tratamiento tipo peticion */
 case READ: r = leer(); break;
 case WRITE: r = escribir(); break;
 default: r = ERROR;

 }
 mens.tipo_op = RESPUESTA;
 mens.STATUS = r; /* código de resultado */
 enviar(peticionario, &mens); /* mensaje respuesta remitente*/
 }
}
```



### Conversión de direcciones lógicas a direcciones físicas

- Para la conversión es necesario conocer la numeración de los cilindros, pistas y sectores. Generalmente:
  - ▣ Numeración de cilindros comenzando desde el más externo (cilindro físico 0).
  - ▣ Numeración de pistas comenzando desde la superior (cabeza 0)
  - ▣ Numeración de sectores a partir de la marca de inicio de pista y considerando el factor de intercalación.
- El **factor de intercalación** indica la posición que ocupa un sector lógico respecto de su predecesor en una pista.
- Este mecanismo permite reducir el tiempo que necesita la unidad de disco para localizar un sector en una pista:



### Conversión de direcciones lógicas a direcciones físicas

- La función que convierte la dirección lógica que recibe el manejador al formato de cilindro-pista-sector para acceso al disco será:

```
int convertir_dirección(long dir_disco) /*dirección en palabra, no en bloque */
{
 ...
 bloque = (int) (dir_disco / tam_sector);
 cilindro = (int) (bloque / (n_pist * n_sect));
 pista = (int) ((bloque % ((n_pist * n_sect)) / n_sect);
 sector_lógico = bloque - cilindro * n_pist * n_sect - pista * n_sect;
 sector_físico = (sector_lógico * intercalación) % n_sect;
 ...
}
```

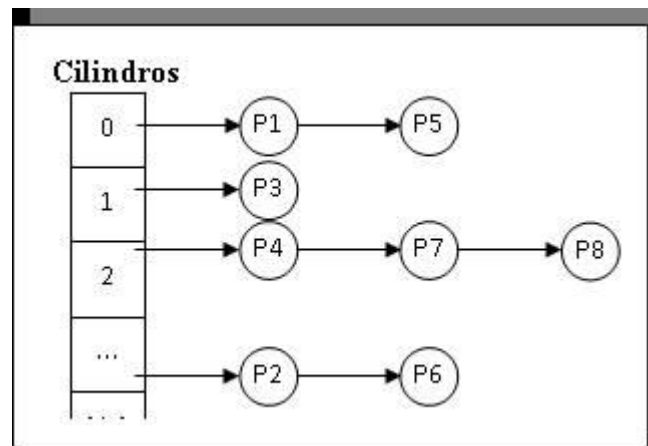
### Conversión de direcciones lógicas a direcciones físicas

- Por ejemplo, en un disco de 2 pistas, 9 sectores por pista y 512 bytes por sector (se suponen los bloques del mismo tamaño que los sectores), las posiciones en el disco para varias direcciones se muestran en la tabla:

| intercalac. | dir disco | bloque | cil. | pista | s. lóg. | sect. fís. |
|-------------|-----------|--------|------|-------|---------|------------|
| 1           | 34309     | 67     | 3    | 1     | 4       | 4          |
| 2           |           |        |      |       |         | 8          |
| 1           | 57212     | 111    | 6    | 0     | 3       | 3          |
| 2           |           |        |      |       |         | 6          |
| 1           | 40450     | 79     | 4    | 0     | 7       | 7          |
| 2           |           |        |      |       |         | 5          |

### Planificación del Movimiento del Brazo

- El Sistema Operativo mantiene una cola de peticiones de acceso para cada dispositivo de Entrada/Salida. Dependiendo de cómo se atiendan esas peticiones el tiempo de posicionamiento será mayor o menor. Por ejemplo, para un determinado dispositivo



# Discos

## Sw de disco

### Planificación del Movimiento del Brazo

#### FCFS: Primero en llegar, primero en ser servido

- Las peticiones son atendidas en el orden de llegada.
- Ejemplo: Sea un disco con 200 cilindros y se supone que las peticiones en un instante determinado son en orden de llegada: 55, 58, 39, 18, 90, 160, 150, 38 y 184. Suponer que inicialmente la cabeza está situada en la pista 100 y se mueve en direcciones crecientes de cilindro. Indicar en qué orden se atenderán.

| Cilindros Solicitados |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 055                   | 058 | 039 | 018 | 090 | 160 | 150 | 038 | 184 |
| 1                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       | 2   |     |     |     |     |     |     |     |
|                       |     | 3   |     |     |     |     |     |     |
|                       |     |     | 4   |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     | 5   |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     | 6   |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     | 7   |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     | 8   |     |
|                       |     |     |     |     |     |     |     | 9   |

- Es el algoritmo más fácil de implementar.
- Movimientos bruscos.
- Recorridos totales elevados.

# Discos

## Sw de disco

### Planificación del Movimiento del Brazo

#### SSTF (SSF) : Primero más corto

- Se atiende primero las peticiones más próximas a la posición actual de la cabeza. Si dos peticiones son equidistantes, se puede usar un algoritmo aleatorio para decidir o bien se da prioridad al sentido de movimiento actual de la cabeza.

| Cilindros Solicitados |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 055                   | 058 | 039 | 018 | 090 | 160 | 150 | 038 | 184 |
|                       |     |     |     | 1   |     |     |     |     |
|                       | 2   |     |     |     |     |     |     |     |
| 3                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       |     | 4   |     |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     | 5   |     |
|                       |     |     | 6   |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     | 7   |     |     |
|                       |     |     |     |     | 8   |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     |     | 9   |

- Se minimiza el tiempo medio de posicionamiento. Mejor que FCFS.
- Problema de inanición
- El brazo tiende a permanecer en la mitad del disco.

### Planificación del Movimiento del Brazo

#### SCAN: Algoritmo del ascensor

- El brazo sólo se puede mover en un sentido, resolviendo todas las peticiones pendientes en su ruta hasta que alcance el último cilindro. A continuación, la cabeza se mueve en el otro sentido atendiendo las peticiones que se encuentre.

| Cilindros Solicitados |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 055                   | 058 | 039 | 018 | 090 | 160 | 150 | 038 | 184 |
|                       |     |     |     |     |     | 1   |     |     |
|                       |     |     |     |     | 2   |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     |     | 3   |
|                       |     |     |     | 4   |     |     |     |     |
|                       | 5   |     |     |     |     |     |     |     |
| 6                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       |     | 7   |     |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     | 8   |     |
|                       |     |     | 9   |     |     |     |     |     |

- Presenta la ventaja de que atiende cualquier petición en un tiempo máximo.
- Normalmente, es peor que el algoritmo SSTF.

# Discos

## Sw de disco

### Planificación del Movimiento del Brazo

#### CSCAN: Algoritmo del ascensor circular

- El brazo sólo se puede mover en un sentido, resolviendo todas las peticiones pendientes en su ruta. Cuando llega al último cilindro, se desplaza al primero y empieza a resolver las nuevas peticiones.

| Cilindros Solicitados |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 055                   | 058 | 039 | 018 | 090 | 160 | 150 | 038 | 184 |
|                       |     |     |     |     |     | 1   |     |     |
|                       |     |     |     |     | 2   |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     |     | 3   |
|                       |     |     | 4   |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     | 5   |     |
|                       |     | 6   |     |     |     |     |     |     |
| 7                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       | 8   |     |     |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     | 9   |     |     |     |     |

- Si el movimiento por defecto es descendente la vuelta circular sería hacia el último cilindro.



# Discos

## Sw de disco

### Planificación del Movimiento del Brazo

#### LOOK

- Es una variante del algoritmo SCAN. Cambia de sentido cuando se ha atendido la última petición y no tiene que llegar hasta el último cilindro.

| Cilindros Solicitados |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 055                   | 058 | 039 | 018 | 090 | 160 | 150 | 038 | 184 |
|                       |     |     |     |     |     | 1   |     |     |
|                       |     |     |     |     | 2   |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     |     | 3   |
|                       |     |     |     | 4   |     |     |     |     |
|                       | 5   |     |     |     |     |     |     |     |
| 6                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       |     | 7   |     |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     | 8   |     |
|                       |     |     | 9   |     |     |     |     |     |

- Los recorridos totales son inferiores al algoritmo SCAN
- Más complejo que el algoritmo SCAN.

### Planificación del Movimiento del Brazo

#### CLOOK

- Es una variante del algoritmo CSCAN. Volviendo al primer cilindro cuando se ha atendido la última petición y no tiene que llegar hasta el último cilindro.

| Cilindros Solicitados |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 055                   | 058 | 039 | 018 | 090 | 160 | 150 | 038 | 184 |
|                       |     |     |     |     |     | 1   |     |     |
|                       |     |     |     |     | 2   |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     |     | 3   |
|                       |     |     | 4   |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     |     |     |     | 5   |     |
|                       |     | 6   |     |     |     |     |     |     |
| 7                     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|                       | 8   |     |     |     |     |     |     |     |
|                       |     |     |     | 9   |     |     |     |     |

- Los recorridos totales son inferiores al algoritmo CSCAN pero más elevados que LOOK.
- Más complejo que el algoritmo CSCAN.
- Si el movimiento por defecto es descendente la vuelta circular sería hacia el último cilindro.

### Transferencia

- La transferencia es una operación sencilla a nivel del software porque el trabajo se realiza entre el controlador y el DMA. Todo lo que se requiere es indicar:
  - ▣ el tipo de operación (lectura o escritura),
  - ▣ la unidad de disco,
  - ▣ la dirección física (cilindro, pista, sector),
  - ▣ el número de sectores por pista,
  - ▣ el espacio entre sectores y
  - ▣ la longitud de datos.
- Seguidamente, el manejador debe bloquearse en espera de la interrupción del controlador indicando el final de operación. Ocurrida la interrupción, se obtiene el estado del controlador y se comprueba el resultado de la transferencia.

### Tratamiento de Errores

- Se pueden distinguir dos tipos de errores:
  - ▣ Sistemático, porque algún elemento haya perdido operatividad o alguna de las actividades manuales se haya realizado incorrectamente (ausencia de disco, protección contra escritura en su caso, etc.). Se emite un mensaje de error y no se reintentan.
  - ▣ Transitorio, desde una mota de polvo sobre la superficie hasta un error en el controlador. Se resuelven reintentando la operación hasta un número limitado de veces. Caso de no subsanarse, se entenderá que se trata de un error sistemático.
- Cuando la causa del error es de deterioro de un sector, se toman soluciones como:
- Crear un archivo de sectores defectuosos cuyo contenido son los sectores que no pueden ser utilizados. Este fichero es transparente al usuario.
- Reemplazar las pistas dañadas por otras al final del disco reservadas a tal efecto.

### Tratamiento de Errores

Los más comunes:

- De programación (algún parámetro incorrecto). Ej.: solicitar sector inexistente.
  - ▣ algunos son detectados por el controlador
  - ▣ en general, el manejador deberá devolver error
- Transitorios de transferencia. Ej.: provocado por suciedad.
  - ▣ se detectan mediante sumas de control de los datos trasvasados
  - ▣ se reintenta la operación varias veces
- Permanentes de transferencia. Ej.: sectores dañados.
  - ▣ los bloques inservibles deben estar caracterizados
  - ▣ se pueden utilizar ficheros de bloques inservibles (ojo a operaciones que no operan sobre ficheros)

### Tratamiento de Errores

Los más comunes:

- De búsqueda (posicionamiento incorrecto del brazo)
  - ▣ algunos controladores los corrigen automáticamente
  - ▣ otros controladores ponen a 1 un bit de error y declinan la responsabilidad
  - ▣ en el manejador (suele enviar comando RECALIBRATE)
- Del controlador. Ej.: el controlador no acepta los comandos.
  - ▣ caso de malfunción, es típico poner a 1 un bit de error para forzar la
  - ▣ reinicialización del propio controlador

# Discos

## Sw de disco

### Otras Operaciones

#### Iniciación del dispositivo

- El manejador informa al controlador del número de unidades de disco, calibrado del brazo, unidad de disco por defecto, parámetros de estabilización de disco, etc.
- Comprobar que las operaciones se han realizado satisfactoriamente.

#### Carga de DMA

- Sentido de la transferencia (Controlador → Memoria y Controlador ← Memoria).
- Dirección de inicio en memoria principal.
- Cantidad de palabras a transferir.

# Discos

## Sw de disco

### Otras Operaciones

#### Parada del motor

- No se para el motor después de cada transferencia sino que se realiza una **parada retardada** con un temporizador de guardia.

#### Encendido del motor

- Para encender el motor hay que activar un bit y esperar un tiempo de estabilización.

```
int arrancar_motor()
{
 ...
 if (motor_girando)
 {
 inhabilitar_parada();
 return;
 }
 escribir_en_puerto ();
 esperar (tiempo_estabilización); /* temporizador de guardia */
}
```



### Mejoras

#### Mejoras de Eficiencia

Se suelen utilizar otras técnicas para mejorar las prestaciones globales.

- Solapamiento de búsquedas. Solapadas entre sí y solapadas con operación lectura o escritura.
- Otras planificaciones del brazo. Ascensor combinado con datos de uso más frecuente en cilindros centrales.
- Cache interna del controlador. Cuando se da orden de leer un sector, se lee toda la pista y se almacena en la cache.
- Defragmentar.
- Intercalación entre pistas.
- Intercalación de discos. Acceso a varios discos en paralelo.

### Mejoras

#### Mejoras de Fiabilidad

- Empleo de grupos redundantes de discos de bajo coste **Sistemas RAID** (redundant arrays of inexpensive disks).
- Esta redundancia puede organizarse con diverso rendimiento y rentabilidad. Existen diferentes niveles o configuraciones RAID dependiendo del grado de redundancia.