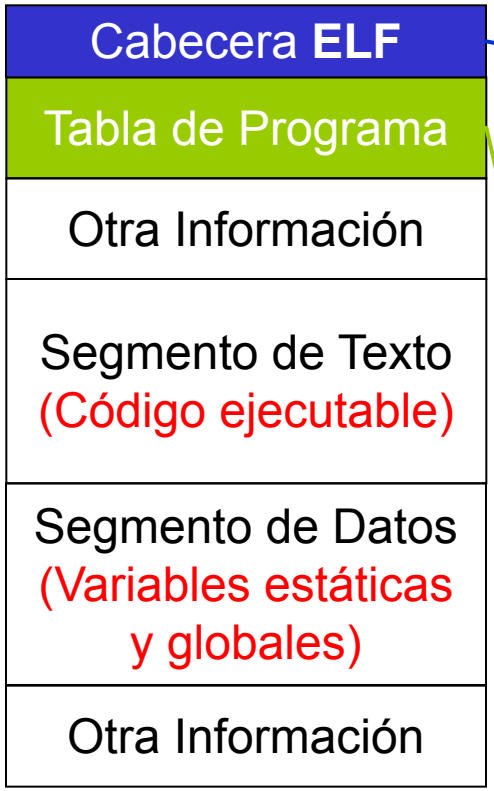
TEMA 2.3. Gestión de Procesos

PROFESORES:
Rubén Santiago Montero
Eduardo Huedo Cuesta
Rafael Rodríguez Sánchez

Estructura de un Programa

- Un programa es un conjunto de instrucciones máquina y datos, almacenados en una imagen ejecutable en disco. Es una entidad pasiva.

Executable and Linking Format (ELF)



Organización y atributos

```
typedef struct {
 Elf32_Half   e_type;
 Elf32_Half   e_machine;
 ...
} Elf32_Ehdr;
```

ET_REL: Relocatable object
ET_EXEC: Executable
ET_DYN: Shared object
ET_CORE: Core

EM_386, EM_X86_64, EM_IA_64, EM_SPARC...

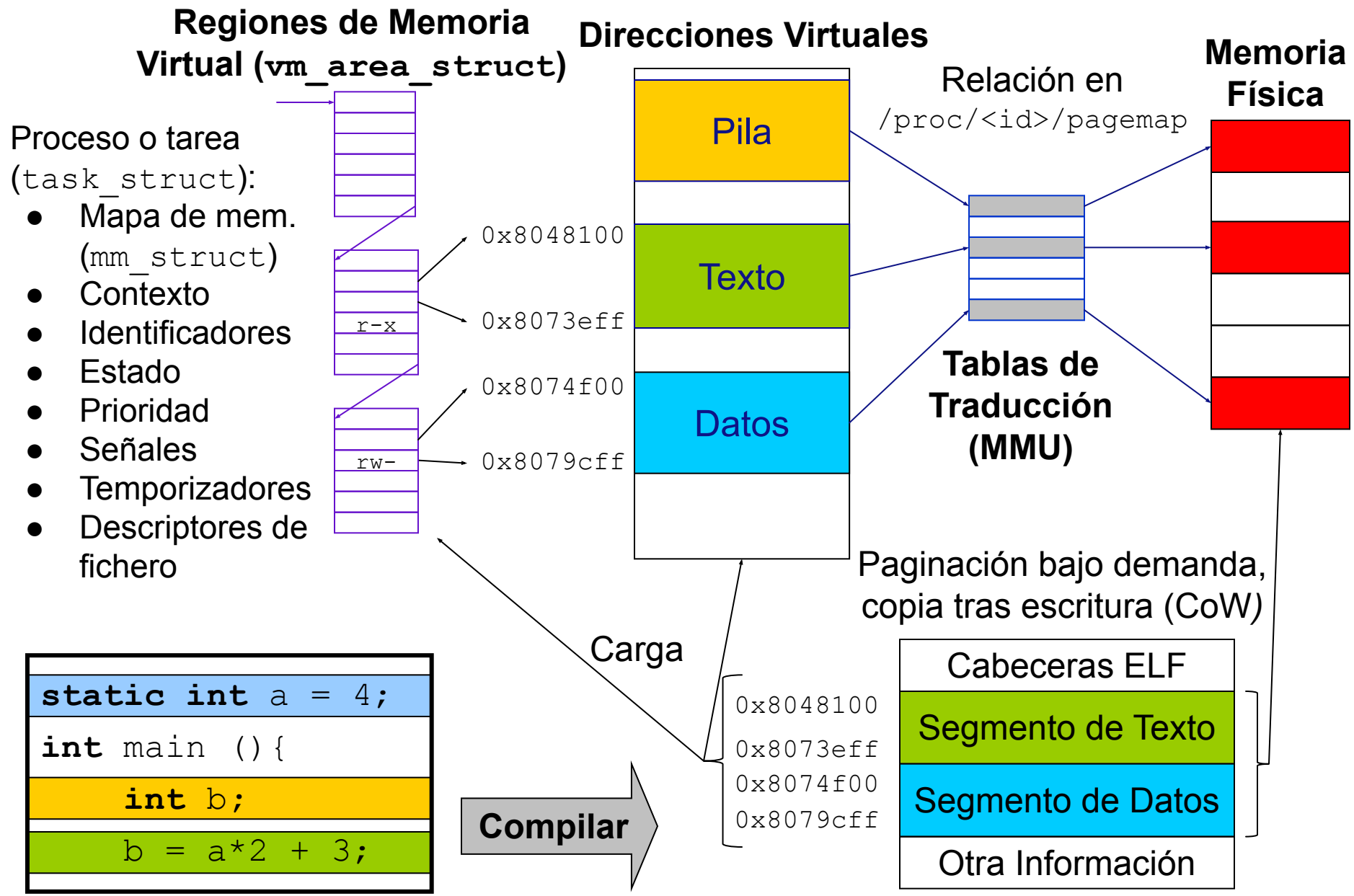
Información para ejecución

```
typedef struct {
 Elf32_Word   p_type;
 Elf32_Addr   p_vaddr;
 Elf32_Word   p_filesz;
 Elf32_Word   p_memsz;
 ...
} Elf32_Phdr;
```

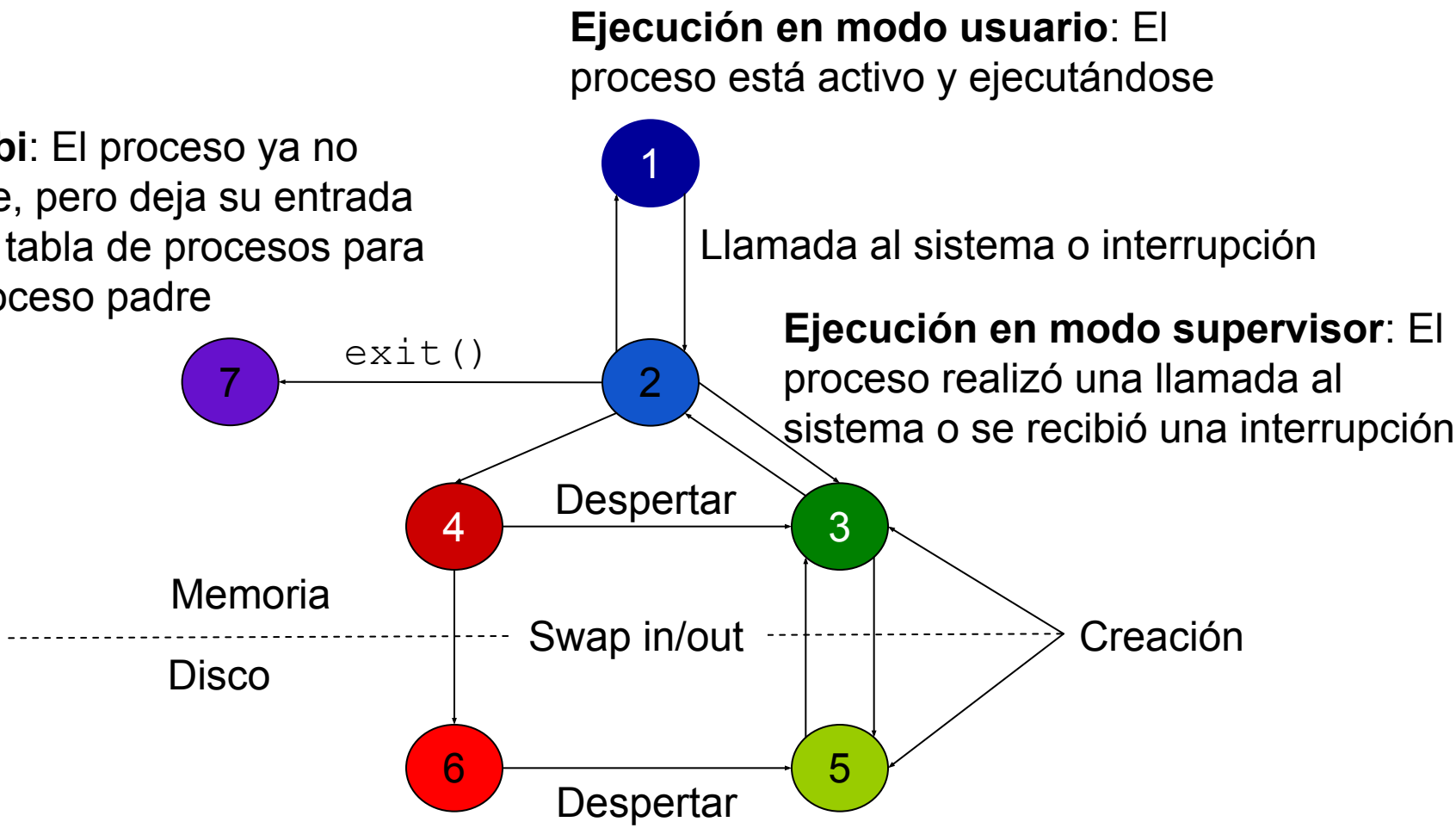
PT_PHDR: Program header
PT_LOAD: Loadable segment
PT_DYNAMIC: Dynamic linking
...

Dirección virtual del segmento

Estructura de un Proceso

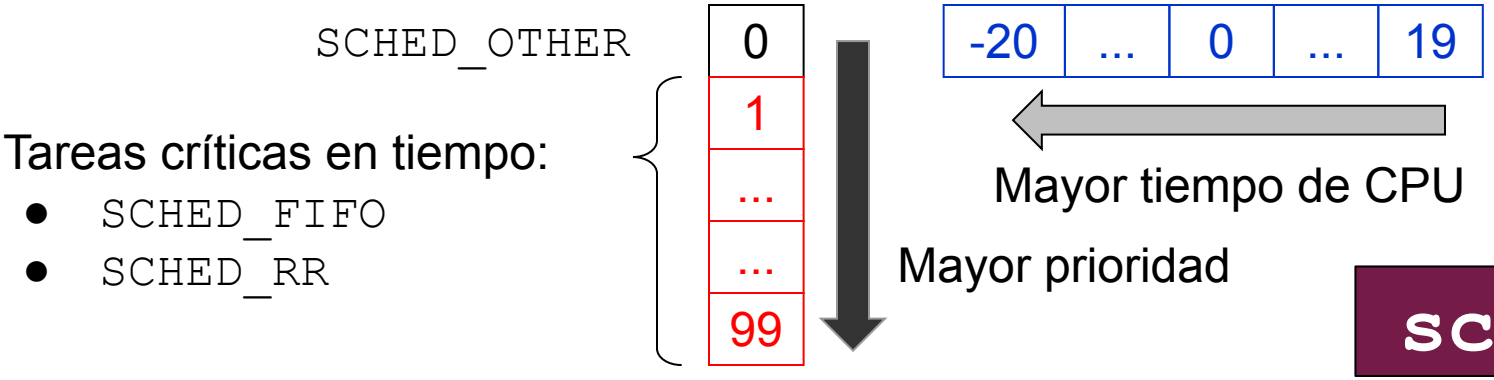


Estados de un Proceso



Planificador

- Componente del núcleo que determina el orden de ejecución de las tareas en función de su prioridad y de la clase de planificación
  - Es expropiativo (una tarea de mayor prioridad siempre expropiará a otra de menor prioridad en ejecución), y la política de planificación solo determina el orden de ejecución de la lista de tareas preparadas con igual prioridad
- **Políticas de planificación** (ver `/usr/include/bits/sched.h`)
  - **`SCHED_OTHER`:** Política estándar de tiempo compartido con prioridad 0, que considera el valor de *nice* (entre -20 y 19, 0 por defecto) para repartir la CPU
  - **`SCHED_FIFO`:** Política de tiempo real FIFO con prioridades entre 1 y 99
    - Una tarea de esta política se ejecutará hasta que se bloquee por E/S, sea expropiada por una tarea con mayor prioridad o ceda la CPU
  - **`SCHED_RR`:** Como la anterior, pero los tareas con igual prioridad se ejecutan por turnos (*round-robin*) durante un *cuanto* de tiempo máximo



Planificador

<sched.h>
POSIX

- Consultar y establecer la política de planificación y establecer la prioridad:

```
int sched_getscheduler(pid_t pid);
int sched_setscheduler(pid_t pid, int policy,
       const struct sched_param *p);

struct sched_param {
    int sched_priority;
    ...
};
```

  - `pid` es un PID (un valor 0 se refiere al proceso actual)
  - `policy` selecciona la política de planificación
  - `p` establece la nueva prioridad

- Las llamadas afectan realmente al *thread* (el planificador maneja *threads* o tareas)
  - Todas las llamadas tienen su equivalente `pthread_*`
- Las llamadas `fork()` heredan los atributos de planificación

Planificador

<sched.h>
POSIX

- Obtener y establecer la prioridad de planificación:

```
int sched_getparam(pid_t pid, struct sched_param *p);
int sched_setparam(pid_t pid, const struct sched_param *p)
```

  - `pid` es un PID (0 para el proceso actual)
  - `p` para obtener o establecer la nueva prioridad

- Consultar los rangos de prioridades:

```
int sched_get_priority_max(int policy);
int sched_get_priority_min(int policy);
```

  - `policy` selecciona la política de planificación

- El comando `chrt` (*change real-time*) ofrece acceso a esta funcionalidad

Planificador

<sys/time.h>
<sys/resource.h>

SV+BSD

- Obtener y establecer el valor de *nice* de un proceso:

```
int getpriority(int which, int who);
int setpriority(int which, int who, int prio);
```

  - `which` puede ser `PRIO_PROCESS`, `PRIO_PGRP` o `PRIO_USER`
  - `who` es un PID, un PGID o un UID, respectivamente
    - 0 indica el proceso actual, el grupo de procesos del proceso actual o el UID real del proceso actual, respectivamente
  - `prio` es el nuevo valor de *nice* entre -20 y 19
    - Valores menores representan una mayor porción de CPU
- Los comandos `nice` y `renice` permiten acceder a esta funcionalidad

Identificadores de un Proceso

- Cada proceso tiene un identificador único (Process ID, PID) y, además, registra el proceso que lo creó (Parent Process ID, PPID)
- Obtener los identificadores de un proceso:

<unistd.h>
SV+BSD+POSIX

```
pid_t getpid(void);
pid_t getppid(void);
```

- El comando `ps` muestra la lista de procesos, sus identificadores y sus atributos

credentials(7)

Identificadores de un Proceso: Grupos

- Los procesos pertenecen a un grupo de procesos, con un PGID (Process Group ID) igual al PID del proceso líder del grupo
  - Su principal uso es la distribución de señales
- Obtener o establecer el identificador del grupo de procesos:

```
pid_t getpgid(pid_t pid);
int setpgid(pid_t pid, pid_t pgid);
```

  - Si `pid` es 0, se refiere al proceso que hace la llamada
  - Si `pgid` es 0, se usa el PID del proceso indicado en `pid`

<unistd.h>
POSIX

Identificadores de un Proceso: Sesiones

- Los grupos de procesos se pueden agrupar en sesiones, con un SID (Session ID)
- Se usan para gestionar el acceso al sistema:
  - Un proceso de *login* crea una sesión y abre un terminal de control
  - Todos los procesos y grupos del usuario pertenecen a esa sesión y comparten el terminal
  - En la desconexión, se envía la señal `SIGHUP` a todos los procesos de la sesión
- Un proceso puede crear una sesión si no es el líder de un grupo de procesos
  - Para asegurarse de que no es el líder, se suele hacer `fork()` primero
  - También se crea un nuevo grupo de procesos, solo con este proceso
  - El proceso se convertirá en el líder de la nueva sesión y del nuevo grupo de procesos, por lo que su PGID y SID se establecen a su PID
- Obtener el identificador de sesión:

```
pid_t getsid(pid_t pid);
```

<unistd.h>
SV+POSIX

- Crear una nueva sesión y un nuevo grupo de procesos:

```
pid_t setsid(void);
```

- El comando `setsid` permite crear una nueva sesión (y un nuevo grupo asociado)

Directorio de Trabajo

- Es el directorio usado para resolver toda ruta relativa en el proceso
- Obtener la **ruta absoluta** del directorio de trabajo:

<unistd.h>
POSIX

```
char *getcwd(char *buffer, size_t size);
```

  - La ruta se copia en `buffer` de tamaño `size`
  - Si el tamaño de la ruta, incluyendo el carácter `'\0'` de fin de cadena, excede `size` bytes, la función devuelve `NULL` y establece **errno=ERANGE**

- Cambiar el directorio de trabajo de un proceso:

```
int chdir(const char *path);
```

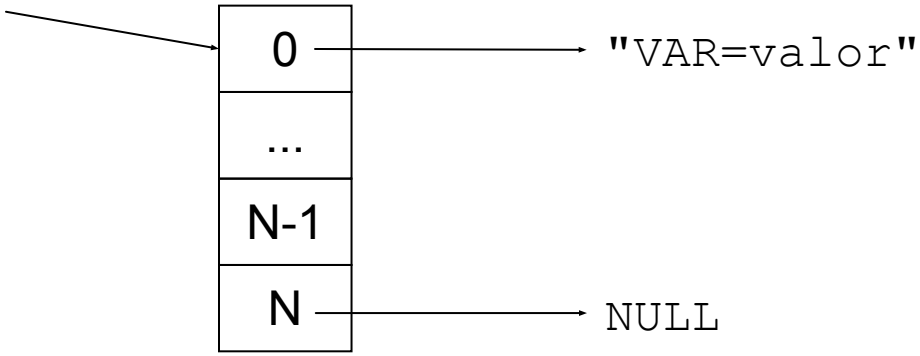
- El comando `pwd` y los comandos internos de la *shell* `pwd` y `cd` proporcionan acceso a esta funcionalidad

Entorno

- Los procesos se ejecutan en un determinado entorno, que en general se hereda del proceso padre
  - Muchas aplicaciones limitan o controlan el entorno que pasan a los procesos o la forma en que inicializan su entorno, ej. `sudo` o la *shell*
- El entorno es un conjunto de cadenas de caracteres en la forma “VARIABLE=valor”
  - Por convenio, las variables de entorno están en mayúsculas

```
extern char **environ;
```

- HOME
- USER
- PATH
- PWD
- SHELL
- ...



- Obtener, establecer o eliminar variables de entorno:

<stdlib.h>
SV+BSD+POSIX

```
char *getenv(const char *name );
int setenv(const char *name, const char *value, int overwrite);
int unsetenv(const char *name);
```

- El comando interno de la *shell* `export` y el comando `env` proporcionan acceso a esta funcionalidad

Creación de Procesos

<unistd.h>
SV+POSIX+BSD

- Crear un proceso hijo:

```
pid_t fork(void);
```

  - La función devuelve:
    - 0: Ejecutando el hijo
    - >0: Ejecutando el padre, el valor es el PID del hijo
    - -1: Fallo
  - El nuevo proceso ejecuta el mismo código que el proceso padre y recibe una copia de los descriptores de los ficheros abiertos por el padre

Creación de Procesos

```
int main() {
  pid_t pid;

  pid = fork();

  switch (pid) {
     case -1:
       perror("fork");
       exit(1);

     case 0:
       printf("Hijo %i (padre: %i)\n", getpid(), getppid());
       break;

     default:
       printf("Padre %i (hijo: %i)\n", getpid(), pid);
       break;
  }

  return 0;
}
```

Finalización de un Proceso

- Un proceso puede finalizar por dos motivos:
  - Voluntariamente, llamando a `exit` (o `return` desde `main()`)
  - Al recibir una señal (hay múltiples causas)
- Terminar el proceso:

```
void _exit(int status);
```

  - `status` es el estado de salida, que debe ser un número menor que 255
    - Convenio: 0 para éxito (`EXIT_SUCCESS`) y 1 para error (`EXIT_FAILURE`)
    - Nunca devolver `errno` ni -1
    - Accesible en la *shell* vía `$?` o en el proceso padre vía `wait(2)`

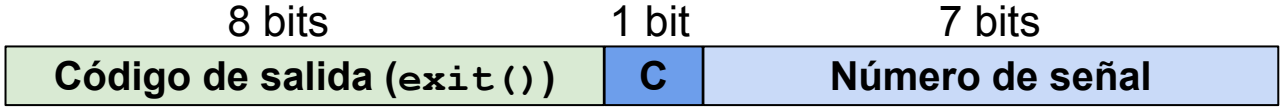
Finalización de un Proceso

<sys/types.h>
<sys/wait.h>
SV+POSIX+BSD

- Esperar la finalización (o cambio de estado) de un proceso hijo:

```
pid_t wait(int *status);
pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);
```

  - `pid` puede ser:
    - <-1: Espera la finalización de un hijo cuyo PGID es `-pid`
    - -1: Espera la finalización de cualquier hijo (igual que `wait()`)
    - 0: Espera la finalización de un hijo del grupo de procesos del padre
    - >0: Espera la finalización de un hijo con identificador `pid`
  - `options` es una OR de las siguientes opciones:
    - `WNOHANG`: retorna sin esperar si no hay hijos que hayan terminado
    - `WUNTRACED`: retorna si el proceso ha sido detenido
    - `WCONTINUED`: retorna si un hijo detenido ha sido reanudado
  - `status` contiene información de estado, que puede consultarse con macros:
    - `WIFEXITED(s)` indica si el hijo terminó normalmente vía `exit()` y, en ese caso, `WEXITSTATUS(s)` devuelve el estado de salida
    - `WIFSIGNALED(s)` indica si el hijo terminó al recibir una señal y, en ese caso, `WTERMSIG(s)` devuelve el número de la señal recibida
  - Devuelve el PID del hijo terminado o -1 en caso de error



Ejecución de Programas

<unistd.h>
POSIX

- Ejecutar un programa:

```
int execve(const char *filename, char *const argv[],
        char *const envp[]);
```

  - Sustituye la imagen del proceso actual por una nueva
  - El primer elemento de `argv` debe ser el nombre de fichero del programa (ejecutable binario o *script*) y el último ha de ser `NULL`

- Las siguientes funciones usan la llamada `execve(2)`:

```
int execl(const char *path, const char *a0, ...);
int execlp(const char *file, const char *a0, ...);
int execle(const char *path, const char *a0, ...,
        char *const envp[]);
int execv(const char *path, char *const argv[]);
int execvp(const char *file, char *const argv[]);
```

	Ruta absoluta	Ruta relativa	Nuevo entorno
Lista de argumentos	`execl()`	`execlp()`	`execle()`
Vector de argumentos	`execv()`	`execvp()`	`execve()`

Ejecución de Programas

<stdlib.h>
ANSI C+POSIX

- Ejecutar un comando de la *shell*:

```
int system(const char *command);
```

  - Usa `fork(2)` para crear un proceso hijo que ejecute el comando de la *shell* especificado en `command` usando `execl(3)` como:

```
execl("/bin/sh", "sh", "-c", command, (char *) 0);
```

  - La llamada retorna cuando termina la ejecución del comando (salvo si se ejecuta en segundo plano)
  - Devuelve el código de finalización del comando, obtenido con `waitpid(2)`, o -1 en caso de error

Límites de Recursos

<sys/time.h>
<sys/resource.h>

SV+BSD

- Obtener y establecer los límites del proceso:

```
int getrlimit(int resource, struct rlimit *rlim);
int setrlimit(int resource, const struct rlimit *rlim);

struct rlimit{
    int rlim_cur;    /* Límite actual */
    int rlim_max;    /* Valor máximo */
};
```

  - `resource` puede ser
    - `RLIMIT_CPU`: Max. tiempo de CPU (segundos)
    - `RLIMIT_FSIZE`: Max. tamaño de fichero (bytes)
    - `RLIMIT_DATA`: Max. tamaño del heap (bytes)
    - `RLIMIT_STACK`: Max. tamaño de pila (bytes)
    - `RLIMIT_CORE`: Max. tamaño de fichero core (bytes)
    - `RLIMIT_NPROC`: Max. número de procesos
    - `RLIMIT_NOFILE`: Max. número de descriptores de fichero
  - `rlim` especifica el límite (el valor `RLIM_INFINITY` indica ilimitado)
- El comando interno de la *shell* `ulimit` proporciona acceso a esta llamada

Uso de Recursos

<sys/time.h>
<sys/resource.h>

SV+BSD

- Obtener el uso de recursos:

```
int getrusage(int who, struct rusage *usage);

struct rusage {
    struct timeval ru_utime; /* t. CPU en modo usuario */
    struct timeval ru_stime; /* t. CPU en modo sistema */
    long   ru_maxrss;        /* RSS máximo */
    long   ru_minflt;        /* páginas reclamadas */
    long   ru_majflt;        /* fallos de página */
    long   ru_inblock;       /* ops. de entrada de bloques */
    long   ru_oublock;       /* ops. de salida de bloques */
    ...                      /* ver man getrusage */
}
```

  - `who` puede ser
    - `RUSAGE_SELF`: por el proceso (todos sus *threads*)
    - `RUSAGE_CHILDREN`: por todos los hijos del proceso
    - `RUSAGE_THREAD`: por el *thread*

- El comando `time -v` proporciona esta información (`time` es también una palabra reservada de la *shell*)

Señales

Señales

- Las señales son **interrupciones software**, que informan a un proceso de la ocurrencia de un evento de forma **asíncrona**
  - Las genera un proceso o el núcleo del sistema
- Las opciones en la ocurrencia de un evento son:
  - Bloquear la señal
  - Ignorar la señal
  - Realizar la acción por defecto asociada a la señal, que en general consiste en terminar la ejecución del proceso
  - Capturar la señal con un manejador, que es una función definida por el programador que se invoca automáticamente al recibir la señal
- Tipos de señales:
  - Terminación de procesos
  - Excepciones
  - Llamada de sistema
  - Generadas por proceso
  - Interacción con el terminal
  - Traza de proceso
  - Fuertemente dependientes del sistema (consultar `signal.h`)

Señales: System V (Ejemplos)

- **`SIGHUP`:** Desconexión de terminal (**F**, terminar proceso)
- **`SIGINT`**: Interrupción. Se puede generar con `Ctrl+C` (**F**)
- **`SIGQUIT`**: Finalización. Se puede generar con `Ctrl+\` (**F** y **C**, volcado de mem.)
- **`SIGSTOP`**: Parar proceso. No se puede capturar, bloquear o ignorar (**P**, parar)
- **`SIGTSTP`**: Parar proceso. Se puede generar con `Ctrl+Z` (**P**)
- **`SIGCONT`**: Reanudar proceso parado (continuar)
- **`SIGILL`**: Instrucción ilegal (punteros a funciones mal gestionados) (**F** y **C**)
- **`SIGTRAP`**: Ejecución paso a paso, enviada después de cada instrucción (**F** y **C**)
- **`SIGKILL`** (9): Terminación brusca. No se puede capturar, bloquear o ignorar (**F**)
- **`SIGBUS`**: Error de acceso a memoria (alineación o dirección no válida) (**F** y **C**)
- **`SIGSEGV`**: Violación de segmento *de datos* (**F** y **C**)
- **`SIGPIPE`**: Intento de escritura en un tubería sin lectores (**F**)
- **`SIGALRM`**: Despertador, contador a 0 (**F**)
- **`SIGTERM`**: Terminar proceso (**F**)
- **`SIGUSR1`**, **`SIGUSR2`**: Señales de usuario (**F**)
- **`SIGCHLD`**: Terminación del proceso hijo (**I**, ignorar)
- **`SIGURG`**: Recepción de datos urgentes en socket (**I**)

`signal(7)`

Señales: Envío

<signal.h>
SV+BSD+POSIX

- Enviar una señal a un proceso:

```
int kill(pid_t pid, int signal);
```

  - `pid` identifica el proceso que recibirá la señal:
    - >0: Es el identificador del proceso
    - 0: Se envía a todos los procesos del grupo
    - -1: Se envía a todos los procesos (de mayor a menor), excepto el 1
    - <-1: Se envía a todos los procesos del grupo con PGID igual a `-pid`
  - `signal` es la señal que se enviará (si es 0, se simula el envío)
- El comando `kill`, que también es un comando interno de la *shell*, proporciona acceso a esta llamada
- Llamadas equivalentes:

<signal.h>
ANSI-C

<stdlib.h>
SV+BSD+POSIX

```
int raise(int signal);
int abort(void);
```

  - `raise(signal)` ⇒ `kill(getpid(), signal)`
  - `abort()` ⇒ `kill(getpid(), SIGABRT)`

Señales: Ejemplo de Envío

```c
#include <signal.h>
#include <unistd.h>

int main()
{
    kill(getpid(), SIGABRT);
    return 0;
}
```

```
> ./abort_self
Aborted (core dumped)
```

Señales: Conjuntos de Señales

- Las señales pueden agruparse en conjuntos de señales POSIX, usados principalmente para definir máscaras de señales
  - Tipo opaco `sigset_t` que depende del sistema
  - Implementado como mapa de bits (ver `/usr/include/bits/sigset.h`)
- Operaciones con conjuntos de señales POSIX:

`<signal.h>`
POSIX

```
int sigemptyset(sigset_t *set);
int sigfillset(sigset_t *set);
int sigaddset(sigset_t *set, int signal);
int sigdelset(sigset_t *set, int signal);
int sigismember(sigset_t *set, int signal);
```

  - `sigemptyset()` inicializa un conjunto como vacío, excluyendo todas las señales
  - `sigfillset()` inicializa un conjunto como lleno, incluyendo todas las señales
  - `sigaddset()` añade una señal a un conjunto
  - `sigdelset()` elimina una señal de un conjunto
  - `sigismember()` comprueba si una señal pertenece a un conjunto

Señales: Bloqueo

<signal.h>
POSIX

- La máscara de señales es el conjunto de señales bloqueadas (por ejemplo, para proteger regiones de código)
- Consultar y establecer las señales bloqueadas:

```
int sigprocmask(int how, const sigset_t *set,
        sigset_t *oset);
```

  - `how` define el comportamiento:
    - `SIG_BLOCK`: Añade el conjunto `set` al conjunto de señales actualmente bloqueadas (“OR”)
    - `SIG_UNBLOCK`: Elimina el conjunto `set` del conjunto de señales bloqueadas (puede desbloquearse una señal que no estuviera bloqueada)
    - `SIG_SETMASK`: Reemplaza el conjunto de señales actuales por `set`
  - `oset` almacena el conjunto previo de señales bloqueadas (distinto de `NULL`)
- Comprobar señales pendientes:

```
int sigpending(const sigset_t *set);
```

  - `set` es el conjunto de señales pendientes
  - Usar `sigismember()` para determinar la señal y `sigprocmask()` para desbloquearla y tratarla

Señales: Ejemplo de Bloqueo

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

int main() {
  sigset_t blk_set;

  sigemptyset(&blk_set);
  sigaddset(&blk_set, SIGINT);
  sigaddset(&blk_set, SIGTSTP);
  sigaddset(&blk_set, SIGQUIT);

  sigprocmask(SIG_BLOCK, &blk_set, NULL);

  /* Código protegido */

  sigprocmask(SIG_UNBLOCK, &blk_set, NULL);
}
```

Señales: Captura

- Es posible modificar la acción por defecto realizada por un proceso al recibir una señal definiendo una función manejadora de la señal (*handler*)
- Obtener y establecer la acción asociada a una señal:

<signal.h>
POSIX

```
int sigaction(int signal,
        const struct sigaction *act,
        struct sigaction *oldact);

struct sigaction {
    void (*sa_handler) (int);
    sigset_t sa_mask;
    int sa_flags;
    ...
}
```

  - `signal` especifica la señal (excepto `SIGKILL` y `SIGSTOP`)
  - `act` contiene el nuevo manejador para la señal (puede ser `NULL`)
  - `oldact` almacenará el antiguo controlador de la señal (puede ser `NULL`)

Señales: Captura

- Campos de la estructura `sigaction`:
  - `sa_handler` es el nuevo manejador para la señal. Su valor puede ser:
    - `SIG_DFL` para la acción por defecto
    - `SIG_IGN` para ignorar la señal
    - Un puntero a una función:

```
void handler(int signal);
```

  - `sa_mask` es el conjunto de señales que serán bloqueadas durante el tratamiento de la señal
    - Además, por defecto se bloquea la señal en cuestión
  - `sa_flags` modifica el comportamiento del proceso de gestión de la señal:
    - `SA_NODEFER` no bloquea la señal que se está tratando
    - `SA_RESTART` reinicia ciertas llamadas al sistema interrumpidas para compatibilidad con BSD (en otro caso, fallan con `errno=EINTR`)
    - `SA_RESETHAND` restaura el manejador por defecto tras tratar la señal
    - `SA_SIGINFO` usa una función para tratar la señal con argumentos adicionales (campo `sa_sigaction`)

Señales: Captura

- La ejecución del proceso se interrumpe y se llama al manejador
  - Cuando el manejador termina, se restaura la ejecución en el punto donde se produjo la señal
- Hay que tomar algunas precauciones en el manejador:
  - Declarar las variables globales como `volatile`
  - No usar **funciones no reentrantes**, como `malloc`, `free` o funciones de la biblioteca `stdio`
  - Guardar y restaurar el valor de `errno` si llama a alguna función que pueda modificarlo
- Como regla general, hacer lo menos posible en el manejador
  - Normalmente, fijar algún *flag* y salir
- Tener en cuenta siempre que las señales son **asíncronas**

Señales: Espera

<signal.h>
POSIX

- Esperar la ocurrencia de una determinada señal, suspendiendo la ejecución del proceso:

```
int sigsuspend(const sigset_t *set);
```

  - La máscara de señales bloqueadas se sustituye temporalmente por el conjunto `set`, el proceso se suspende hasta que **una señal** que **no esté en la máscara** se produzca
  - Cuando se recibe la señal se **ejecuta el manejador** asociado a la señal y continúa la ejecución del proceso, restaurando la **máscara original**
  - Siempre devuelve -1 y, normalmente, establece `errno` a `EINTR`

<unistd.h>
POSIX

- Alternativamente, suspender un proceso de forma más sencilla:

```
unsigned int sleep(unsigned int segundos);
int pause(void);
```

  - Suspenden la ejecución durante los segundos especificados o indefinidamente, respectivamente, o bien, hasta recibir una señal que deba ser tratada

Señales: Alarmas

<unistd.h>

SV+BSD+POSIX

- Fijar una alarma:

```
unsigned int alarm(unsigned int secs);
```

  - Se programa el temporizador `ITIMER_REAL` para generar una señal `SIGALRM` en `secs` segundos (si es cero, no se planifica ninguna nueva alarma)
    - Cualquier alarma programada previamente se cancela
    - Debe instalarse antes un manejador
  - Devuelve el valor de segundos restantes para que se produzca el final de la cuenta (0 si no hay ninguna fijada)
  - No mezclar con `sleep(3)` o cualquier otra función que use el mismo temporizador, como `setitimer(2)`
  - No se heredan con `fork(2)`, pero sí se mantienen tras `execve(2)`

Señales: Alarmas

<sys/time.h>
SV+BSD

- Consultar o fijar alarmas asociadas a otros temporizadores:

```
int getitimer(int which, struct itimerval *value);
int setitimer(int which, struct itimerval *new_value,
              struct itimerval *value);

struct itimerval {
    struct timeval it_interval; /* Intervalo */
    struct timeval it_value;    /* Tiempo que queda */
}
```

  - `which` selecciona el temporizador:
    - `ITIMER_REAL`: Tiempo real (*wall-clock*), genera `SIGALRM`
    - `ITIMER_VIRTUAL`: Tiempo de CPU en modo usuario, genera `SIGVTALRM`
    - `ITIMER_PROF`: Tiempo de CPU total (es decir, en modo usuario y sistema), genera `SIGPROF`

Comunicación entre Procesos. Tuberías

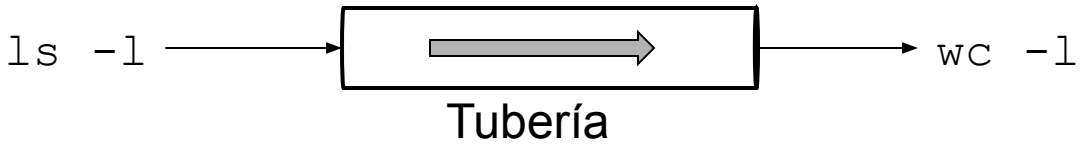
Introducción

- Mecanismos de sincronización:
  - Mismo sistema
    - Señales (Tema 2.3)
    - Ficheros con cerrojos (Tema 2.2)
    - Mutex y variables de condición (solo para threads de un proceso)
    - Semáforos (System V IPC)
    - Colas de mensajes (System V IPC)
  - Distintos sistemas
    - Basados en sockets (Tema 2.4)
- Compartición de datos entre procesos:
  - Mismo sistema
    - Memoria compartida (System V IPC)
    - Tuberías sin nombre o *pipes* (Tema 2.3)
    - Tuberías con nombre o FIFOs (Tema 2.3)
    - Colas de mensajes (System V IPC)
    - Basados en ficheros (Tema 2.2)
  - Distintos sistemas
    - Basados en sockets (Tema 2.4)

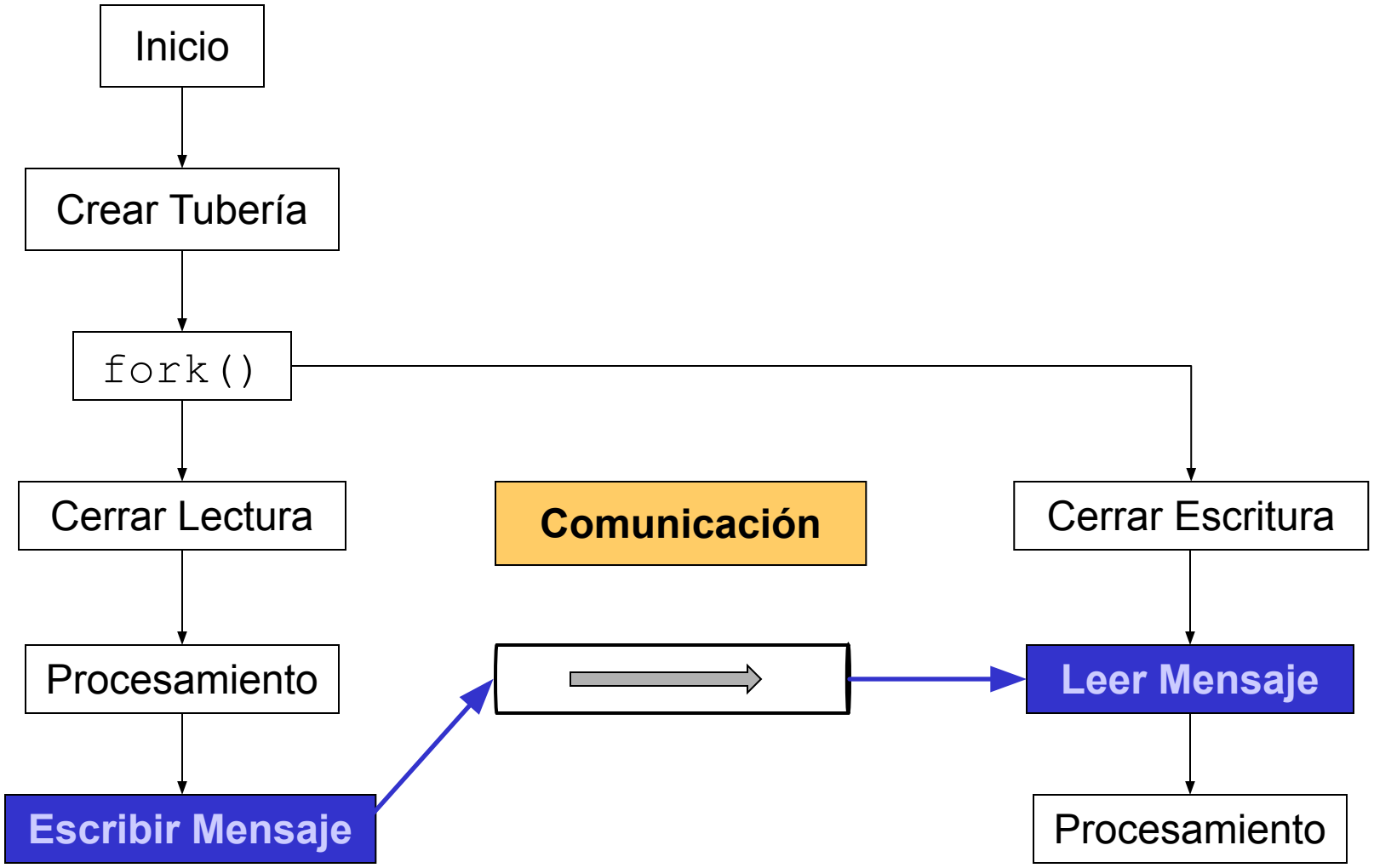
Tuberías sin Nombre

- Proporcionan un canal de comunicación unidireccional entre procesos
- El sistema las **trata** a todos los efectos **como ficheros:**
  - i-nodo
  - Descriptores
  - Tabla de ficheros del sistema y proceso
  - Operaciones de E/S típicas
  - Heredadas de padres a hijos
- **Sincronización** realizada por parte del **núcleo**
- Acceso tipo **FIFO** (*first-in-first-out*)
- La tubería **reside** en **memoria principal**

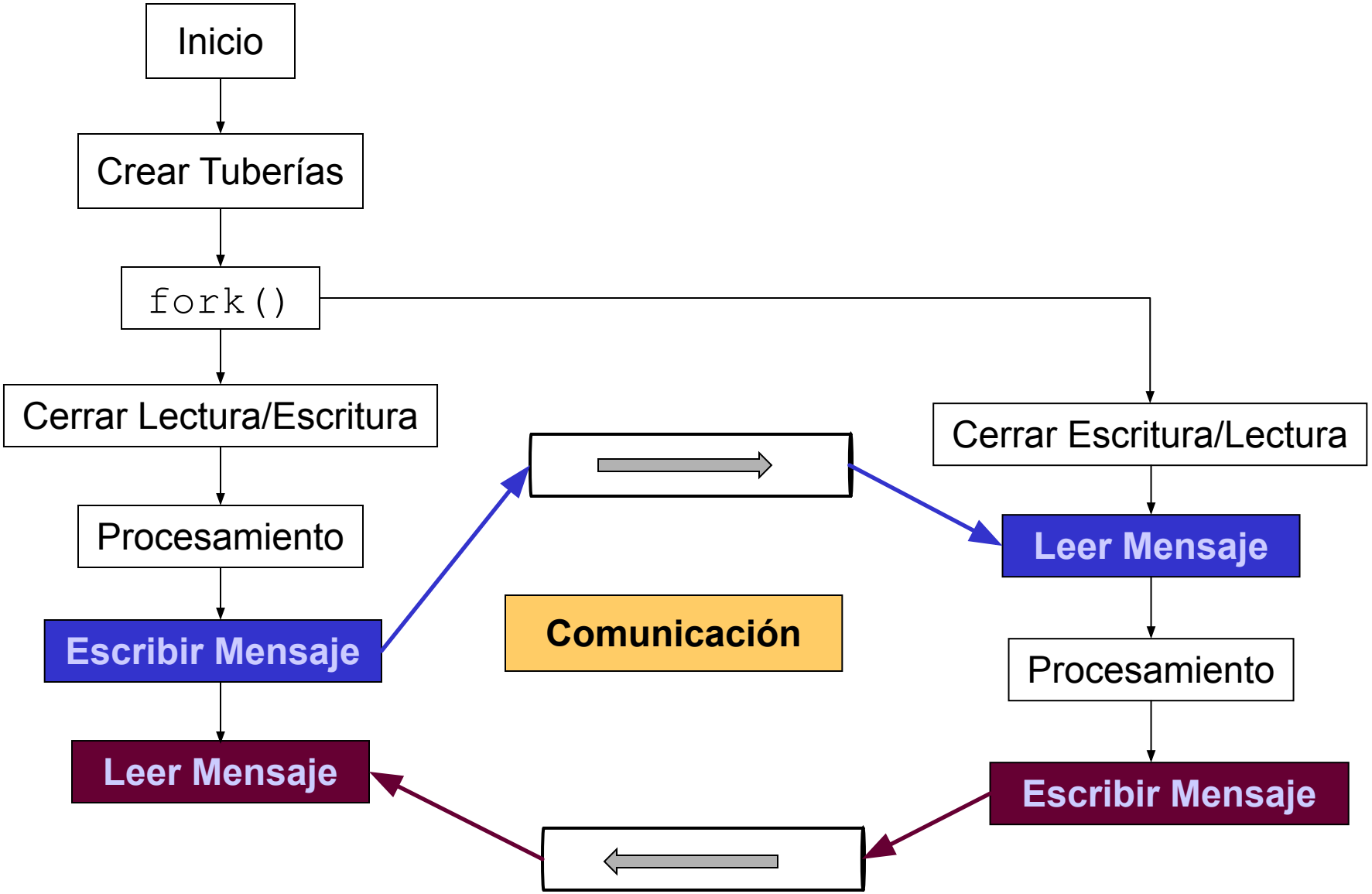
```
$ ls -l | wc -l
```



Tuberías sin Nombre: Unidireccional



Tuberías sin Nombre: Bidireccional



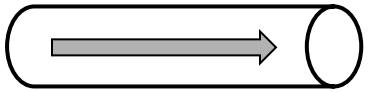
Tuberías sin Nombre

<unistd.h>

SV+BSD+POSIX

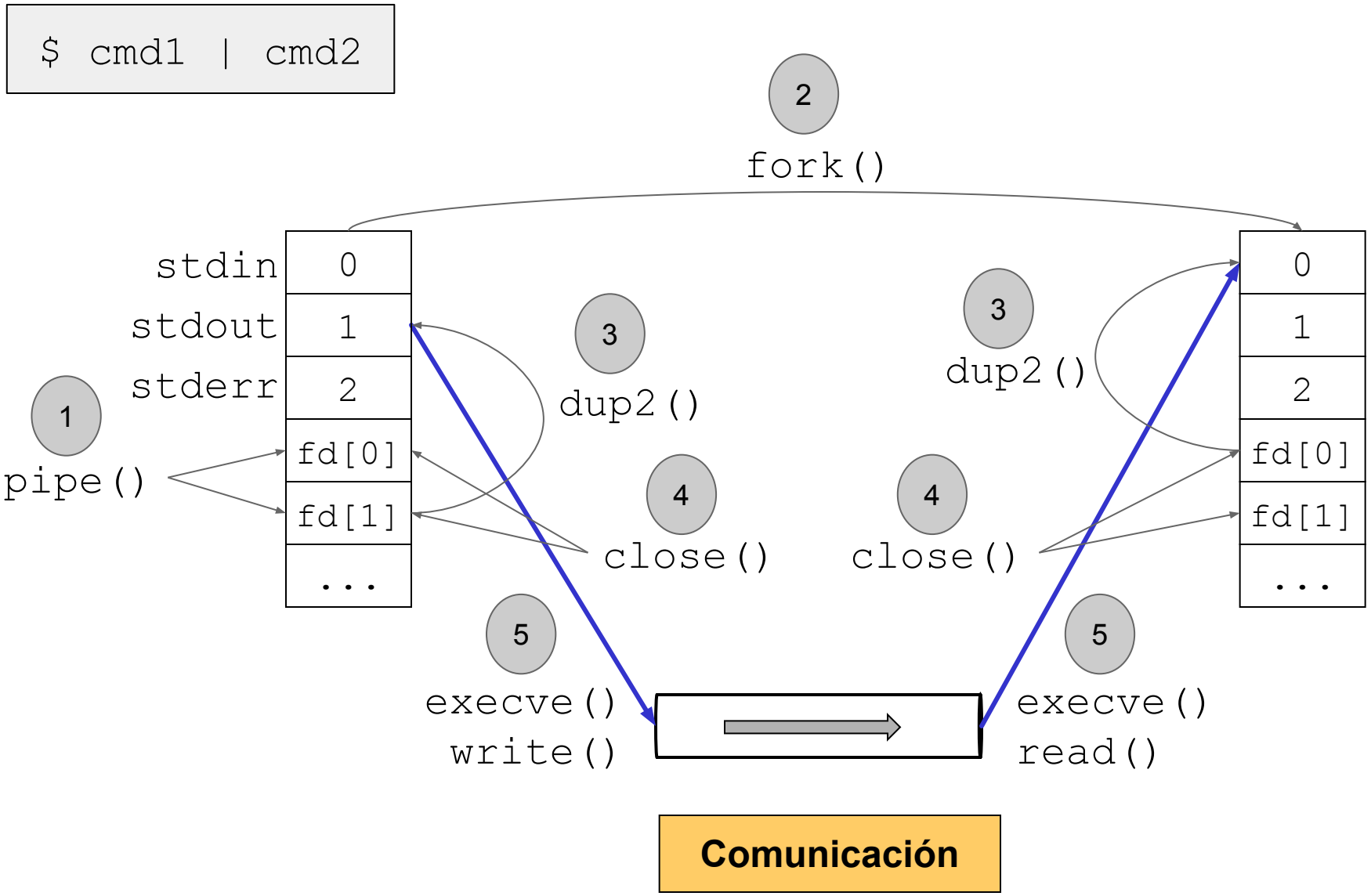
- Crear una tubería:

```
int pipe(int fd[2]);
```

Extremo de escritura: `fd[1]`  Extremo de lectura: `fd[0]`

  - Si la tubería está vacía, `read(2)` se bloqueará hasta que haya datos disponibles
  - Si la tubería se llena, `write(2)` se bloqueará hasta que se lean suficientes datos para que se pueda completar la escritura
  - Si todos los descriptores de escritura se han cerrado, `read(2)` devolverá cero, indicando el fin de fichero
  - Si todos los descriptores de lectura se han cerrado, `write(2)` enviará la señal `SIGPIPE` al proceso y, si se ignora la señal, fallará con `EPIPE`
  - Los descriptores que no sean necesarios deben cerrarse para asegurarse de que se notifica el fin de fichero o `SIGPIPE`/`EPIPE` cuando sea necesario

Tuberías sin Nombre: Ejemplo



Tuberías con Nombre

- La comunicación mediante **tuberías sin nombre** se puede realizar únicamente entre **procesos con relación de parentesco**
- Una **tubería con nombre**, o **fichero especial FIFO**, es similar a una tubería sin nombre, salvo que se accede como parte del sistema de ficheros
  - La entrada en el sistema de ficheros solo sirve para que los procesos abran la misma tubería con `open(2)` usando un nombre
  - El núcleo realiza la sincronización y almacena los datos internamente, sin escribirlos en el sistema de ficheros
  - El extremo de lectura se abre con `O_RDONLY` y el de escritura, con `O_WRONLY`
  - Varios procesos pueden abrir la tubería para lectura o escritura
- Deben abrirse ambos extremos antes de poder intercambiar datos
  - Normalmente, la apertura de un extremo se bloquea hasta que se abre el otro extremo
  - En modo no bloqueante (*flag* `O_NONBLOCK`), la apertura para lectura no se bloqueará aunque la tubería no esté abierta para escritura

Tuberías con Nombre

```
<sys/types.h>
<sys/stat.h>
<fcntl.h>
<unistd.h>
```

SV+BSD

- Crear ficheros especiales:

```
int mknod(const char *filename,
          mode_t mode, dev_t dev);
```

  - `filename` es el nombre del fichero (fichero, dispositivo, tubería) que se creará
  - `mode` especifica los permisos (modificados por *umask*) y el tipo de fichero que se creará como OR lógica. El tipo ha de ser:
    - `S_IFREG`: Fichero regular
    - `S_IFCHR`: Dispositivo de caracteres (`dev` = *major,minor*)
    - `S_IFBLK`: Dispositivo de bloques (`dev` = *major,minor*)
    - **`S_IFIFO`**: Tubería con nombre
    - `S_IFSOCK`: Socket UNIX

- El comando `mknod` proporciona acceso a esta funcionalidad:

```
mknod [-m permisos] nombre tipo
```

  - `tipo` puede ser
    - `b`: Dispositivo de bloques
    - `c`: Dispositivo de caracteres
    - **`p`**: FIFO

Tuberías con Nombre

<sys/types.h>
<sys/stat.h>

POSIX

- Crear tuberías con nombre:

```
int mkfifo(const char *filename,
           mode_t mode);
```

  - `filename` es el nombre de la tubería que se creará
  - `mode` son los permisos (modificados por *umask*) con que se creará la tubería

- El comando `mkfifo` proporciona acceso a esta funcionalidad:

```
mkfifo [-m permisos] nombre
```

Sincronización de E/S

- Cuando un proceso gestiona varios canales de E/S (tubería, socket o terminal), no debe bloquearse indefinidamente en uno de ellos mientras otros están listos para realizar una operación
- Alternativas:
  - E/S no bloqueante: Opción `O_NONBLOCK`
    - En lugar de bloquearse, la llamada falla con `errno=EAGAIN`
    - Es como la E/S por encuesta y consume tiempo de CPU innecesariamente, ya que el proceso nunca se bloquea, incluso si ningún descriptor está listo
  - E/S guiada por eventos: Opción `O_ASYNC`
    - El proceso recibe una señal (por defecto, `SIGIO`) cuando el descriptor está preparado para realizar la operación
    - La gestión de señales asíncronas modifica la lógica del programa
  - **Multiplexación de E/S síncrona**: Funciones `select()`, `poll()` y `epoll()`
    - El proceso monitoriza varios descriptores a la vez, esperando a que uno o varios estén listos para realizar una operación de E/S determinada de forma **síncrona**

Multiplexación de E/S Síncrona

<sys/select.h>
POSIX+BSD

- Seleccionar descriptores de fichero preparados:

```
int select(int nfds, fd_set *readfds, fd_set *writefds,
           fd_set *exceptfds, struct timeval *timeout);
```

  - `nfds` es el mayor de los descriptores en los tres conjuntos, más 1
  - `readfds` es el conjunto de descriptores de lectura
  - `writefds` es el conjunto de descriptores de escritura
  - `exceptfds` es el conjunto de descriptores de condiciones excepcionales
    - Por ejemplo, que haya datos urgentes (*out-of-band*) en un socket TCP
  - `timeout` es el tiempo máximo en el que retornará la función
    - Si es `{0, 0}`, retorna inmediatamente
    - Si es `NULL`, se bloquea hasta que se produce un cambio
  - Devuelve el número de descriptores listos o 0 si expira el tiempo máximo
    - Los conjuntos se modifican para indicar qué descriptores están listos para cada operación
  - Si se produce un error, los conjuntos no se modifican y `timeout` queda indeterminado

Multiplexación de E/S Síncrona

- Macros para la manipular los conjuntos:

```
void FD_ZERO(fd_set *set);
void FD_SET(int fd, fd_set *set);
void FD_CLR(int fd, fd_set *set);
int FD_ISSET(int fd, fd_set *set);
```

  - `FD_ZERO` inicializa un conjunto como conjunto vacío
  - `FD_SET` añade un descriptor a un conjunto
  - `FD_CLR` elimina un descriptor de un conjunto
  - `FD_ISSET` comprueba si un descriptor está en un conjunto, lo cual es útil después de que `select()` retorne

Multiplexación de E/S Síncrona

```
...
fd_set rfds;

FD_ZERO(&rfds);
FD_SET(0, &rfds);

timeout.tv_sec = 2;
timeout.tv_usec = 0;

cambios = select(1, &rfds, NULL, NULL, &timeout);

if (cambios == -1)
   perror("select()");
else if (cambios) {
   read(0, buffer, 80);
   printf("Datos nuevos: %s\n", buffer);
} else {
   printf("Ningún dato nuevo en 2 seg.\n");
}
...
```