



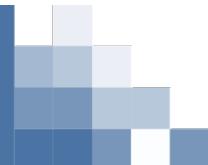
# Tema 4

## Gestión de procesos

Alberto Sánchez

Sofía Bayona

Luis Rincón





- “**Fundamentos de sistemas operativos**” *Silberschatz, Galvin, Gagne*. Editorial Mc Graw Hill.
  - Capítulo 3: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4
  - Capítulo 4: 4.1, 4.2
  - Capítulo 5: 5.1, 5.2, 5.3
  - Capítulo 6: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6
- “**Sistemas Operativos: una visión aplicada**” 2<sup>a</sup> ed. *Carretero, García, De Miguel, Pérez*. Editorial Mc Graw Hill.
  - Capítulo 3: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.9, 3.12, 3.13
  - Capítulo 4: 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8
  - Capítulo 6: 6.1, 6.2, 6.3, 6.6



- **Introducción a los procesos**
- Creación y terminación de procesos
- Comunicación entre procesos
- Hebras
- Sincronización de procesos
- Planificación de la CPU

# Concepto de proceso



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Un proceso es un programa en ejecución.
  - Puede haber varias réplicas de un mismo programa en ejecución.
  - Los procesos son independientes, aunque sean instancias de un mismo programa.
- Un proceso no es solamente el código del programa, también incluye la actividad actual como:
  - Contador de programa
  - Registros del procesador
  - Imagen de memoria

# Estado del proceso



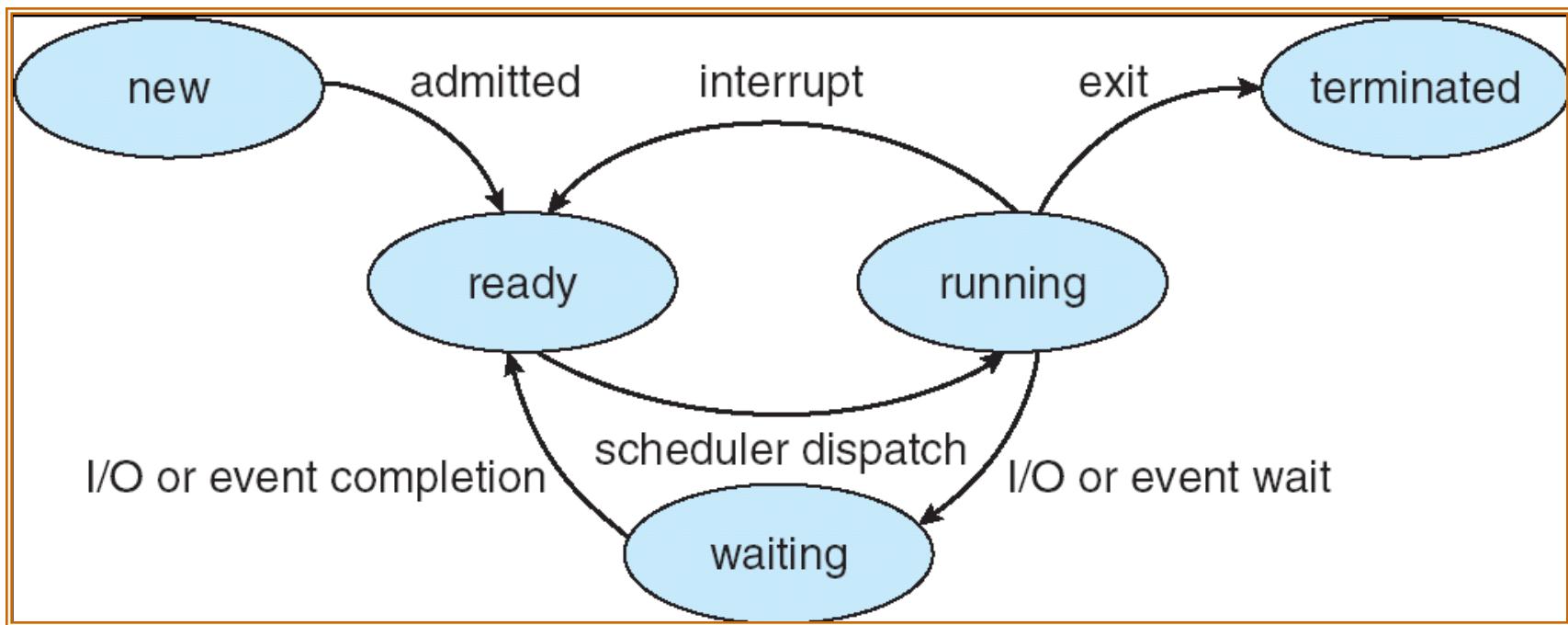
S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Un proceso puede ir cambiando entre varios estados:
  - **Nuevo:** el proceso está siendo creado.
  - **Listo:** está a la espera de que le asignen un procesador.
  - **En ejecución:** se están ejecutando instrucciones del proceso.
  - **Bloqueado:** esperando que ocurra algún suceso (E/S, comunicación, sincronización . . .) que lo desbloquee.
  - **Terminado.**
- Otros estados:
  - **En espera:** el proceso está a la espera para ser ejecutado cuando tenga suficientes recursos (ejemplo: ejecución por lotes).
  - **Suspendido:** no puede pasar a ejecución porque reside enteramente en la memoria de intercambio.
    - Se suspenden procesos para reducir el grado de multiprogramación.

# Estado del proceso



S I S T E M A S O P E R A T I V O S

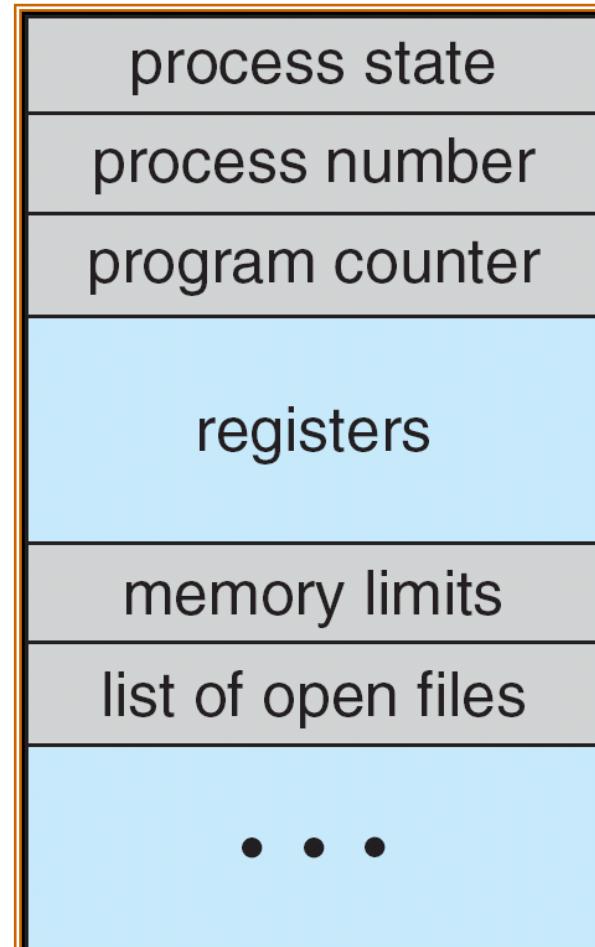


# Bloque de control de proceso



## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

- Cada proceso se representa dentro del sistema operativo con un **bloque de control de proceso** o **PCB**.
- El PCB contiene información asociada al proceso, como:
  - **Identificador del proceso (pid) y del padre (ppid)**
  - **Identificador de usuario (uid) y de grupo (gid)**
  - **Estado del proceso:** listo, bloqueado,...
  - **Estado del procesador:** valores de los registros (incluyendo *contador de programa*). Esta información se guarda cuando se produce una interrupción.
  - **Información contable:** tiempo empleado, límites, ...
  - **Información de planificación:** prioridad, ...
  - **Información de gestión de memoria:** descripción de los segmentos, tabla de páginas,...
  - **Información del estado de E/S:** disp. asignados, lista de descriptores de ficheros abiertos,...
  - **Temporizadores, señales, semáforos, puertos,...**



# Tablas del Sistema Operativo



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Tabla de Procesos -> Tabla de PCBs
  - Cada elemento es el PCB de un proceso
- Tabla de ficheros abiertos del sistema
  - Cada proceso tiene su tabla de descriptores de ficheros, con apuntadores a entradas de esta tabla
- Tabla de Memoria
- Tabla de E/S
  - Almacena operaciones de E/S pendientes

# Planificación de procesos



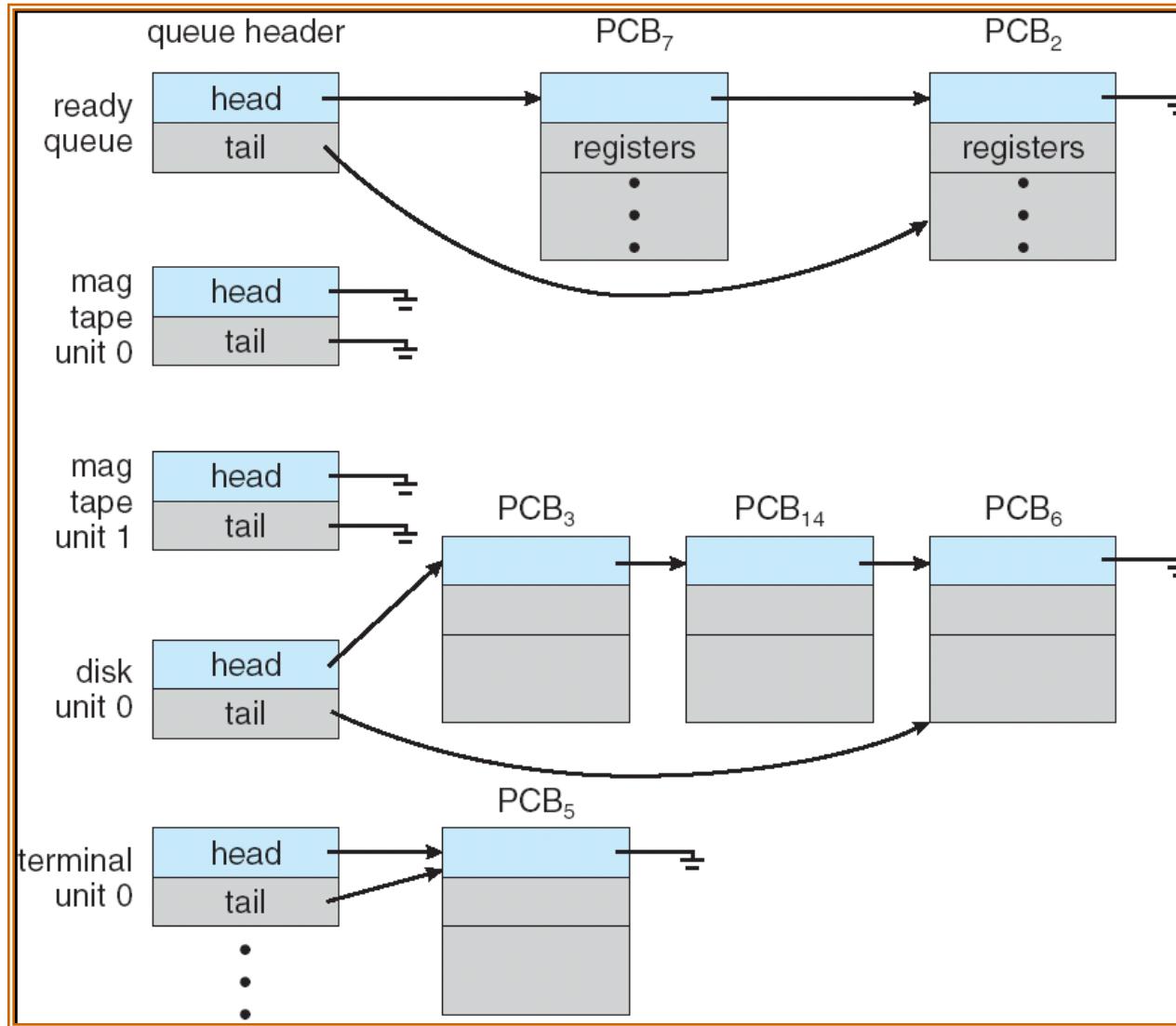
S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- El objetivo es la multiprogramación: admitir varios procesos en ejecución al mismo tiempo (*concurrentemente*) para maximizar el uso de la CPU
- Los procesos se organizan en colas:
  - Una **cola de trabajos** que contiene todos los procesos del sistema
  - Una **cola de procesos preparados** que contiene todos los procesos listos esperando para ejecutar
  - Varias **colas de dispositivo** que contienen los procesos que están a la espera de alguna operación de E/S
- A lo largo de la vida de un proceso, los procesos migran de unas colas a otras

# Planificación de procesos



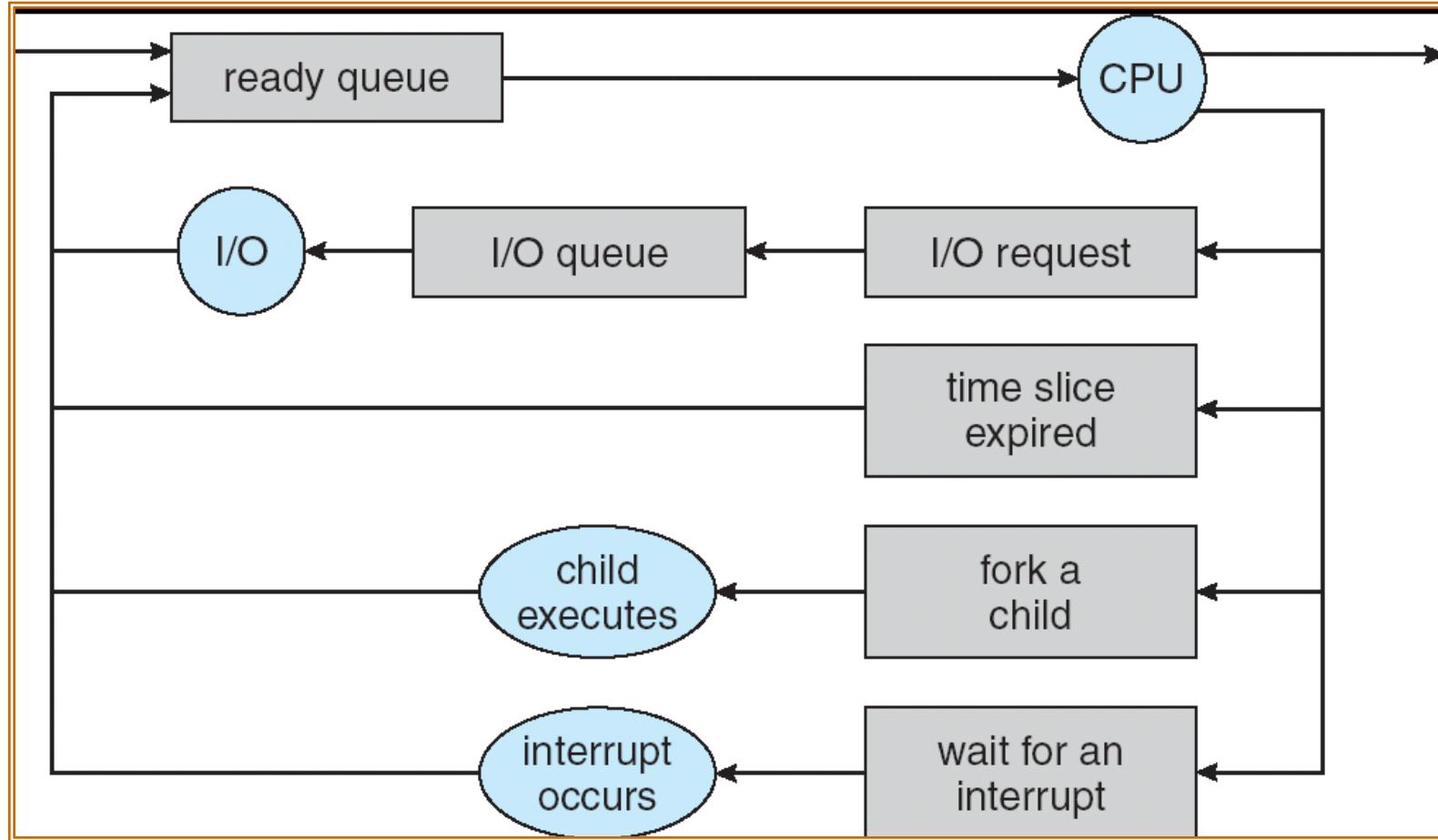
S I S T E M A S O P E R A T I V O S



# Planificación de procesos



S I S T E M A S O P E R A T I V O S





- Introducción a los procesos
- **Creación y terminación de procesos**
- Comunicación entre procesos
- Hebras
- Sincronización de procesos
- Planificación de la CPU

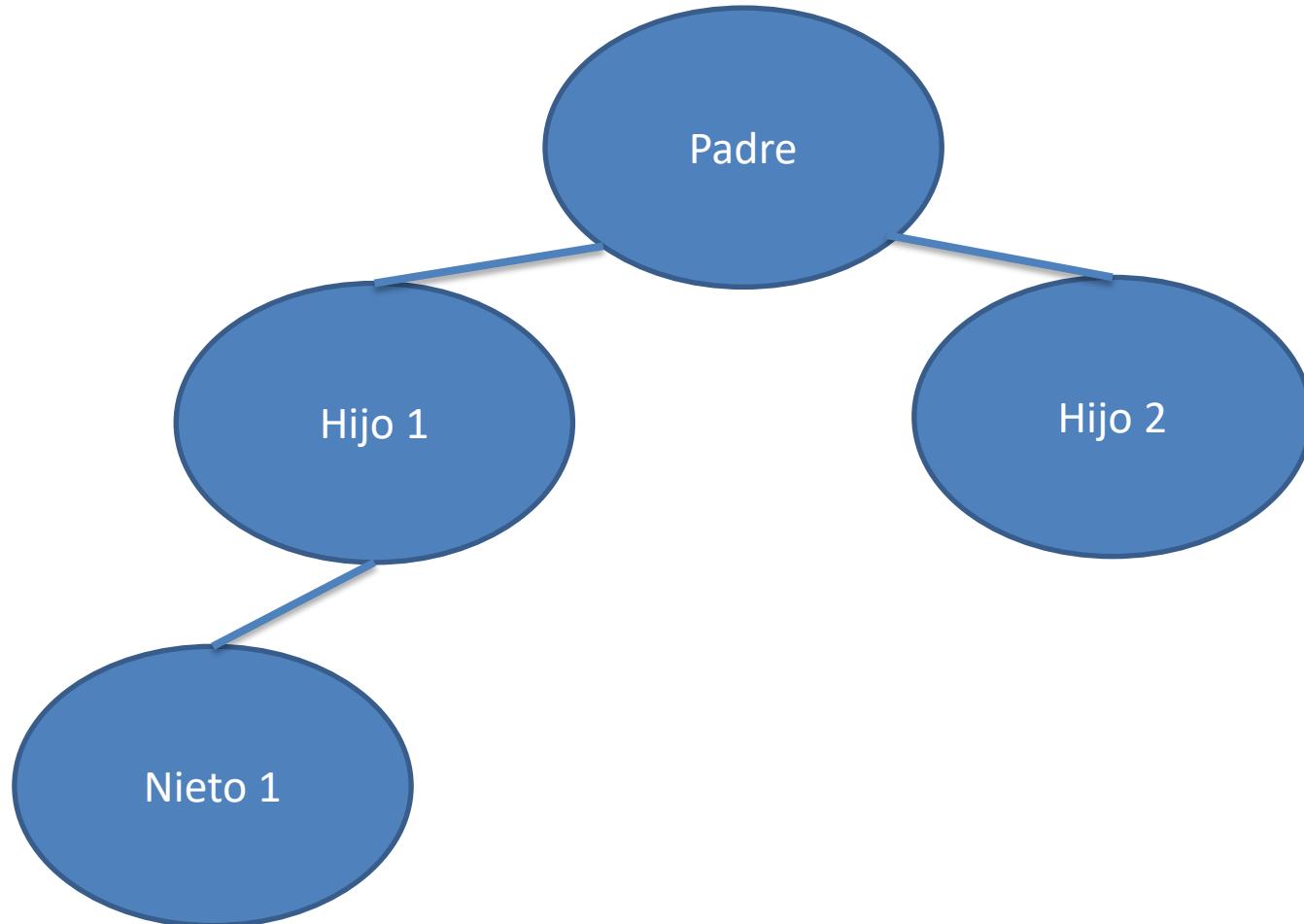
# Creación de procesos



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Los procesos pueden crear nuevos procesos. El proceso creador se denomina **padre** y el proceso creado se denomina **hijo**.
- A su vez los hijos también pueden crear nuevos procesos, . . . , formándose un **árbol de procesos**.
- La mayoría de los sistemas operativos utilizan un **identificador de proceso (pid)** único para cada proceso.

- Ejemplo: árbol de procesos

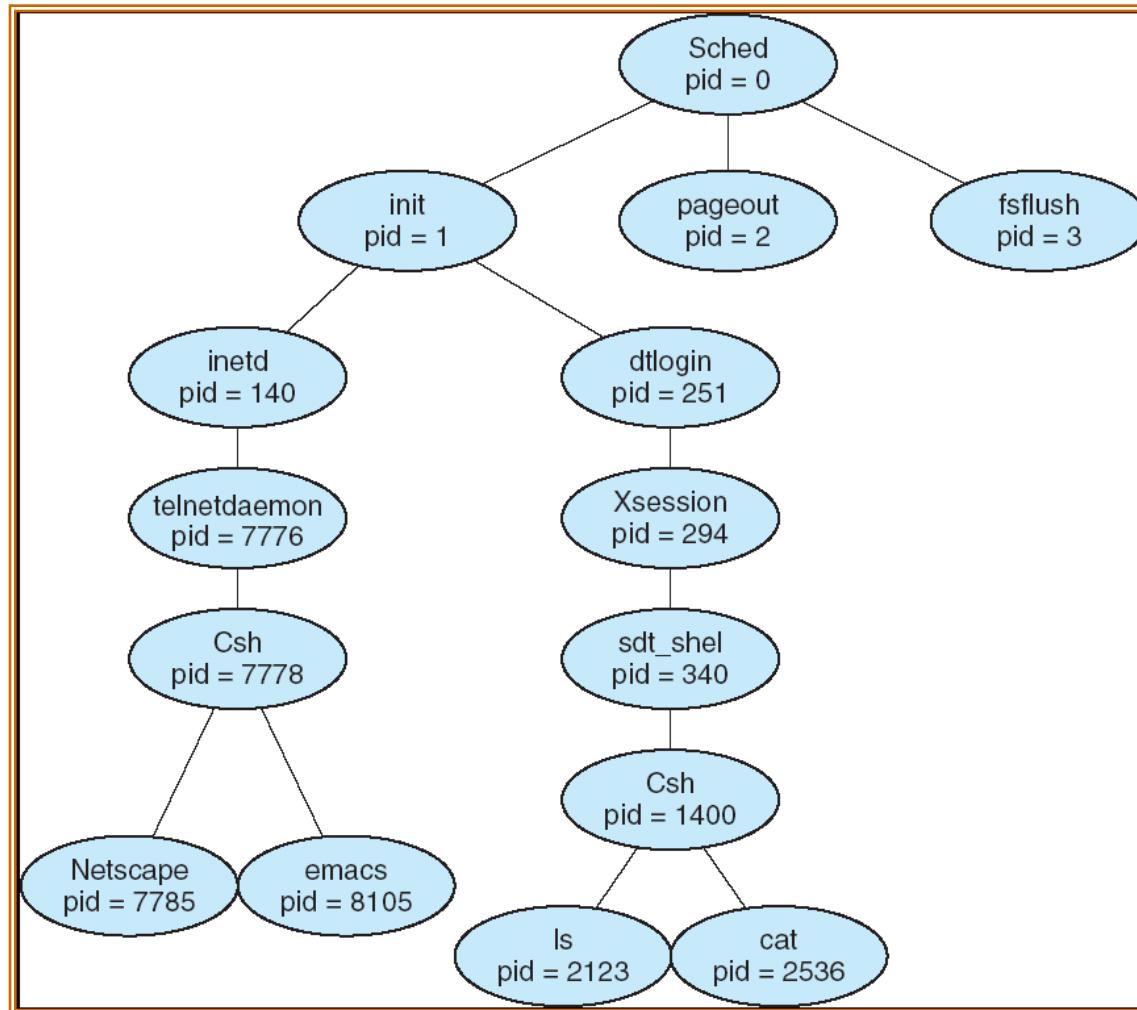


# Creación de procesos



S I S T E M A S O P E R A T I V O S

## ■ Ejemplo: árbol de procesos



# Creación de procesos



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Cuando un proceso crea otro proceso nuevo existen distintas posibilidades:
  - Ejecución:
    - Padre e hijo ejecutan concurrentemente.
    - El padre espera hasta que el hijo termine.
  - Recursos:
    - Padre e hijo comparten todos los recursos.
    - El hijo solo comparte una parte de los recursos del padre.
    - No se comparte ningún recurso.
  - Espacio de direcciones
    - El hijo tiene un duplicado del espacio de direcciones del padre.
    - El hijo carga un nuevo programa.

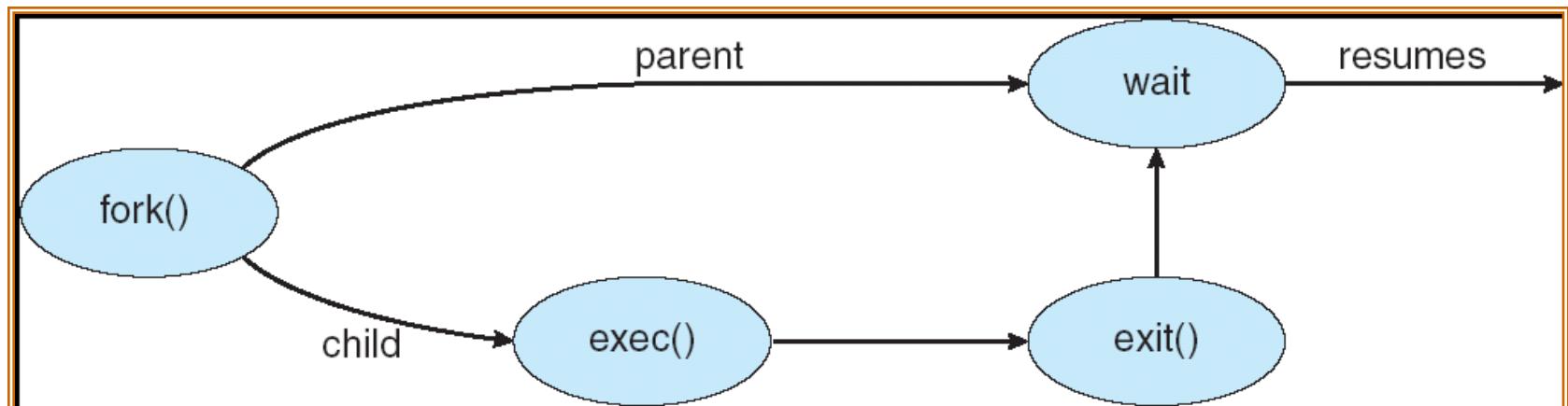


# Terminación de procesos

S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Un proceso termina cuando ejecuta su última instrucción y pide al SO que lo elimine
  - El proceso puede mandar información de finalización a su proceso padre
  - El SO libera los recursos asignados al proceso
- Un padre puede terminar la ejecución de alguno de sus hijos por diversos motivos:
  - El proceso hijo ha excedido el uso de algunos recursos
  - La tarea asignada al hijo ya no es necesaria
  - El padre abandona el sistema, y el SO no permite (no siempre) que un hijo continúe sin padre => terminación en cascada.

- Creación/terminación de procesos en UNIX:
  - **fork()** : Llamada al sistema para crear un nuevo proceso.
  - **wait(...)**: Llamada para esperar por un proceso. Se recibe la información de finalización del proceso por el que se espera
  - **exec (...)**: Llamada al sistema para reemplazar el espacio de memoria actual de un proceso por un programa nuevo.
  - **exit(...)**: Llamada para finalizar el proceso.



- **fork:**

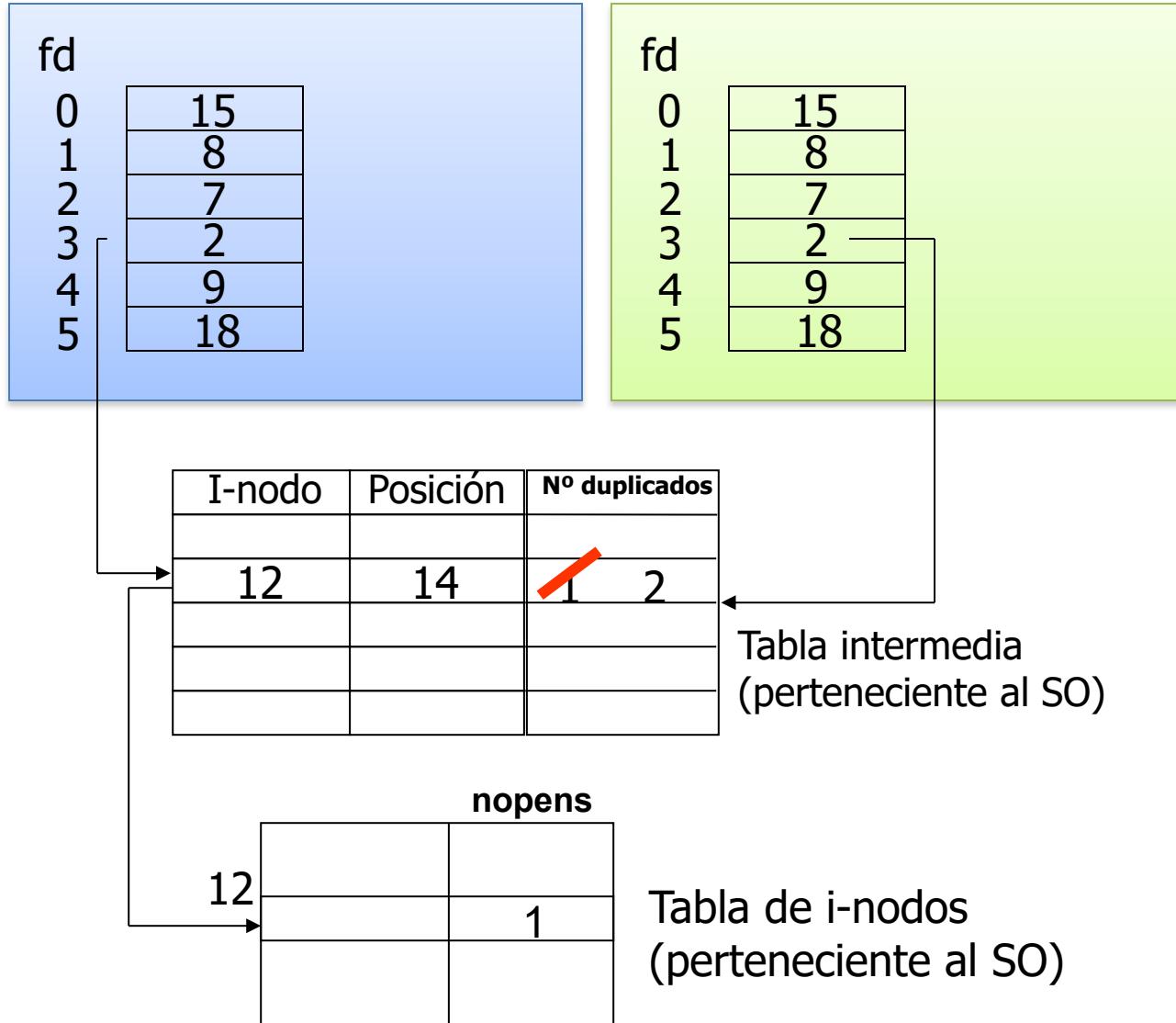
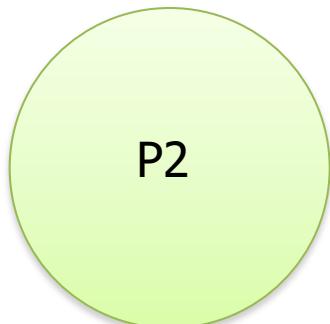
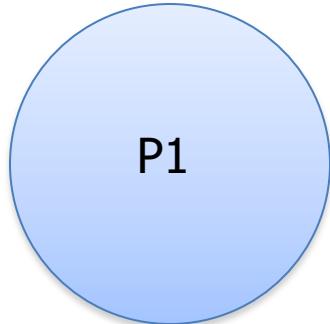
- Crea un proceso clonando al padre
- Copia la imagen del padre en otra zona de memoria
- Copia el PCB en la tabla de procesos
- Cambia el pid y la descripción de memoria en el nuevo PCB
- PC tiene el mismo valor que el del padre
- Retorno:
  - El padre recibe el pid del proceso hijo
  - El hijo recibe 0
- El hijo hereda los descriptores de ficheros del padre

# Creación de procesos



S I S T E M A S O P E R A T I V O S

Tablas de descriptores  
de ficheros  
(una por cada proceso)  
....  
`pid = fork();`





# Terminación de procesos

S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

## ■ **wait:**

- Bloquea el padre hasta que finaliza un proceso hijo
- Si el padre no realiza la operación wait, los hijos se vuelven zombies (se muestra como <defunct>)
- Formas de llamada:
  - pid\_t wait(int \*status): Espera por cualquier hijo obteniendo su valor de retorno a partir de la variable status. Si no se quiere obtener se puede indicar NULL
  - Macros de apoyo:
    - WIFEXITED(status): distinto de cero si el hijo terminó.
    - WEXITSTATUS(status): Permite obtener el valor devuelto por el proceso hijo en la llamada exit. Solo se puede comprobar si WIFEXITED devuelve un valor distinto de cero.
  - pid\_t waitpid(pid\_t pid, int \*status, int options): Espera por el hijo especificado en pid (-1, espera por cualquier proceso hijo).
    - options:
      - WNOHANG: Testea inmediatamente, sin bloquearse, si algún hijo ha terminado

# Creación de procesos



## S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

int main() {
    pid_t pid;
    pid = fork();
    if (pid < 0) { /* Error */
        fprintf(stderr, "Falló el fork()");
        exit(-1);
    }
    else if (pid == 0) { /* Proceso Hijo */
        printf("Hola, soy el hijo.\n");
        sleep(10);
        exit(0);
    }
    else { /* Proceso Padre */
        waitpid(pid, NULL, 0);
        printf ("El hijo terminó.\n");
        exit(0);
    }
}
```



## ■ **exec:**

- Ejecuta el programa indicado
- Asigna un nuevo espacio de memoria al proceso
- Se conserva el entorno del proceso y pid, ppid, uid, fd
- Los descriptores se ficheros se mantienen
- Carga datos iniciales en los segmentos
  - Rellena el PCB con valores iniciales de los registros y descripción de los segmentos
- No regresa en caso de éxito
  - Formas de llamada: execp(" ls" , " ls", "-l", "-a" ,NULL);
  - int execv(const char \*path, char \*const argv[]);
  - int execvp(const char \*file, char \*const argv[]): hace funciones de búsqueda en el path de la shell para encontrar el mandato
  - int execlp(const char \*file, const char \*arg, ...): se puede pasar como arg una lista de elementos "arg0", ..., "argn" acabados en NULL

# Ejecución de procesos



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
int main() {
    pid_t pid;
    pid = fork();
    int status;
    if (pid < 0) { /* Error */
        fprintf(stderr, "Falló el fork()");
        exit(-1);
    }
    else if (pid == 0) { /* Proceso Hijo */
        printf("Hola, soy el hijo.\n");
        execlp("ls", "ls", "-la", NULL);
        fprintf(stderr, "Se ha producido un error.\n");
        exit(1);
    }
    else { /* Proceso Padre */
        wait (&status);
        printf ("El hijo terminó.\n");
        exit(0);
    }
}
```



- Introducción a los procesos
- Creación y terminación de procesos
- **Comunicación entre procesos**
- Hebras
- Sincronización de procesos
- Planificación de la CPU

# Cooperación entre procesos



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Un proceso es **independiente** si no puede afectar o verse afectado por otros procesos del sistema.
- Un proceso es **cooperativo** si puede afectar o verse afectado por otros procesos del sistema.
- Ventajas de la cooperación entre procesos:
  - Compartir información
  - Acelerar los cálculos
  - Modularidad
  - Conveniencia

# Comunicación interprocesos



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- La cooperación entre procesos requiere mecanismos de **comunicación interprocesos (IPC)**. Puede consistir en:
  - Avisar a un proceso de la ocurrencia de eventos:
    - **Señales**. Mecanismo estándar para informar a un proceso que ha ocurrido un evento
    - **Semáforos**. Mecanismo de bloqueo de un proceso hasta que ocurra un evento. (ver Sincronización de procesos)
  - Transferencia de datos entre procesos:
    - **Pipes**. Permite a un proceso hijo comunicarse con su padre a través de un canal de comunicación.
    - **Memoria compartida**. Se establece una región de memoria a la que pueden acceder los procesos cooperativos. Los procesos se comunican escribiendo y leyendo datos en la memoria compartida.
    - **Paso de mensajes**. Permite a los procesos comunicarse sin compartir el espacio de direcciones de memoria.



- Las señales son un mecanismo de sincronización entre procesos en S.O. compatibles con POSIX.
- Se utilizan para informar a un proceso de la ocurrencia de un evento o error.
- Las señales tienen frente al proceso el mismo comportamiento que las interrupciones frente al procesador:
  - Se interrumpe la ejecución del proceso.
  - Se salta a la rutina de tratamiento de la señal.
  - Una vez ejecutada la rutina de tratamiento, continua la ejecución del proceso.



- Cuando un proceso recibe una señal puede:
  - Ignorar la señal.
  - Invocar la rutina de tratamiento por defecto.
  - Invocar una rutina de tratamiento propia.
- Hay varias señales definidas en *signal.h*.
  - Algunas se pueden ignorar, otras no.
  - Algunas se pueden reprogramar, otras no.



- Algunas señales importantes son:

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	REPROGRAMABLE	IGNORABLE
SIGKILL (9)	Destrucción inmediata del proceso	No	No
SIGSTOP (19)	Detiene el proceso (Ctrl+Z)	No	No
SIGTERM (15)	Terminación del proceso de forma normal	Sí	Sí
SIGINT (2)	Interrumpe el proceso (Por defecto termina el proceso) (Ctrl+C)	Sí	Sí
SIGUSR1 y SIGUSR2	Para uso del programador (Por defecto termina el proceso)	Sí	Sí
SIGCHLD	Un hijo ha terminado	Sí	Sí

- La llamada al sistema *signal(2)* permite establecer qué acción tomar cuando se recibe una determinada señal:
  - `signal(int signum, sighandler_t handler)`: asigna a la señal de número *signum* el manejador *handler*. El manejador puede ser:
    - Una función a implementar `void handler(int sig)`
    - Una acción a realizar como:
      - **SIG\_DFL**: Acción por defecto de la señal
      - **SIG\_IGN**: Ignora la señal



- La llamada *kill(2)* permite enviar una señal a un proceso.
  - `kill(pid_t pid, int sig)`: envía la señal de número *sig* al proceso con identificador *pid*.
- También existe el mandato *kill(1)* desde consola:
  - `kill -signal pid` : envía la señal de número *signal* al proceso con identificador *pid*



- **Ejemplo con un solo proceso**

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

void manejador(int sig) {
    printf("Recibida señal %d!\n",sig);
}

int main() {
    signal(SIGINT, manejador);
    printf("Esperando señal.\n");
    pause();
    printf("Saliendo.\n");
    return 0;
}
```



## ■ Ejemplo con 2 procesos

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

int pid;
int main() {
    signal(SIGUSR1, manejador);
    pid = fork();
    if( pid == 0 ) // Hijo
    {
        while(1);
    }
    else // Padre
    {
        kill(pid, SIGUSR1);
        wait(NULL);
        printf("El hijo terminó\n");
    }
    return 0;
}
```

```
void manejador(int sig)
{
    if(pid == 0){
        printf("Hijo: Recibida señal %d\n", sig);
        kill(getppid(), SIGUSR1);
        exit(0);
    } else {
        printf("Padre: Recibida señal %d\n", sig);
    }
}
```

- Las tuberías o *pipes* son un mecanismo de comunicación con dos extremos:
  - En un extremo se puede escribir y en el otro se puede leer.
  - El extremo de lectura es bloqueante. Si el proceso que lee no tiene nada que leer, se bloquea hasta que pueda leer algo.
- Se manipulan a través de descriptores de ficheros.
  - Sobre un pipe se pueden utilizar las llamadas al sistema *read(2)*, *write(2)*, *close(2)*.
  - Los pipes también pueden manipularse mediante el tipo de datos **FILE \***.
    - Primero se convierte el descriptor en FILE \* mediante *fdopen(3)*
    - Después, sobre el FILE \* es posible utilizar las funciones *fread(3)*, *fwrite(3)*, *fclose(3)*, *fputs(3)*, *fgets(3)*, etc.



- La llamada al sistema *pipe(2)* tiene la siguiente sintaxis:
  - int pipe(int filedes[2]): crea una tubería y asigna el descriptor de fichero de la entrada a *filedes[1]* y el descriptor de la salida a *filedes[0]*.
- Los pipes son **unidireccionales**:
  - Se debe cerrar el descriptor que no se usa
  - Si se necesita comunicación bidireccional entre A y B es necesario crear dos pipes: uno para enviar de A a B, y otro para enviar de B a A.

```
int p[2]
...
...
pipe(p);
```

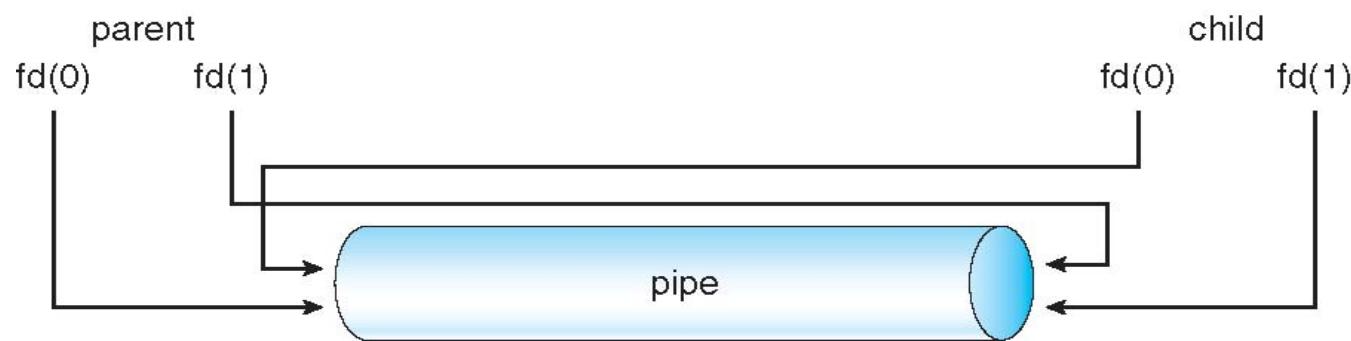


# Pipe + fork



- El proceso hijo hereda los descriptores de los ficheros y pipes abiertos por el padre al hacer **fork()**

```
int fd[2], pid;  
.  
. . .  
pipe(fd);  
pid = fork();  
. . .
```

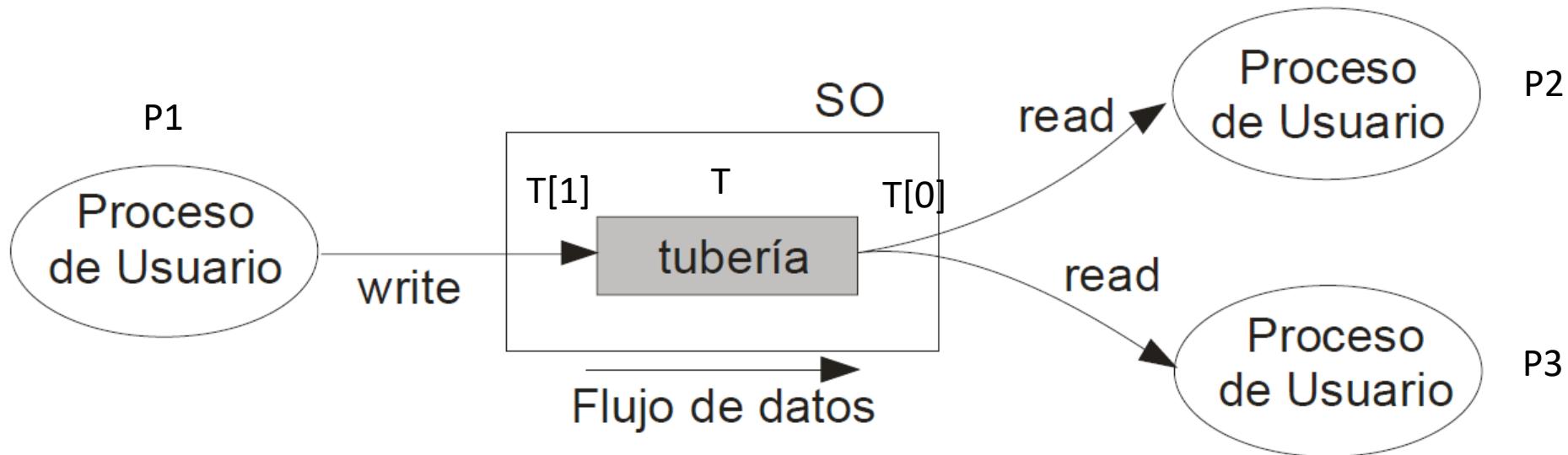


- Antes de usar el pipe, si un proceso no va a usar alguno de los descriptores del mismo, debe cerrarlos.
- Después de usar el pipe, cada proceso deberá cerrar los descriptores que aún están abiertos.

# Pipes: comunicación unidireccional



S I S T E M A S O P E R A T I V O S



- Se pueden conectar varios procesos al mismo pipe pero la transferencia siempre debe ir en la misma dirección:
  - Antes de empezar la comunicación:
    - P1 cierra T[0].
    - P2 y P3 cierran T[1].
  - Despues de realizar la comunicación:
    - P1 cierra T[1].
    - P2 y P3 cierran T[0].

# Ej: Pipes con descriptores de fichero



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char **argv) {
    int pipe_des[2], pid;
    char buf[1024];
    pipe(pipe_des);
    pid = fork();
    if(pid == 0) { // Hijo
        puts("Hijo: Hola, soy el hijo");
        close(pipe_des[1]); //El hijo solo recibe, cierro el pipe[1]
        read(pipe_des[0], buf, 1024);
        close(pipe_des[0]);
        printf("Hijo: Recibido el siguiente mensaje: \"%s\"\n", buf);
    }
    else { // Padre
        puts("Padre: Hola, soy el padre");
        close(pipe_des[0]); //El padre solo envía, cierro el pipe[0]
        write(pipe_des[1], "Hola hijo", 10);
        close(pipe_des[1]);
        wait(NULL);
        puts("Padre: El hijo terminó");
    }
    exit(0);
}
```

# Ej: Pipes con FILE \*



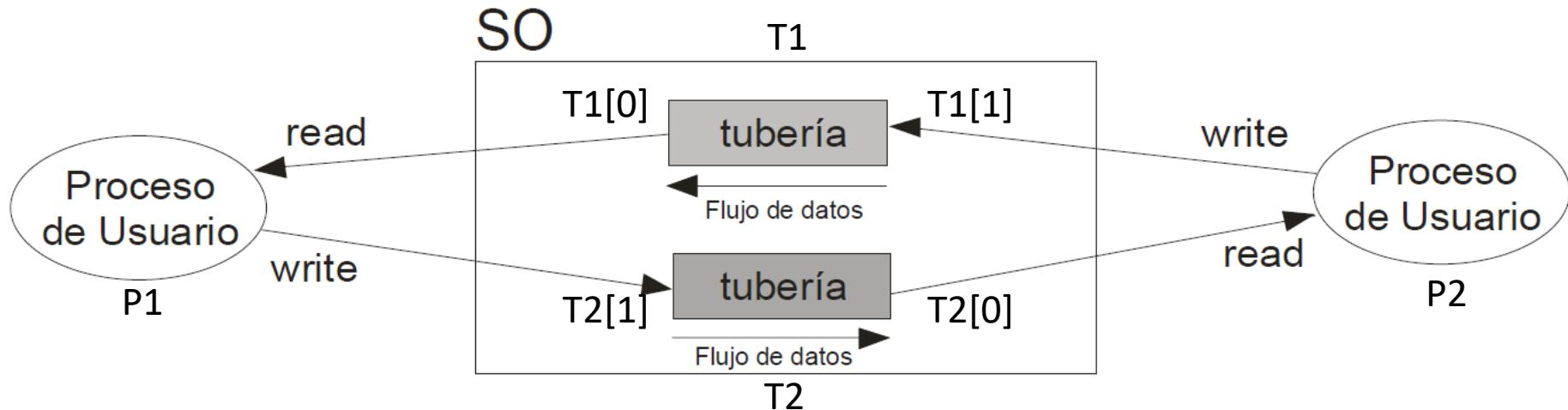
S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char **argv) {
    int pipe_des[2], pid;
    char buf[1024];
    FILE *fd;
    pipe(pipe_des);
    pid = fork();
    if(pid == 0) { // Hijo
        close(pipe_des[1]); //El hijo solo recibe, cierro el pipe[1]
        fd = fdopen(pipe_des[0], "r"); // Tenemos el FILE * con el descriptor del pipe
        fgets(buf, 1024, fd);
        fclose(fd);
        printf("Hijo: Recibido el siguiente mensaje: \"%s\"\n ", buf);
    }
    else { // Padre
        close(pipe_des[0]); //El padre solo envía, cierro el pipe[0]
        fd = fdopen(pipe_des[1], "w"); // Tenemos el FILE * con el descriptor del pipe
        fprintf(fd,"Hola hijo");
        fflush(fd);
        fclose(fd);
        wait(NULL);
        puts("Padre: El hijo terminó");
    }
    exit(0);
}
```

# Pipes: comunicación bidireccional



S I S T E M A S O P E R A T I V O S



- Si se necesita comunicación bidireccional entre dos procesos A y B es necesario crear dos pipes: uno para enviar de A a B, y otra para enviar de B a A.
  - Antes de empezar la comunicación:
    - P1 cierra T1[1] y T2[0].
    - P2 cierra T1[0] y T2[1].
  - Despues de realizar la comunicación:
    - P1 cierra T1[0] y T2[1].
    - P2 cierra T1[1] y T2[0].

# Ejemplo: redirecciones con pipes



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Se puede comunicar dos procesos redirigiendo la salida estándar del primero a la entrada estándar del segundo mediante pipes y dup.
- Ejemplo: comunicación padre-hijo donde ambos hacen **exec()**.

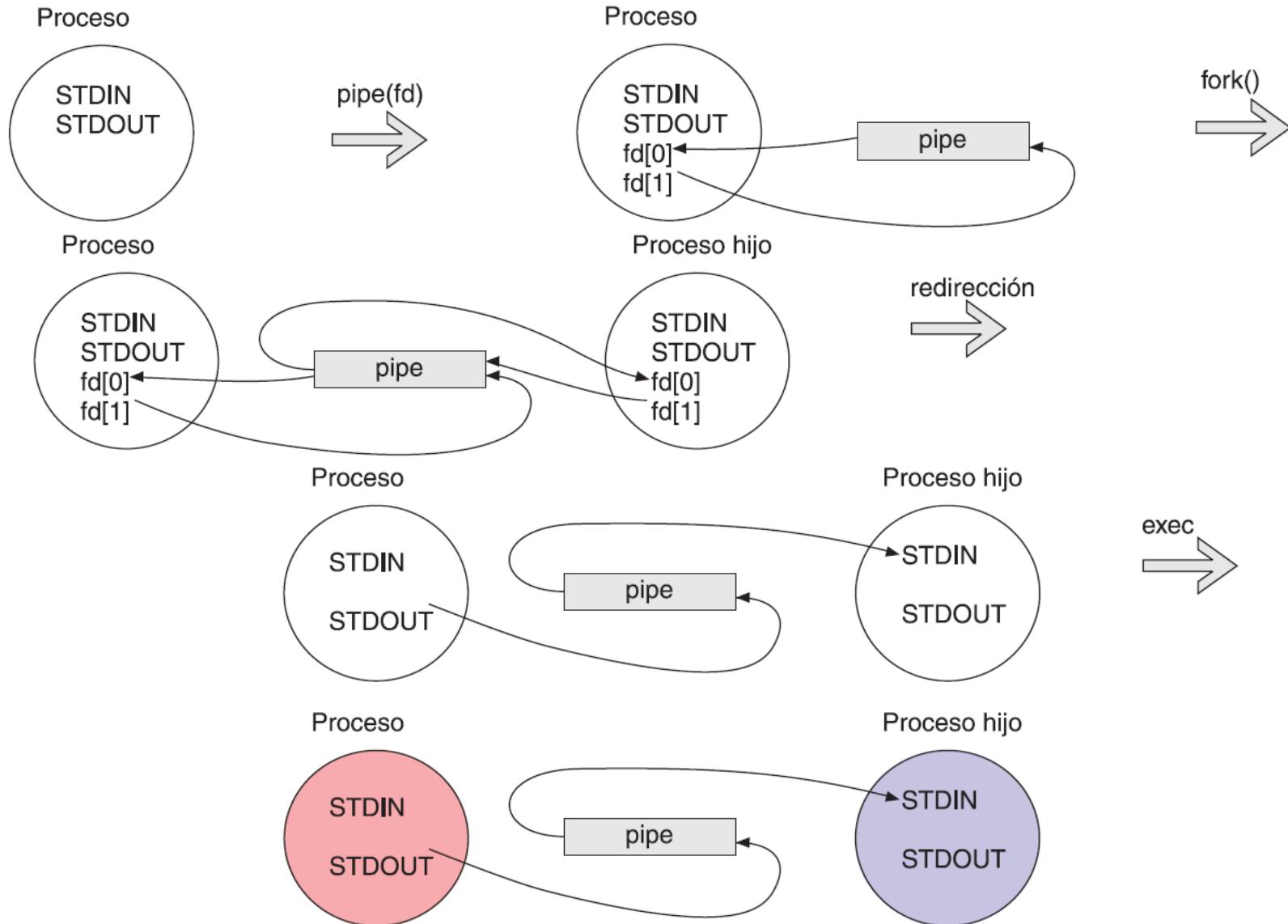
```
int fd[2], pid;  
.  
. . .  
pipe(fd);  
pid = fork();  
// PROCESO PADRE  
if (pid > 0) {  
    close(fd[0]);  
    close(STDOUT_FILENO);  
    dup(fd[1]);  
    close(fd[1]);  
    exec...(...);  
    ...  
}  
.
```

```
// PROCESO HIJO  
else if (pid == 0) {  
    close(fd[1]);  
    close(STDIN_FILENO);  
    dup(fd[0]);  
    close(fd[0]);  
    exec...(...);  
    ...  
}
```

# Ejemplo: redirecciones con pipes (cont.)



S I S T E M A S O P E R A T I V O S



# Memoria compartida



## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

- El S.O proporciona algún tipo de mecanismo que permita a dos o más procesos compartir un segmento de memoria.
- Los procesos son los responsables del formato de los datos compartidos y de su ubicación. El S.O no interviene.
- Llamadas al sistema:
  - *shmget(...)/shmctl()*: crear/eliminar segmento de memoria compartida
  - *shmat(...)/shmdt(...)*: asociar/desconectar un segmento de memoria compartida al espacio de direcciones del proceso

# Paso de mensajes



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

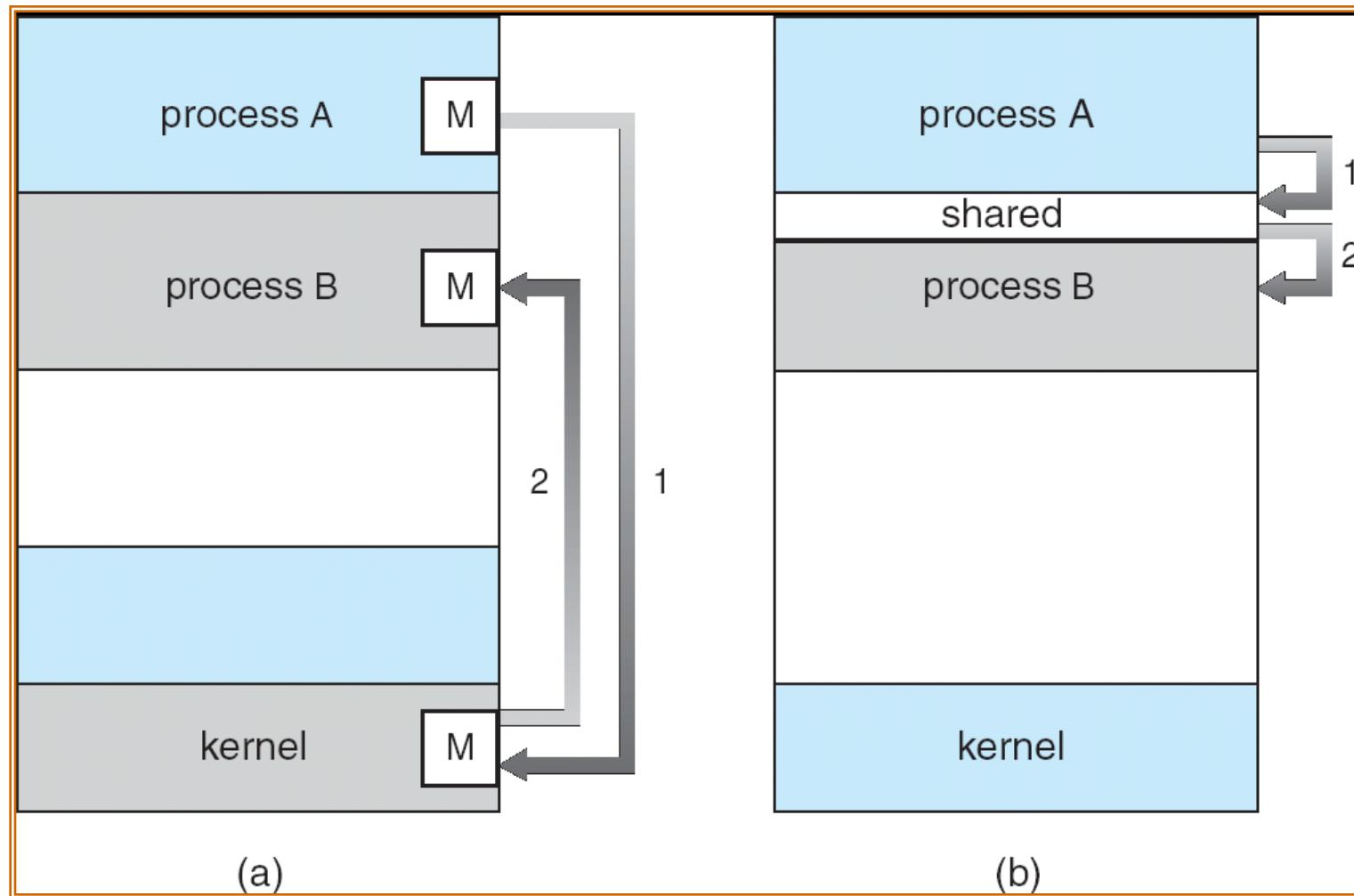
- El paso de mensajes permite a los procesos comunicarse sin compartir el espacio de direcciones.
- Especialmente útil si los procesos que se comunican están en máquinas diferentes (memoria distribuida)
- Dos operaciones básicas: ***send*** y ***receive***.
- Si dos procesos quieren comunicarse:
  - Primero establecen enlace de comunicación.
  - Intercambiar mensajes mediante ***send/receive***
- Suele ocultar detalles de implementación:
  - Físicos: localización, red, . . .
  - Lógicos: comunicación directa/indirecta, síncrona/asíncrona, . . .

- **Sincronización:** el paso de mensajes puede ser bloqueante o no bloqueante.
  - **Bloqueante o síncrono:**
    - Envío: el proceso que envía un mensaje se bloquea hasta que el receptor recibe el mensaje.
    - Recepción: el proceso que recibe se bloquea hasta que hay un mensaje disponible.
  - **No bloqueante o asíncrono:**
    - Envío: el proceso transmisor envía el mensaje y continúa trabajando.
    - Recepción: el proceso que recibe extrae un mensaje válido o un mensaje nulo.

# Paso de mensajes vs. Memoria compartida



S I S T E M A S O P E R A T I V O S





- Introducción a los procesos
- Planificación
- Creación y terminación de procesos
- Comunicación entre procesos
- **Threads**
- Sincronización de procesos
- Planificación de la CPU

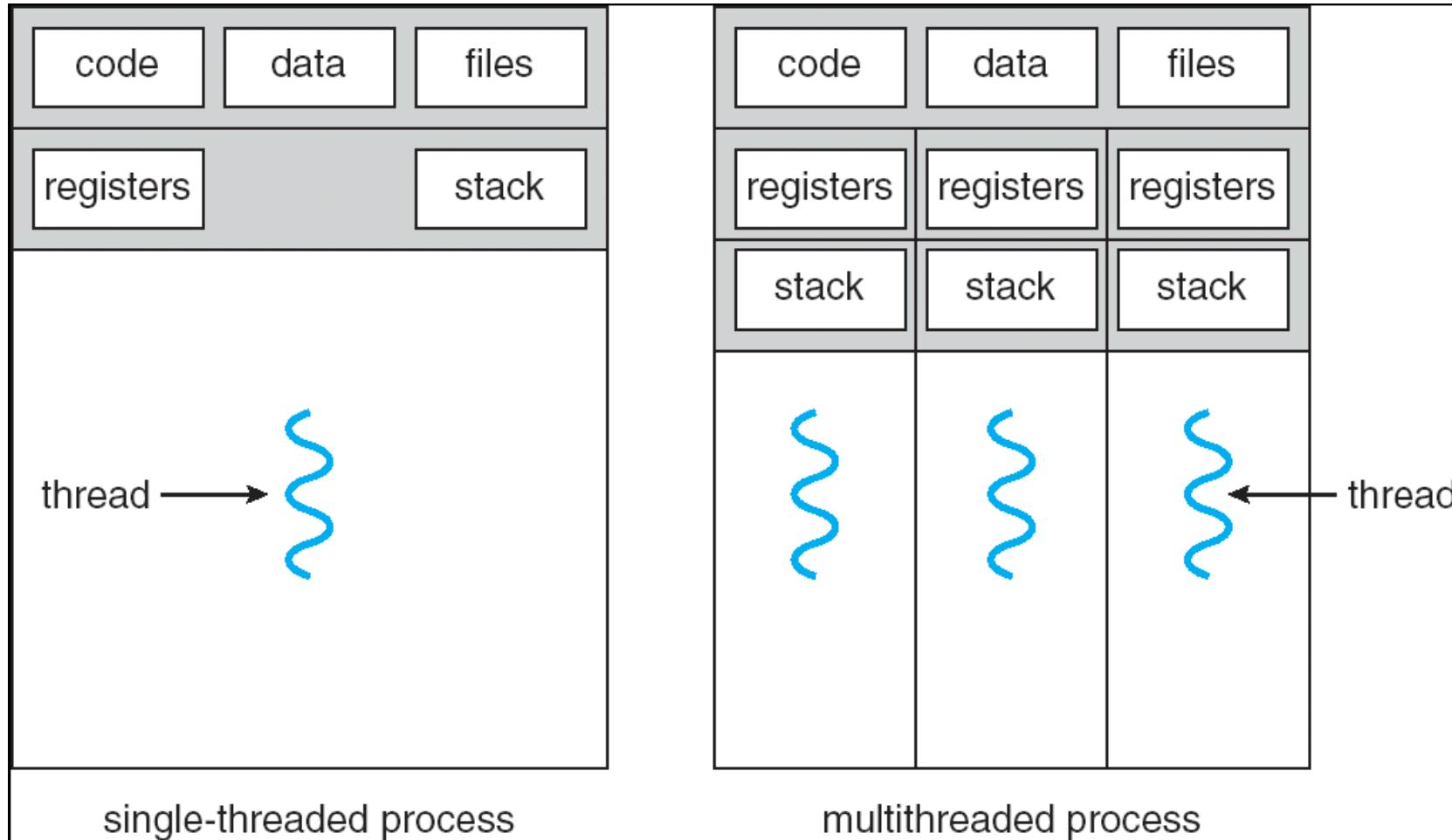


- Las hebras, hilos o *threads* son una unidad básica de utilización de la CPU.
- Comparten con otros *threads* la sección de código, la sección de datos y otros recursos.
- Cada *thread* tiene su propio contador de programa, conjunto de registros de la CPU y pila, además de un identificador único.

# Threads



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S





- Las ventajas de la programación multihilo son:
  - **Capacidad de respuesta:** permite a los programas continuar atendiendo al usuario aunque alguna de las tareas que esté realizando el programa sean muy largas.
  - **Compartición de recursos:** por defecto los threads comparten la memoria y recursos del proceso al que pertenecen.
  - **Economía:** es más “barato” en términos de uso de memoria y otros recursos crear nuevos threads que crear nuevos procesos.
  - **Utilización en arquitecturas multiprocesador:** permiten desarrollar aplicaciones paralelas de memoria compartida sin necesidad de realizar cambios de contexto.



# Threads

S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Dos tipos:
  - **Threads de usuario:** proporcionados por una librería de usuario:
    - Pthreads
    - Threads de Win32
    - Java Thread
  - **Threads del kernel:** proporcionados directamente por el sistema operativo.



- Pthread es una API para la creación y sincronización de threads:
  - Para utilizarla se debe incluir la directiva `#include <pthread.h>`
  - Para compilar haciendo uso de la librería Pthread se debe incluir “`-lpthread`” en la compilación. Ej: `gcc file.c -lpthread -o programa`
  - Tipo de datos con identificador TID (`pthread_t`)
  - Cada thread tiene un conjunto de atributos (`pthread_attr_t`)
  - Se crea una nuevo thread con la función:  
`pthread_create(pthread_t *tid, pthread_attr_t *attr, void *funcion, void *param)`
  - En `funcion` se debe implementar la función que ejecuta la nueva hebra. Los threads siempre finalizan su ejecución con  
`pthread_exit(void *res)`
  - Para la sincronización de threads se utiliza  
`pthread_join(pthread_t tid, int **res)`. El thread que la llama espera a que finalice la hebra llamada antes de continuar. `res` devuelve el valor de retorno.



```
#include <pthread.h>

int sum = 0;
void *suma(void *num) { // hebra
    int limite = *(int *) num;

    for(int i = 0; i <= limite; i++)
        sum += i;
    pthread_exit(NULL);
}

int main() {
    pthread_t tid;
    int N = 10;

    pthread_create(&tid, NULL, suma, (void *) &N);
    pthread_join(tid, NULL);
    printf("SUMA = %d\n", sum); //SUMA = suma de los N primeros numeros
    return 0;
}
```



- Introducción a los procesos
- Planificación
- Creación y terminación de procesos
- Comunicación entre procesos
- Hebras
- **Sincronización de procesos**
- Planificación de la CPU

# Condiciones de carrera



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Varios procesos o threads en ejecución.
- Comparten datos.
- El acceso concurrente o en paralelo a esos datos puede llevar a resultados erróneos:
- Ejemplo: problema de productor/consumidor.
  - Se tiene una variable “cuenta” que contiene el número de elementos en el buffer.

# Memoria compartida



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Problema del productor-consumidor.
  - Un buffer con capacidad para N elementos, compartido entre los dos procesos.
  - El productor inserta elementos en el buffer, y el consumidor los extrae.

```
//DATOS COMPARTIDOS
#define BUFFER_SIZE 10
typedef struct {
    .
    .
} item;

item
buffer[BUFFER_SIZE];
int in = 0;
int out = 0;
int cuenta = 0;
```

```
while (true) { //PRODUCTOR
    while (cuenta == BUFFER_SIZE); /*No
                                    hacer nada */
    buffer[in] = produce_item();
    in = (in + 1) % BUFFER_SIZE;
    cuenta++;
}

while (true) { //CONSUMIDOR
    while (cuenta == 0);/*No hacer nada*/
    consume_item(buffer[out]);
    out = (out + 1) % BUFFER_SIZE;
    cuenta--;
}
```

# Condiciones de carrera



- cuenta++ en ensamblador:

register1 = cuenta

register1 = register1 + 1

cuenta = register1

- cuenta-- en ensamblador:

register2 = cuenta

register2 = register2 - 1

cuenta = register2

- Supongamos que *cuenta* vale 5, y los dos elementos están ejecutándose. Puede suceder que ambos lleguen a la instrucción que modifica *cuenta* y se ejecute lo siguiente:

T0: productor

T1: productor

T2: consumidor

T3: consumidor

T4: productor

T5: consumidor

```
register1 = cuenta {register1 = 5}
register1 = register1 + 1 {register1 = 6}
register2 = cuenta {register2 = 5}
register2 = register2 - 1 {register2 = 4}
cuenta = register1 {cuenta = 6 }
cuenta = register2 {cuenta = 4}
```

- Se ha llegado al valor de *cuenta* = 4 que es incorrecto.

# Condiciones de carrera



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

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

//variable compartida
volatile int j = 0;

void *th_func1(void *arg) {
    int i;
    for(i = 0; i < 10000; i++)
        j = j + 1;
    pthread_exit(NULL);
}

int main() {
    pthread_t th1, th2;

    pthread_create(&th1, NULL, th_func1, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, th_func1, NULL);

    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);

    printf("j = %d\n", j); // OJO: ¿j vale 20000?
}
```

# Condiciones de carrera



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Esto sucede por permitir que ambos procesos manipulen variables compartidas de forma concurrente.
- Cuando varios procesos acceden a los mismos datos de forma concurrente y el resultado de la ejecución depende del orden concreto en que se realicen los accesos, se dice que hay una **condición de carrera**.
- Se necesitan mecanismos que impidan estas situaciones.

# Sección crítica



- Sistema con  $n$  elementos de cómputo coordinándose.
- Cada elemento tiene una parte del código llamado **sección crítica** donde se accede a variables y recursos compartidos.
- Cuando un elemento está ejecutando su sección crítica, ningún otro puede ejecutar su correspondiente sección crítica.
- El *problema de la sección crítica* consiste en diseñar un protocolo que permita cooperar

```
do {  
    Sección de  
    entrada;  
  
    SECCIÓN CRÍTICA  
  
    Sección de  
    salida;  
  
    SECCIÓN RESTANTE  
} while (TRUE);
```



# Sección crítica

S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Cualquier solución al problema de la sección crítica debe cumplir:
  - **Exclusión mutua**: si un elemento está ejecutando su sección crítica, ningún otro puede ejecutar su sección crítica.
  - **Progreso**: si ningún elemento está ejecutando su sección crítica y hay varios que quieren entrar en su sección crítica, solo los que están en su sección restante pueden participar en la decisión de quién entra en la sección crítica, y esta decisión no puede posponerse indefinidamente.
  - **Espera limitada**: existe un límite de veces que se permite a otros entrar en la sección crítica después de que otro lo haya solicitado y antes de que se le conceda.
- Se utilizan herramientas que ofrecen abstracciones más simples, como los semáforos, mutex, monitores, etc



# Semáforos

S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Un semáforo es una variable entera a la que solamente se accede mediante dos operaciones atómicas: *wait* y *signal*.
- Las operaciones *wait* y *signal* deben ser **atómicas** (se ejecutan de principio a fin sin interrupciones), por lo que internamente utilizarán inhibición de interrupciones, *TestAndSet*, *Swap*, etc
- **wait:**

```
wait(s){  
    S--;  
    if (S < 0) {  
        añadir el proceso a lista de bloqueados  
        block(); }  
}
```

- **signal:**

```
signal(s){  
    S++;  
    if(S <= 0) {  
        sacar un proceso P de la lista  
        wakeup(P); }  
}
```

- A menudo se diferencia entre semáforo binario y semáforo contador:
  - Binario: solo puede tomar valor 0 o 1. Se denomina **mutex** (*Mutual Exclusion*) y suele utilizarse para el acceso a una sección crítica
  - Contador: puede tomar valores dentro de un rango.
- Con un semáforo binario se puede resolver el problema de la sección crítica:

```
//Inicializado a 1 y compartido por varios procesos  
Semáforo S;
```

```
wait(S);  
    SECCIÓN CRÍTICA  
signal(S);
```



- También se pueden utilizar para diversos problemas de sincronización:
  - Ejemplo: 2 procesos P1 y P2, con 2 instrucciones S1 y S2 que se quiere garantizar que S1 se ejecuta antes que S2. Se utiliza un semáforo S inicializado a 0:

```
//P1                                //P2
S1;                                wait(S);
signal(S);                          S2;
```

- Los semáforos contadores se pueden utilizar para controlar el acceso a un determinado recurso formado por un número finito de instancias.
  - Ej: control de acceso de un parking en base a plazas disponibles



- Interbloqueo: dos o más elementos están esperando indefinidamente por un evento que solo puede generar uno de los bloqueados.
- Ejemplo: 2 semáforos S y Q inicializados a 1, y 2 elementos ejecutando P0 y P1.

P0

```
wait (S);  
wait (Q);
```

.

.

.

```
signal (S);  
signal (Q);
```

P1

```
wait (Q);  
wait (S);
```

.

.

.

```
signal (Q);  
signal (S);
```



- Problema de productor-consumidor
  - Semáforos compartidos por los dos procesos: *seccion* inicializado a valor 1, *hay\_dato* inicializado a valor 0, *hay\_hueco* inicializado a valor N

```
//PRODUCTOR
while (true) {
    //produce un item
    wait (hay_hueco);
    wait (seccion);
    . . .
    //inserta el item
    . . .
    signal (seccion);
    signal (hay_dato);
}
```

```
//CONSUMIDOR
while (true) {
    wait (hay_dato);
    wait (seccion);
    . . .
    //extrae un item
    . . .
    signal (seccion);
    signal (hay_hueco);
    . . .
    //consume el item
}
```

# Semáforos - Implementación



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Los semáforos nos son parte del estándar de *Pthread*, pero se pueden utilizar conjuntamente.
- Para usarlos se debe incluir la directiva: `#include <semaphore.h>`
- **Tipo de datos “semáforo”:** `sem_t`
- **Inicialización de un semáforo:** `sem_init(*sem, int shared, int valor)`
  - \*`sem`: puntero a una variable de tipo `sem_t`
  - `shared`: si se puede utilizar solo entre threads creados dentro del que inicia el semáforo (0) o se puede heredar en fork (!=0)
  - `valor`: valor inicial
- **Destrucción de un semáforo:** `int sem_destroy (sem_t *sem);`
- Las operaciones **wait** y **signal** vistas se llaman:
  - `sem_wait(*sem)`: donde `sem` es un puntero a una variable `sem_t`
  - `sem_post(*sem)`: donde `sem` es un puntero a una variable `sem_t`

# Semáforos - Implementación



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

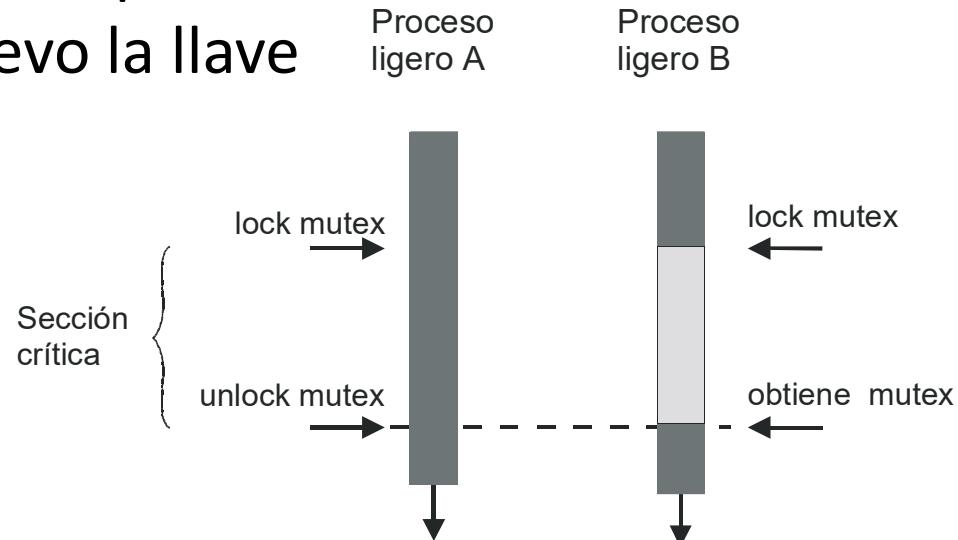
```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>

volatile int j = 0;
sem_t sem;

void *th_func1(void *arg) {
    int i;
    for(i = 0; i < 10000; i++) {
        sem_wait(&sem); //Entrada en la sección crítica
        j = j + 1;
        sem_post(&sem); //Salida de la sección crítica
    }
    pthread_exit(NULL);
}

int main() {
    pthread_t th1, th2;
    sem_init(&sem, 0, 1);
    pthread_create(&th1, NULL, th_func1, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, th_func1, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);
    sem_destroy(&sem);
    printf("j = %d\n", j);      // j vale 20000
    return 0;
}
```

- Mecanismo liviano idóneo para threads
- Los semáforos son más adecuados para procesos
- *Mutual Exclusion*
  - Semáforo binario sin memoria
    - Cerradura cerrada, llave puesta
    - Abro y cierro y me llevo la llave
- Dos acciones atómicas  
`mutex_lock(m);`  
`<<sección crítica>>`  
`mutex_unlock(m);`
- No se puede hacer unlock sin haber hecho lock antes





- **Tipo de datos “mutex”:** *pthread\_mutex\_t*
- **Inicialización de un mutex:** *int pthread\_mutex\_init (pthread\_mutex\_t \*mutex, pthread\_mutexattr\_t \*attr)*
  - \**mutex*: puntero a una variable de tipo mutex
  - \**attr*: atributos del mutex
- **Destrucción de un mutex:** *int pthread\_mutex\_destroy (pthread\_mutex\_t \*mutex)*
- Operaciones básicas:
  - *int pthread\_mutex\_lock (pthread\_mutex\_t \*mutex)*: competir por coger el mutex
  - *int pthread\_mutex\_unlock (pthread\_mutex\_t \*mutex)*: devolver el mutex

# Mutex - Implementación



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

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

volatile int j = 0;
pthread_mutex_t mutex;      /* Acceso a sección crítica */

void *th_func1(void *arg) {
    int i;
    for(i = 0; i < 10000; i++) {
        pthread_mutex_lock(&mutex); //Entrada en la sección crítica
        j = j + 1;
        pthread_mutex_unlock(&mutex); //Salida de la sección crítica
    }
    pthread_exit(NULL);
}

int main() {
    pthread_t th1, th2;
    pthread_mutex_init(&mutex, NULL); /* Inicializar mutex */
    pthread_create(&th1, NULL, th_func1, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, th_func1, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);
    pthread_mutex_destroy(&mutex);    /* Destruir mutex*/
    printf("j = %d\n", j);          // j vale 20000
    return 0;
}
```

# Problema Retirada del cajero



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Modelar un sistema bancario simplificado utilizando threads en el que un empleado recibe su nómina de forma automática.
- El banco actualiza el saldo de la cuenta del empleado cuando se procesa la nómina.
- El empleado, por su parte, desea realizar retiros en efectivo de 1000€ de manera periódica. Para garantizar que la operación se realice correctamente, el empleado debe verificar que el saldo de su cuenta sea superior a 1000€ antes de realizar el retiro.

¿Cuál es el recurso compartido?

¿Quiénes son los threads y qué hacen?

¿Cuáles son las secciones críticas?

¿Cómo voy a protegerlas?

# Problema Retirada de cajero (incorrecto)

S I S T E M A S O P E R A T I V O S

```
// Intento incorrecto de solución
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>
#define CANTIDAD_A_RETIRAR 1000
#define NOMINA 3000
volatile int saldo = 0;
pthread_mutex_t mutex_saldo; /* Acceso a sección crítica */
void *banco(void *arg);
void *empleado(void *arg);

int main() {
    pthread_t th1, th2;
    pthread_mutex_init(&mutex_saldo, NULL); /* Inicializar mutex */
    pthread_cond_init(&cond_saldo, NULL);
    pthread_create(&th1, NULL, banco, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, empleado, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);
    pthread_mutex_destroy(&mutex_saldo); /* Destruir mutex*/
    return 0;
}
void *banco(void *arg) {
    while (1) {
        sleep(5); // Simulación de la llegada de la nómina
        pthread_mutex_lock(&mutex_saldo);
        saldo += NOMINA; // Simulación de un ingreso de nómina
        pthread_mutex_unlock(&mutex_saldo);
    }
}
```

# Problema Retirada de cajero (incorrecto)

S I S T E M A S   O P E R A T I V O S



```
// Intento incorrecto de solución

void *empleado(void *arg) {
    while (1) {

        pthread_mutex_lock(&mutex_saldo);

        printf("Empleado dentro de la sección crítica...\n");

        while (saldo < CANTIDAD_A_RETIRAR) {// Mientras no puedo continuar

            printf("Empleado esperando a que se cumpla la condición...\n");
            sleep(5); //Espero a ver si se cumple lo que necesito

            // Problema: si entré aquí, ¡ya nunca se va a cumplir!
            // ¿Por qué?
        }

        saldo -= CANTIDAD_A_RETIRAR;

        pthread_mutex_unlock(&mutex_saldo);

        // Simulación de otras actividades del empleado
        sleep(2);
    }
}
```



# Condiciones

## S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- A veces, puede pasar que un thread A, una vez que ha hecho `mutex_lock` y ha conseguido el mutex, **necesite una condición deseada**, sin la cual, no puede continuar.
- Que no se cumpla esta condición deseada **le impide continuar** realizando su labor en la sección crítica del thread A.
- Cuando dicha condición solo la puede cambiar otro thread B **desde su correspondiente sección crítica**, dicho thread B necesita el mutex que está en posesión del thread A para poder entrar en su sección crítica, cambiar la condición y avisar al thread A.
- Podemos resolver este problema de forma sencilla usando el mecanismo de **mutex con condición**.



# Condiciones

## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

### Ejemplo Problema Retirada de Cajero

En la función empleado puede pasar que el empleado adquiera el mutex y **no pueda continuar** porque no sea cumple **la condición deseada de que el saldo sea mayor que 1000**. La condición que le impide continuar es que el saldo sea menor que 1000.

El empleado hace **mutex\_lock** y consigue el mutex que protege el recurso compartido saldo

Pero, de pronto, se encuentra que saldo es menor que 1000 (**condición que le impide seguir** y extraer el dinero).

- a) Por ello, deberá **liberar el mutex temporalmente** (para que el thread banco pueda aumentar el saldo)
- b) Esperar que le avisen de que el saldo es mayor que 1000 (**condición propia deseada que le permitiría seguir**)
- c) Antes de continuar, **deberá conseguir el mutex de nuevo**, puesto que ya se encontraba en su sección crítica y volver a comprobar la condición.

Tendrá en cuenta si ha provocado que se cumpla alguna **otra condición** que desee otro proceso

- A veces el *thread* que está en la sección crítica no puede continuar, porque no se cumple cierta **condición** que sólo podría cambiar otro *thread* desde dentro de la sección crítica. Es preciso:
  - Liberar temporalmente el mutex que protege la sección crítica mientras se espera a que la condición se dé.
  - Sin abandonar la sección crítica.
  - De forma atómica.
- Acciones atómicas:

```
condition_wait(c,m) {  
    mutex_unlock(m);  
    <<esperar aviso>>  
    mutex_lock(m);  
}  
condition_signal(c) {  
    if (<<alguien esperando<<)  
        <<avisar que siga>>;  
}
```

# Mutex con condición



## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

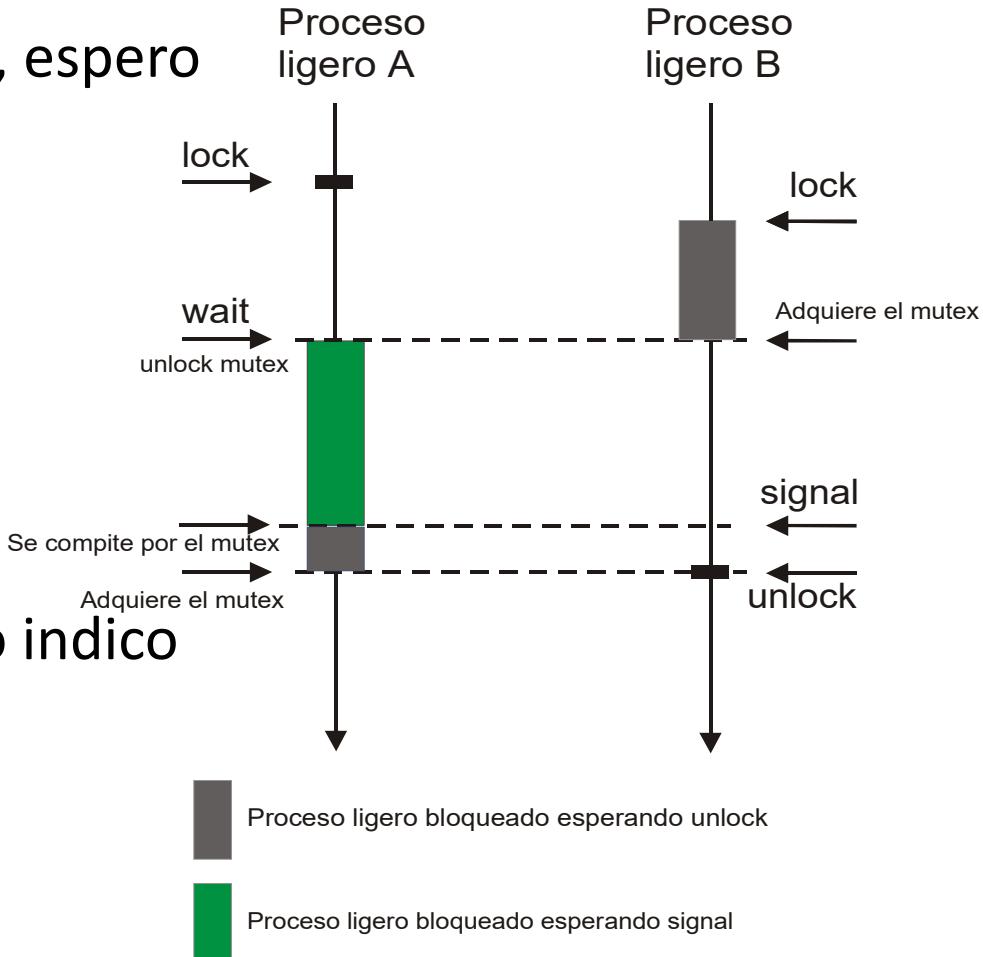
- A: Mientras no pueda seguir, espero

```
mutex_lock(mutex);
<<sección crítica...>>
while (<<no puedo continuar>>)
    condition_wait(cond, mutex);
<<...sección crítica>>
mutex_unlock(mutex);
```

- Fundamental utilizar **while**

- B: Si alguien podría seguir, lo indico

```
mutex_lock(mutex);
<<sección crítica...>>
if (<<se podría continuar>>)
    condition_signal(cond);
<<...sección crítica>>
mutex_unlock(mutex);
```



# Condiciones - Implementación



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- **Tipo de datos “condición”:** *pthread\_cond\_t*
- **Inicialización de una condición:** *int pthread\_cond\_init (pthread\_cond\_t \*cond, pthread\_condattr\_t \*attr)*
  - \**cond*: puntero a una variable de tipo condición
  - \**attr*: atributos de la condición
- **Destrucción de una condición:** *int pthread\_cond\_destroy (pthread\_cond\_t \*cond)*
- Operaciones básicas:
  - *int pthread\_cond\_wait (pthread\_cond\_t \*cond, pthread\_mutex\_t \*mutex)*: Sin salir de la sección crítica, libera temporalmente el mutex que la protege, para esperar a que se cumpla la condición
  - *int pthread\_cond\_signal (pthread\_cond\_t \*cond)*: Señalar un cambio que permitiría continuar a uno de los hilos que esperan en la condición
  - *int pthread\_cond\_broadcast (pthread\_cond\_t \*cond)*: Señalar un cambio que permitiría continuar a todos los hilos que esperan en la condición



# Condiciones

## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

- Generalicemos la solución:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);           //Intento conseguir el mutex
```

```
<<comienzo de la sección crítica>>
```

```
// Mientras no se cumpla mi condición deseada, es decir,  
// mientras se cumpla la condición que me impide continuar  
while(<<condición que me impide continuar>>) //cond que impide seguir  
    //a) Libero temporalmente el mutex y me bloqueo hasta que  
    //b) me avisen de que se cumple mi condición deseada  
    //c) y consiga el mutex de nuevo  
    pthread_cond_wait(&cond_deseada_propia, &mutex);
```

```
<<Ejecuto en exclusión mutua el resto de mi sección crítica>>
```

```
// Antes de liberar el mutex, veo si he provocado la condición que desea  
// algún otro thread y, en este caso, y le aviso  
pthread_cond_signal(&cond_deseada_ajena);
```

```
pthread_mutex_unlock(&mutex);           //Libero el mutex
```

# Problema Retirada de cajero



S I S T E M A S O P E R A T I V O S

```
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>
#include <unistd.h>
#define CANTIDAD_A_RETIRAR 1000
#define NOMINA 3000

volatile int saldo = 0;

pthread_mutex_t mutex_saldo; /* Acceso a sección crítica */
pthread_cond_t cond_saldo_mayor1000;

void *banco(void *arg);
void *empleado(void *arg);

int main() {
    pthread_t th1, th2;
    pthread_mutex_init(&mutex_saldo, NULL); /* Inicializar mutex */
    pthread_cond_init(&cond_saldo_mayor1000, NULL);
    pthread_create(&th1, NULL, banco, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, empleado, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);
    pthread_mutex_destroy(&mutex_saldo); /* Destruir mutex*/
    pthread_cond_destroy(&cond_saldo_mayor1000);
    return 0;
}
```

# Problema Retirada de cajero



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
void *banco(void *arg) {
    while (1) {
        sleep(5); // Simulación de la llegada de la nómina
        pthread_mutex_lock(&mutex_saldo);
        saldo += 3000; // Simulación de un ingreso de nómina
        pthread_cond_signal(&cond_saldo_mayor1000); //Condición de otro
        pthread_mutex_unlock(&mutex_saldo);
    }
}

void *empleado(void *arg) {
    while (1) {
        pthread_mutex_lock(&mutex_saldo);
        printf("Empleado dentro de la sección crítica...\n");

        while (saldo < CANTIDAD_A_RETIRAR) {// Condición que impide seguir
            printf("Empleado esperando a tener suficiente saldo...\n");
            pthread_cond_wait(&cond_saldo_mayor1000, &mutex_saldo);
            sleep(1);
        }

        saldo -= CANTIDAD_A_RETIRAR;
        printf("Saqué %d, saldo: %d \n", CANTIDAD_A_RETIRAR, saldo);
        pthread_mutex_unlock(&mutex_saldo);

        // Simulación de otras actividades del empleado
        sleep(2);
    }
}
```



# Condiciones

## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

Ejemplo problema productor-consumidor

En la función Consumidor puede pasar que un consumidor adquiera el mutex y **no pueda continuar**. La **condición deseada es que haya datos**. La condición que le impide continuar es que el buffer esté vacío.

El consumidor hace **mutex\_lock** y consigue el mutex que protege el buffer de datos para consumir un dato

Pero, de pronto, se encuentra que el buffer está vacío (**condición que le impide seguir** y consumir un dato).

- a) Por ello, deberá **liberar el mutex temporalmente** (para que un thread productor pueda incluir algún dato en el buffer)
- b) Esperar que le avisen de que ya **hay datos**
- c) Antes de continuar, **deberá conseguir el mutex de nuevo**, puesto que ya se encontraba en su sección crítica y volver a comprobar la condición.

Tendrá en cuenta si ha provocado que se cumpla **alguna otra condición** que desee otro proceso

# Problema de productor-consumidor



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
#define BUFF_SIZE    1024
#define TOTAL_DATOS  100000
int n_datos;      /* Datos en el buffer */
int buffer[BUFF_SIZE]; /* buffer circular compartido */
pthread_mutex_t mutex; /* Acceso a sección crítica */
pthread_cond_t hay_hueco, hay_dato; /* Condiciones de espera */

void main(void) {
    pthread_t th1, th2;

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL); /* Situación inicial */
    pthread_cond_init(&hay_hueco, NULL);
    pthread_cond_init(&hay_dato, NULL);
    pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL); /* Arranque */
    pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);
    pthread_join(th1, NULL); /* Esperar terminación */
    pthread_join(th2, NULL);
    pthread_mutex_destroy(&mutex); /* Destruir */
    pthread_cond_destroy(&hay_hueco);
    pthread_cond_destroy(&hay_dato);
    exit(0);
}
```

# Condiciones



## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

- Ejemplo problema productor-consumidor que acceden al buffer compartido.  
Fragmento de código de la función Consumidor:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);

printf("Soy el Consumidor. Estoy dentro de mi sección crítica\n");

while(n_datos == 0) //mientras se cumple la cond que me impide seguir
    pthread_cond_wait(&hay_dato, &mutex); //Espero por condición deseada

printf("Sigo en mi sección crítica y voy a consumir un dato\n");
dato = buffer[i % BUFF_SIZE];
n_datos--;

// Aviso de que se cumple la condición deseada de otros, la del Productor,
// puesto que ahora hay hueco en el buffer
pthread_cond_signal(&hay_hueco);

pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

# Condiciones



## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

- Ejemplo problema productor-consumidor que acceden al buffer compartido.  
Fragmento de código de la función Productor:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);

printf("Soy el Productor. Estoy dentro de mi sección crítica\n");

while(n_datos == BUFF_SIZE) //Mientras se cumple cond que me impide seguir
    pthread_cond_wait(&hay_hueco, &mutex); //Espero por condición deseada

printf("Sigo en mi sección crítica y voy a incluir un dato producido\n");
buffer[i % BUFF_SIZE] = dato;
n_datos++;

// Aviso de que se cumple la condición deseada de otros, la del Consumidor,
// puesto que ahora hay datos en el buffer
pthread_cond_signal(&hay_dato);

pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

# Problema de productor-consumidor



S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

```
void * Consumidor(void *arg) {
    int i, dato;
    for(i=0; i < TOTAL_DATOS; i++) {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while(n_datos == 0)
            pthread_cond_wait(&hay_dato, &mutex);
        dato = buffer[i % BUFF_SIZE];
        n_datos--;
        pthread_cond_signal(&hay_hueco);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        <<Consumir el dato>>
    }
    pthread_exit(NULL);
}
void * Productor(void *arg) {
    int i, dato;
    for(i=0; i < TOTAL_DATOS; i++) {
        <<Producir el dato>>
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while(n_datos == BUFF_SIZE)
            pthread_cond_wait(&hay_hueco, &mutex);
        buffer[i % BUFF_SIZE] = dato;
        n_datos++;
        pthread_cond_signal(&hay_dato);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
    }
    pthread_exit(NULL);
}
```



- Introducción a los procesos
- Planificación
- Creación y terminación de procesos
- Comunicación entre procesos
- Hebras
- Sincronización de procesos
- **Planificación de la CPU**

# Planificación de la CPU



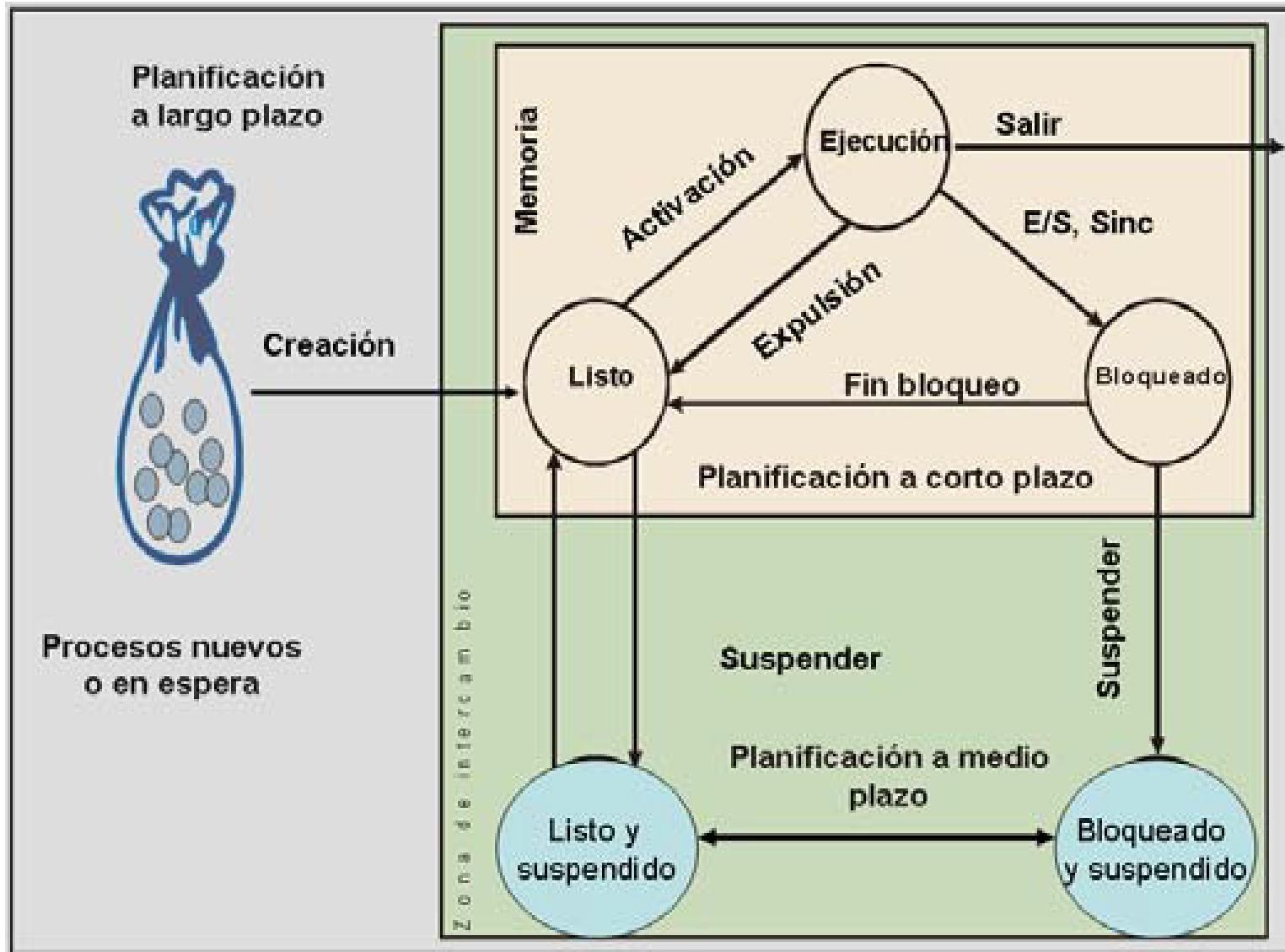
S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- Cuando la CPU queda inactiva el SO debe seleccionar un proceso de la cola de procesos preparados y activarlo (cederle el uso de la CPU).
- La parte del SO que selecciona el proceso que pasa a ejecución es el planificador (scheduler).
  - El planificador se encarga de seleccionar los movimientos de procesos entre colas.
- Tipos de planificador:
  - A corto plazo: selecciona qué proceso de la cola de procesos preparados pasará a ejecución. Se invoca a menudo, y debe ser rápido.
  - A largo plazo: selecciona qué procesos nuevos deben pasar a la cola de procesos preparados. Se invoca con poca frecuencia: puede ser más lento.
    - Debe tratar de mantener una mezcla equilibrada de procesos limitados por E/S y procesos limitados por CPU.
    - Controla el grado de multiprogramación aceptando procesos nuevos o dejándolos en espera.
  - A medio plazo: trata la suspensión de procesos.
    - Controla el grado de multiprogramación suspendiendo procesos.
- Activador o despachador (dispatcher): parte del SO que realiza la activación de un proceso (cesión de la CPU al proceso).

# Planificación de la CPU



S I S T E M A S O P E R A T I V O S



# Cambio de contexto



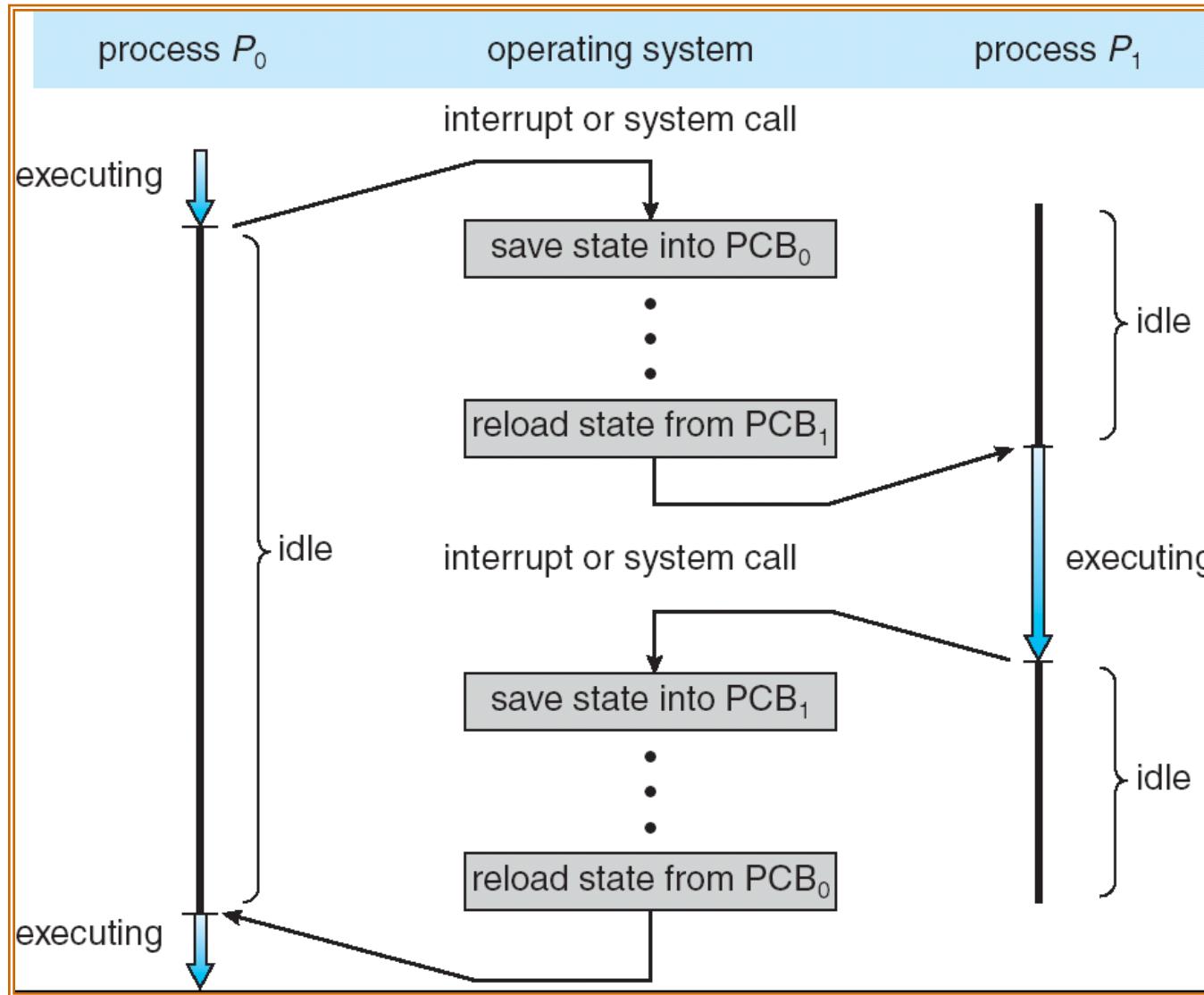
S I S T E M A S   O P E R A T I V O S

- El contexto de un proceso está formado por:
  - El estado del proceso.
  - El estado del procesador (valores de registros).
  - La información de gestión de memoria (tablas, punteros, etc).
- Cuando el despachador cede la CPU a otro proceso, el SO debe guardar el contexto del proceso actual (en su PCB) y restaurar el contexto del proceso que pasa a ejecución (desde su PCB).
- Al cambiar el proceso en ejecución en la CPU se produce un cambio de contexto.
- El cambio de contexto es tiempo perdido en gestión:
  - El procesador no hace trabajo útil durante ese tiempo.
  - El tiempo es dependiente de la arquitectura.

# Cambio de contexto



S I S T E M A S O P E R A T I V O S

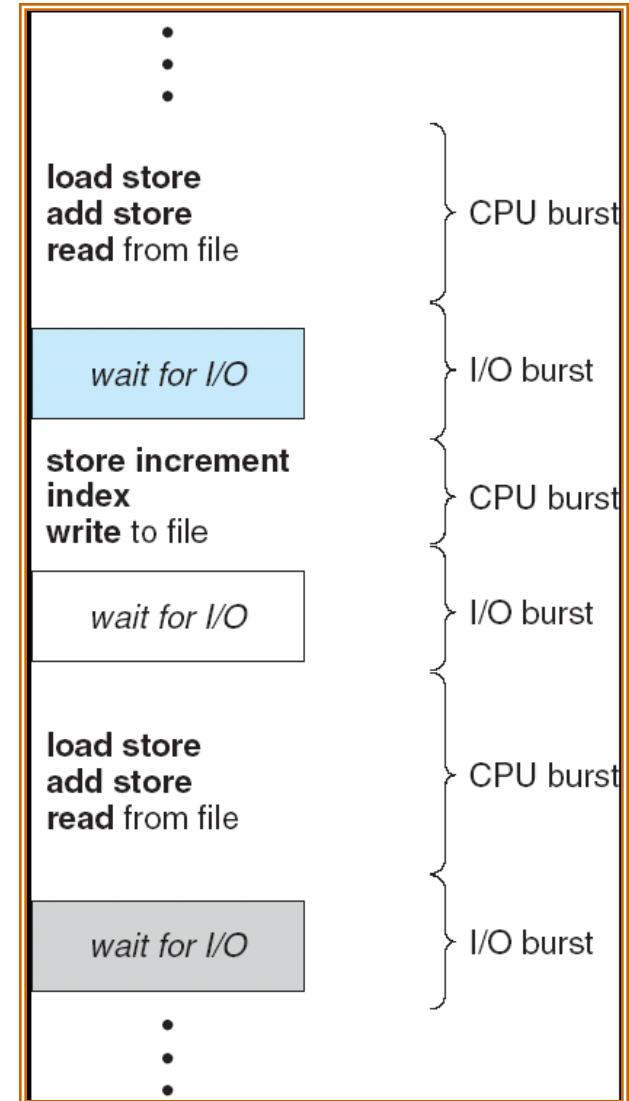
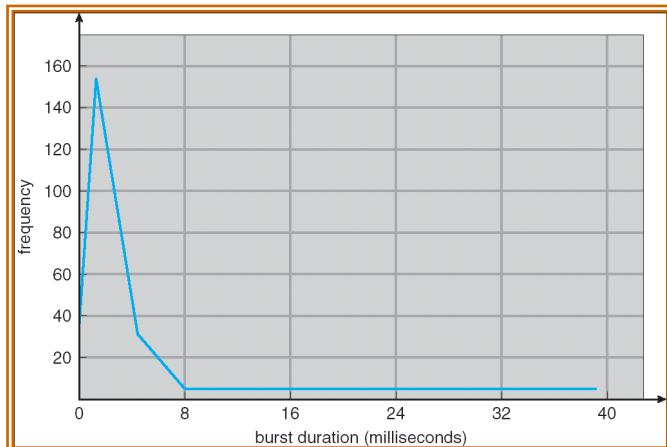


# Planificación de la CPU



## S I S T E M A S O P E R A T I V O S

- Los sistemas multiprogramados buscan maximizar el uso de la CPU.
- En un proceso se alternan ráfagas de uso de la CPU con ráfagas de Entrada/Salida.
- La duración y frecuencia de las ráfagas de CPU depende mucho de cada proceso, pero en general son muy cortas.





- En las siguientes situaciones puede ser necesario tomar una decisión sobre planificación:
  1. Cuando un proceso pasa del estado de ejecución al estado de espera.
  2. Cuando un proceso pasa del estado de ejecución al estado de preparado.
  3. Cuando un proceso pasa del estado de espera al estado de preparado.
  4. Cuando un proceso termina.
- Decisiones solamente en 1 y 4: planificación **sin desalojo, cooperativa o no expulsiva**.
- Decisiones en todos los casos: planificación **con desalojo, apropiativa (preemptive) o expulsiva**.

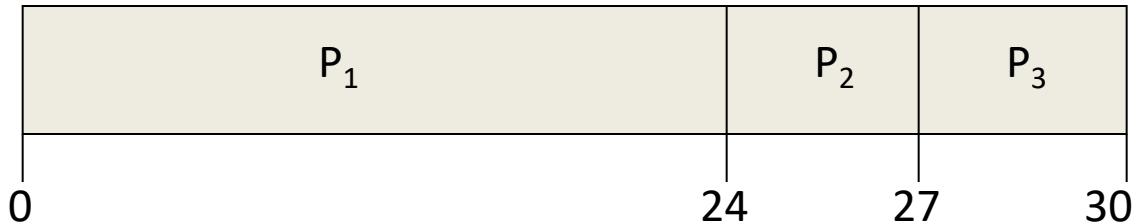


- Distintos criterios de planificación:
  - **Maximizar la tasa de procesamiento.** Número de procesos que se completan por unidad de tiempo.
  - **Minimizar el tiempo de ejecución.** Tiempo que pasa desde que se ordena ejecutar un proceso hasta que termina su ejecución.
  - **Minimizar el tiempo de espera.** Tiempo que pasa esperando en la cola de procesos preparados.
  - **Minimizar el tiempo de respuesta.** Tiempo que pasa desde que se envía una solicitud hasta que se empiezan a recibir resultados.

## ■ First-Come, First-Served (FCFS)

- Se asigna la CPU a los procesos en función de su orden de llegada.
- Muy fácil de implementar con una cola FIFO.
- Ejemplo:

Proceso	Duración	t llegada
P1	24	0
P2	3	0
P3	3	0



Tiempo de espera: P1 = 0; P2 = 24; P3 = 27

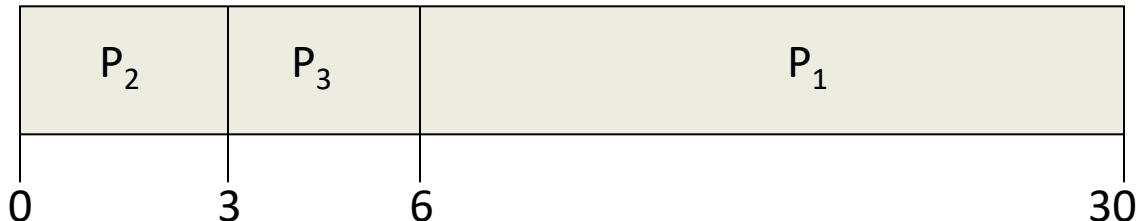
Tiempo medio de espera:  $(0 + 24 + 27) / 3 = 17$



## ■ First-Come, First-Served (FCFS)

- El tiempo de espera depende mucho del orden de llegada de los procesos y su duración (efecto convoy).
- Ejemplo: mismos procesos en otro orden de llegada.

Proceso	Duración	t llegada
P2	3	0
P3	3	0
P1	24	0



Tiempo de espera: P1 = 6; P2 = 0; P3 = 3

Tiempo medio de espera:  $(6 + 0 + 3) / 3 = 3$

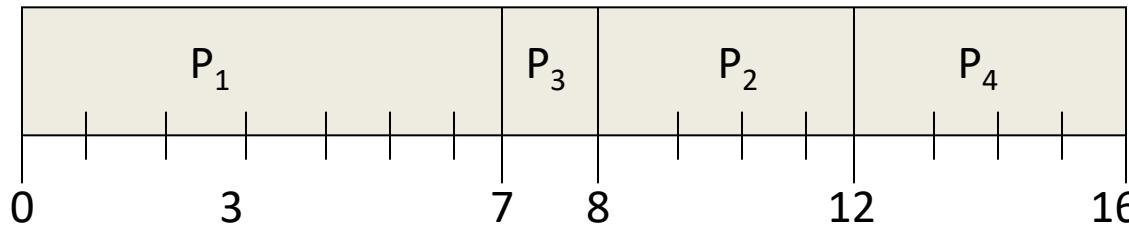


## ■ **Shortest Job First (SJF)**

- Cuando la CPU está disponible se asigna al proceso que tiene la siguiente ráfaga de CPU más corta.
- A igualdad de tiempo de ráfaga, se usa FCFS para decidir.
- Este algoritmo se puede utilizar de forma cooperativa o de forma apropiativa.
- Es el algoritmo óptimo en cuanto a tiempo medio de espera.

- **Shortest Job First (SJF)**
  - Ejemplo cooperativo.

Proceso	Duración	t llegada
P1	7	0
P2	4	2
P3	1	4
P4	4	5



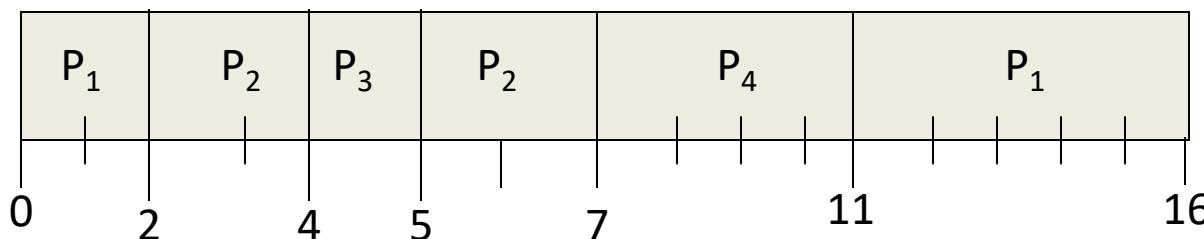
Tiempo de espera: P1 = 0; P2 = 6; P3 = 3; P4 = 7

Tiempo medio de espera:  $(0 + 6 + 3 + 7) / 4 = 4$

- **Shortest Job First (SJF)**

- Ejemplo apropiativo.

Proceso	Duración	t llegada
P1	7	0
P2	4	2
P3	1	4
P4	4	5



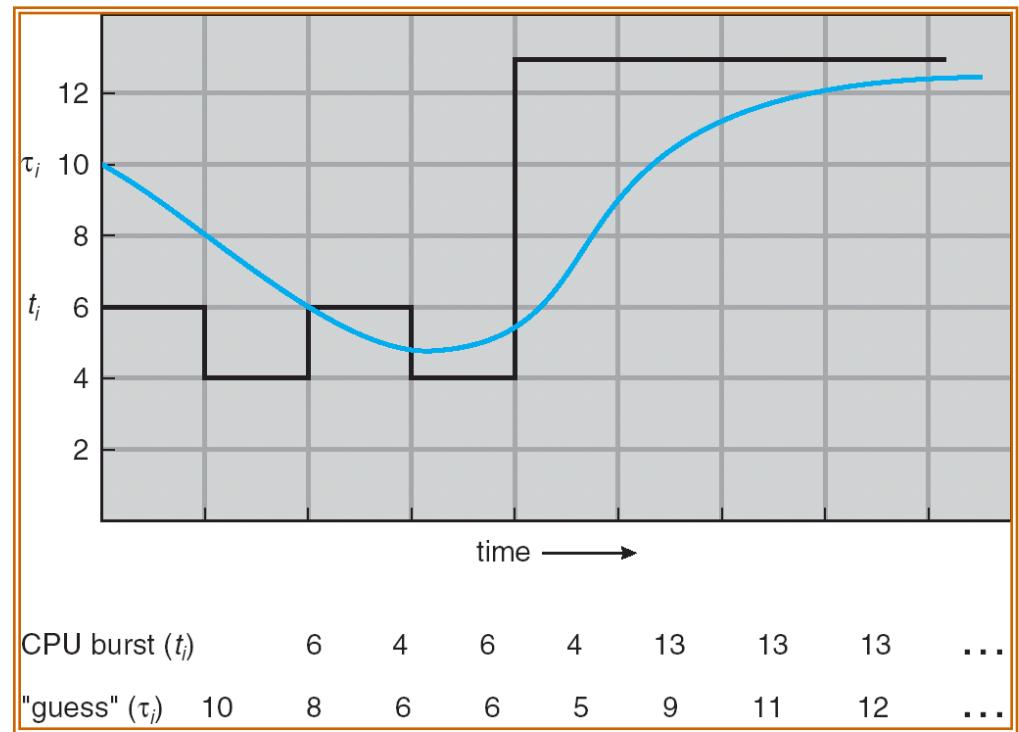
Tiempo de espera: P1 = 9; P2 = 1; P3 = 0; P4 = 2

Tiempo medio de espera:  $(9 + 1 + 0 + 2) / 4 = 3$

## ■ Shortest Job First (SJF)

- No se puede saber a priori cuánto durará la próxima ráfaga de CPU de un proceso, pero se puede estimar en función de la historia del proceso.

$$\tau_{n+1} = \alpha t_n + (1 - \alpha)\tau_n$$





## ■ Planificación por prioridades

- A cada proceso se le asocia una prioridad. La CPU se asigna al proceso más prioritario.
  - Este algoritmo se puede utilizar de forma cooperativa o de forma apropiativa.
  - El algoritmo SJF es un caso particular del algoritmo por prioridades, donde la prioridad es la duración de la siguiente ráfaga de la CPU.
- Problema: inanición. Es posible que algunos procesos nunca lleguen a ejecutarse.
  - Solución: envejecimiento. Se aumenta la prioridad de los procesos que llevan mucho tiempo sin ejecutarse.

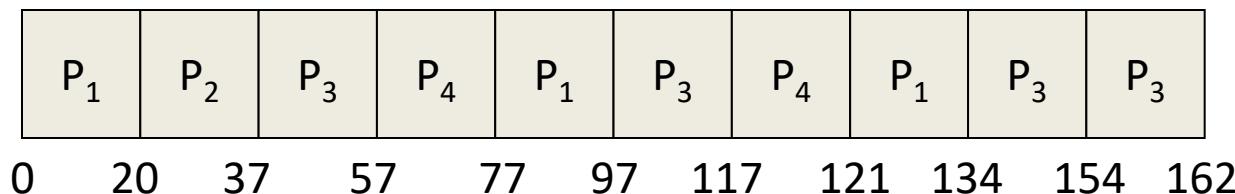


## ■ Planificación por turnos (Round Robin)

- Típico de los sistemas de tiempo compartido.
- Es similar a FCFS, pero cada cierto tiempo (*cuanto*) el S.O desaloja el proceso que se está ejecutando y lo pone al final de la cola de procesos preparados. El primer proceso de la cola de preparados toma la CPU.
- El rendimiento del algoritmo depende mucho de la duración del *cuanto* de tiempo respecto a la duración media de las ráfagas de CPU.
  - Un *cuanto* muy grande en RR es casi lo mismo que FCFS
  - Un *cuanto* muy pequeño producirá muchos cambios de contexto (se pierde tiempo en cada cambio).

- Planificación por turnos (Round Robin)
  - Ejemplo con *cuanto* = 20:

Proceso	Duración	t llegada
P1	53	0
P2	17	0
P3	68	0
P4	24	0

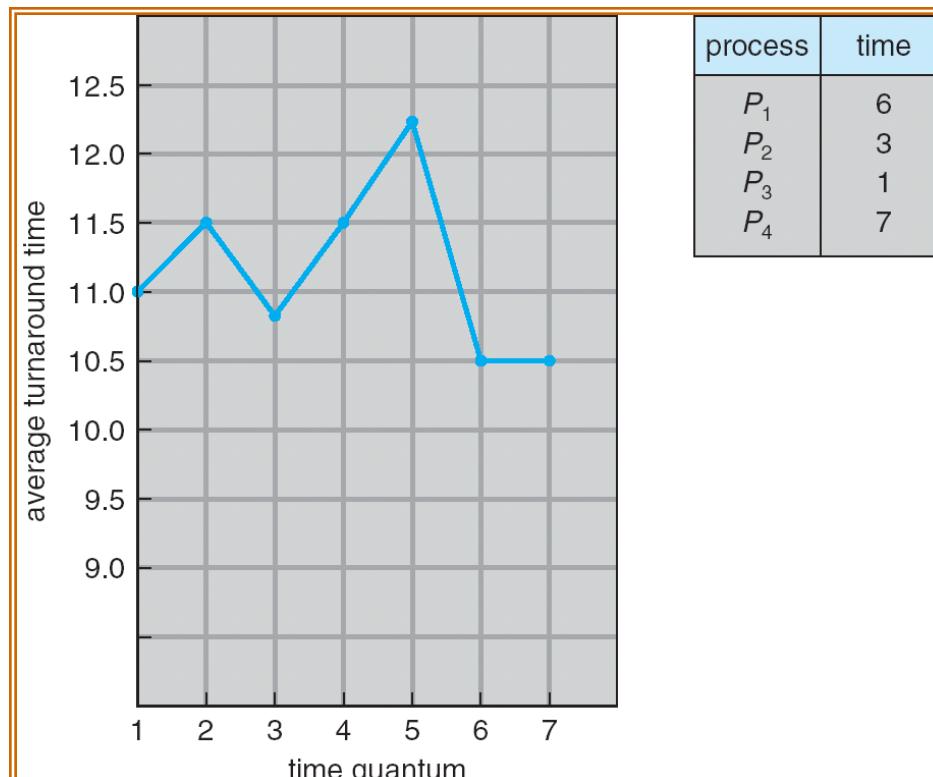


Tiempo de espera: P1 = 81; P2 = 20; P3 = 94; P4 = 97

Tiempo medio de espera:  $(81 + 20 + 94 + 97) / 4 = 73$

## ■ Planificación por turnos (Round Robin)

- El tiempo medio de ejecución depende del *cuanto* de tiempo, y no tiene por qué mejorar cuando se aumenta la duración del *cuanto*.



## ■ Planificación con colas multinivel

- La cola de procesos preparados se divide en varias colas. Cada cola tiene su propio algoritmo de planificación.
- Ejemplo:
  - 2 colas: procesos interactivos y procesos por lotes.
  - Interactivos: planificación Round Robin
  - Por lotes: planificación FCFS.
  - Planificación entre las colas, varias opciones:
    - Prioridad fija: la cola de “interactivos” antes que “por lotes”
    - Repartir el tiempo: por ejemplo 80% “interactivos” y 20 % “por lotes”



## ■ Planificación con colas multinivel realimentadas

- Los procesos pueden moverse de una cola a otra.
- Para definir un planificador mediante colas realimentadas se definen:
  - El número de colas.
  - El algoritmo de planificación de cada cola.
  - El método para determinar cuándo pasar un proceso a una cola de prioridad más baja.
  - El método para determinar cuándo pasar un proceso a una cola de prioridad más alta.
  - El método para determinar en qué cola se introduce un proceso nuevo.

- **Planificación con colas multinivel realimentadas**

- Ejemplo: 3 colas. Cola 1 RR 8 ms, cola 2 RR 16 ms, cola 3 FCFS.

