Llamadas al sistema para la gestión de procesos

C Prácticas

Tabla de contenido

Introducción

Como ya se ha estudiado, un proceso es un programa que ha sido cargado en memoria y está siendo ejecutado por un procesador.

Un programa queda completamente definido por el código que resulta de la compilación y del enlazado del código fuente del programa. Este código contiene una serie de instrucciones que debe ejecutar un procesador para realizar una determinada tarea y es una estructura pasiva. Sin embargo el proceso es una estructura activa que incluye el código del programa y sus datos, también el estado de aquellos recursos que necesita el programa para ejecutarse.

El manejo de concurrencia exige a su vez la necesidad de mecanismos que hagan posible la solución de los problemas que surgen de la propia definición de concurrencia, problemas tales como el acceso a una región crítica (exclusión mutua), el interbloqueo, etc.

El S.O. UNIX (y los unix-like como Linux) al ser un Sistema Operativo Multiusuario y Multitarea, nos permite la posibilidad de programar procesos concurrentes, además, posee un conjunto de recursos para comunicación y sincronización entre procesos, que pueden utilizarse mediante llamadas a funciones del sistema formando parte de un programa en lenguaje C.

Este conjunto de recursos (semáforos, paso de mensajes, etc.) se encuentran en la librería IPC (InterProcess Communication).

El objetivo principal de esta lección es familiarizarnos con los mecanismos de comunicación entre procesos existentes en UNIX-LINUX, sobre todo con la utilización de la función **fork()**.

Algunas de las llamadas al sistema y funciones de librería (LF) (Ver Man-Pages Section 2 y Section 3) relacionadas con el manejo de procesos son las siguientes:

1. **fork** crea un nuevo proceso.
2. **wait** espera a que el proceso hijo pare o termine.
3. **exit** (LF)termina el proceso en curso.
4. **_exit** termina el proceso en curso sin limpieza de I/O.
5. **execl** (LF) carga y ejecuta el código de un programa con una lista de argumentos.
6. **execv** (LF) carga y ejecuta el código de un programa con un vector de argumentos.
7. **execle** (LF) carga y ejecuta el código de un programa con una lista de argumentos y un vector de entorno.
8. **execlp** (LF) carga y ejecuta el código de un programa con una lista de argumentos y un PATH de búsqueda.
9. **execvp** (LF) carga y ejecuta el código de un programa con un vector de argumentos y un PATH de búsqueda.
10. **getuid** obtiene el user-ID.
11. **getpid** obtiene el process-ID.
12. **getppid** obtiene el parent-process-ID.
13. **getpgr** obtiene el process-group-ID.
14. **getgid** obtiene el group-ID.

La orden ps

El sistema operativo nos permite ver el estado de los procesos en un determinado momento mediante la orden **ps**. Por ejemplo este puede ser el listado que nos presenta la orden **ps** en un determinado momento:

```
  PID TTY STAT TIME COMMAND
```

```
1615 p2 S 0:00 -bash
2420 p2 S 0:00 man ps
2422 p2 S 0:00 sh -c /usr/bin/gunzip -c /usr/man/cat1/ps.1.gz | /usr/bin/l
2424 p2 S 0:00 /usr/bin/less -is
2427 p5 S 0:00 -bash
2649 p5 R 0:00 ps
```

donde:

- PID es el identificador de proceso.
- TTY terminal asociada a ese proceso.
- STAT estado en el que están los procesos, S dormido, R ejecutándose, … (ver man)
- TIME es el tiempo que lleva el proceso ejecutándose.
- COMMAND es la orden correspondiente al proceso

Mediante la orden **man** consultaremos las distintas opciones de la orden ps. Algunas interesantes:

-l: listado largo
-u: nombre del usuario
-a: procesos de otros usuarios
-f: representa en una especie de árbol el parentesco entre los procesos

Existen otras opciones que se pueden mirar en **man ps**, bien directamente en la sesión del alumno o bien en http://man7.org/linux/man-pages/man1/ps.1.html

La orden top

Nos permite ver de forma dinámica el estado del sistema en general y el estado de los procesos, el tiempo de CPU consumido, la memoria consumida, la prioridad asignada a los procesos, etc.

Para mayor detalle de la orden top ver man top o http://man7.org/linux/man-pages/man1/top.1.html

Posix

Las diferencias a nivel de sistema entre los diferentes sistemas Unix de diferentes vendedores, provocó la aparición de diferentes estándares en la especificación de la interfaz de los sistemas con los programas de aplicación. Nosotros vamos a seguir los siguientes estándares: ANSI C, POSIX y Spec 1170.

La IEEE desarrolló una serie de estándares denominados POSIX (Portable Operating System Interface) que especifican la interfaz entre el sistema operativo y el usuario de modo que los programas sean transportables a través de diferentes plataformas.

De entre los diferentes miembros del grupo de estándares nosotros nos centraremos en el POSIX.1 que especifica la API (Lenguaje C).

Credenciales de usuario

Cada usuario del sistema se identifica por un número único denominado ID de usuario o UID, y pertenece a un grupo de usuarios, que posee su ID de grupo o GID. Estos identificadores afectan a la propiedad de los archivos, a los permisos de acceso, y a la capacidad de enviar señales a otros procesos. Estos atributos se denominan globalmente credenciales.

A nivel de kernel, los usuarios y los grupos no se identifican por nombres, sino por números, el UID y el GID. Esta asignación se realiza a través de los archivos /etc/passwd y /etc/group, respectivamente. Cuando un usuario entra al sistema, el pograma de entrada (login) establece ambos pares a los UID y GID especificados en estos ficheros.

El sistema reconoce a un usuario privilegiado denominado superusuario (normalmente este usuario accede al sistema como root).

El superusuario tiene UID = 0 y GID = 1. El superusuario tiene muchos privilegios como el acceso a archivos de otros usuarios, a pesar de la protección de estos, y puede ejecutar un cierto número de llamadas al sistema privilegiadas, como por ejemplo, mknod para crear un nodo del sistema de archivos. Muchos sistemas UNIX actuales tales como SVR4.1/ES soportan mecanismos de seguridad incrementada. Estos sistemas sustituyen la abstracción de superusuario privilegiado único con privilegios para operaciones diferentes.

Cada proceso de Unix tiene un UID y un GID asociados, y al intentar abrir un archivo para escribir, por ejemplo, estas ID se utilizan para determinar si se debe otorgar acceso al proceso o no. Estas ID constituyen el privilegio efectivo del proceso,

porque determinan qué puede hacer un proceso y qué no. La mayoría de las veces, estas identificaciones se denominarán el UID y GID efectivo. El UID efectivo y el GID efectivo afectan por tanto a la creación y acceso de archivos.

Durante la creación de un archivo, el kernel establece los atributos de propiedad del archivo a los UID y GID efectivos del proceso creador. Durante el acceso al archivo, el kernel utiliza los UID y GID efectivos del proceso para determinar si puede acceder al archivo.

Los UID y GID reales identifican al propietario real del proceso y afectan a los permisos para enviar señales. Un proceso sin privilegios de superusuario puede enviar señales a otro proceso sólo si el UID real del emisor iguala al UID real del receptor.

Por ejemplo, el comando passwd sirve para cambiar el password a tu usuario, no te dejará cambiar el password de otra cuenta. ¿Cómo sabe el comando qué usuario está invocando el comando? Aquí es donde entra el UID real y el GID real. Se utilizan para saber quién es el usuario real, es decir, con qué cuenta está registrado en el sistema. Este UID real no se cambia cuando invocas comandos como passwd, por lo que el programa simplemente mira el UID real del proceso para determinar si puede realizar o no la acción.

La mayoría del tiempo el UID real y el efectivo son el mismo. Hay un bit de permiso que se puede asignar a un ejecutable, es el bit setuid o tambien llamado suid, que hace que cualquier usuario pueda ejecutar ese ejecutable tomando el rol del propietario del mismo. Por ejemplo, passwd tiene el bit setuid activo de forma que el usuario pueda ejecutarlo y escribir en el fichero de passwords (cambiar su password) mediante el uso de este programa sin tener que dar permisos de escritura a todo el mundo en dicho fichero. Aquí vemos cómo el ejecutable passwd tiene activo el bit setuid (la s en el atributo de ejecución de usuario lo marca)

```
matrix@so:~$ ls -ls /usr/bin/passwd
56 -rwsr-xr-x 1 root root 54192 May 17  2017 /usr/bin/passwd
```

De esta forma cuando invoques una aplicación setuid (aquella que tiene el bit setuid activo), el UID efectivo del proceso que se ejecuta es el del propietario del archivo, en el ejemplo de passwd el proceso correrá con el UID efectivo de root, pero el UID real del proceso es el de tu usuario, por lo que el proprio proceso passwd no permitirá cambiar el password de otro usuario. Necesitas el bit setuid activo en passwd para poder escribir como root en el fichero de passwords del sistema.

Existen tres llamadas al sistema que pueden cambiar las credenciales. Si un proceso llama a exec para ejecutar un programa instalado en modo suid, el kernel cambia el UID efectivo del proceso al del propietario del archivo. De la misma forma, si el programa esta instalado en modo sgid, el kernel cambia el GID efectivo del proceso llamador.

UNIX suministra este mecanismo para otorgar privilegios especiales a usuarios para realizar tareas concretas. El ejemplo clásico es el programa passwd, que permite a un usuario cambiar su propio password. Este programa debe escribir en la base de datos de password, en la cual no esta permitida la escritura directa por parte de los usuarios (para evitar la modificación de password de otros usuarios). Así, el programa passwd es propiedad del superusuario y tiene activo el bit SUID. Esto permite al usuario obtener los privilegios de superusuario mientras ejecuta el programa passwd.

Un usuario puede cambiar sus credenciales llamando a setuid o setgid. El superusuario puede invocar estas llamadas al sistema para cambiar tanto los UID y GID efectivos como los reales. Los usuarios ordinarios pueden utilizarlas para cambiar sus UID y GID efectivos y devolverlos a los reales.

A continuación se recogen las funciones con las cuales podemos consultar los identificadores de proceso, del padre del proceso, el identificador de usuario real y efectivo, y el identificador de grupo real y efectivo, del proceso llamador, respectivamente.

```
# include <sys/types.h>
# include <unistd.h>
pid_t getpid(void) Retorna: ID del proceso que la invoca
pid_t getppid(void) Retorna: ID del padre
pid_t getuid(void) Retorna: ID real de usuario
pid_t geteuid(void) Retorna: ID efectivo de usuario
pid_t getgid(void) Retorna: ID real del grupo
pid_t getegid(void) Retorna: ID efectivo del grupo
```

Llamada	**Descripción**
Includes: #include <unistd.h> #include <sys/types.h>**Declaración:** pid_t getpid(void) pid_t getppid(void)**Uso:** pid = getpid() ppid = getppid()	**getpid()**: Obtener el identificador único (PID) del proceso que haga la llamada. Se suele utilizar para construir nombres de ficheros temporales.**getppid()**: Obtener el identificador único del proceso padre (PPID) del proceso llamador.**ERRORES**:Estas dos llamadas al sistema siempre tienen éxito, y no retornan ningún valor para indicar si se ha producido un error.

Includes:
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>**Declaración:**
uid_t getuid(void)
uid_t geteuid(void)
gid_t getgid(void)**Uso:**
uid = getuid()
euid = geteuid()
gid = getgid()

getuid(): Obtener el ID del propietario real del proceso llamador.**geteuid()**: Obtener el ID del propietario efectivo del proceso llamador.**getgid()**: Obtener el ID de grupo del propietario El propietario real es el usuario que invocó el programa.Puesto que el usuario real puede dar permisos adicionales a otros usuarios durante la ejecución de procesos "set-user-ID", getuid() se utiliza para determinar el ID del usuario real.**ERRORES**:Estas dos llamadas al sistema siempre tienen éxito, y no retornan ningún valor para indicar si se ha producido un error.

Includes:
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>**Declaración:**
pid_t getpgrp(void)
pid_t getpgid(pid_t pid)**Uso:**
pgrp = getpgrp()
pgid = getpgid(pid)

getpgrp(): Obtener el identificador de grupo PID al que pertenece el proceso actual.**getpgid(pid)**: Obtener el identificador de grupo PID al que pertenece el proceso especificado. Si pid es 0, funciona exactamente igual que **getpgrp()**.Los grupos de procesos se utilizan para distribución de señales, y por los terminales para regular peticiones de su entrada: los procesos que están en el mismo grupo en el que el terminal es un proceso de primer plano (foreground) podrán leer, mientras que el resto se pueden bloquear mediante una señal si intentasen leer.Estas llamadas se utilizan, por tanto, por programas como el shell (sh) para crear grupos de procesos para la implementación de trabajos de control.Tenemos además dos llamadas adicionales: **tcgetpgrp()** y **tcsetpgrp()**, que se utilizan para obtener y establecer el grupo de procesos del terminal de control.

Llamadas al sistema y funciones de librería relacionadas con procesos

A continuación se hace una revisión de las principales llamadas al sistema para la gestión de procesos. Pero antes comentar brevemente el estándar que vamos a seguir para la especificación de las sintaxis y semántica de las llamadas, el estándar POSIX.

fork

El único modo de que el núcleo de Unix cree un nuevo proceso es mediante la ejecución de la llamada **fork()** realizada por un proceso existente.

El nuevo proceso que se crea se llama "proceso hijo". El proceso al que llama fork lo llamaremos padre y al nuevo proceso (la copia) lo llamará hijo.

Esta función devuelve un valor numérico que será distinto para el padre y para el hijo. El núcleo devuelve un valor cero para el proceso hijo, mientras que al proceso padre le devuelve el identificador del proceso hijo.

El motivo de esto es que un proceso padre puede tener varios hijos mientras que los hijos tienen un solo padre (existe una llamada al sistema que puede permitir al hijo obtener el identificador de su proceso padre: **getppid()**).

El proceso hijo es una copia exacta del proceso padre, de hecho el proceso hijo tiene una copia del espacio de datos, heap (memoria dinámica) y de la pila. Sin embargo, el espacio de direcciones de datos del proceso padre será distinto del espacio de direcciones del proceso hijo, lo cual implica que **ambos procesos no comparten los datos, sólo se hace un copia para el hijo**. Habitualmente el padre y el hijo compartirán el segmento de código ya que este es de sólo lectura.

Normalmente, el segmento de código es compartido -si es de sólo lectura. Algunas implementaciones no realizan una copia completa del padre dado que normalmente la operación fork es seguida de exec. En su lugar se emplea la técnica copia-sobre-escritura.

Ambos procesos siguen su ejecución en la instrucción siguiente a la llamada fork(), es decir, una vez creado el proceso ambos siguen ejecutándose por la instrucción que sigue a fork. En general, **no conoceremos nunca si el hijo se ejecuta antes que el padre o la inversa**. Esto dependerá del algoritmo de planificación.

fork retorna diferentes valores para cada proceso. Para el padre fork retorna el PID del hijo, y para el hijo fork retorna cero.

Como ejemplo de uso véase el siguiente programa, ejemplo **c014.c,** de cómo un proceso crea un hijo y padre e hijo se identifican.

```
#incluye <stdio.h>
#incluye <stdlib.h>
main (){
  if ( fork() == 0 )
      printf ("Este es el hijo\n");
  else
```

```
      printf ("Este es el padre\n");
exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

Cuando ejecutamos el programa lo que obtenemos es:

```
Este es el padre
Este es el hijo
```

Las únicas diferencias entre el proceso padre y el hijo son los valores que retornan, el process-ID y el parent-process-ID.

LLamada	Descripción
Includes: #include <unistd.h> #include <sys/types.h>**Declaración:** pid_t fork(void)**Uso:** pid = fork()	Crea un proceso hijo con la misma imagen de proceso (core image) que el padre, funcionando ambos en paralelo. El hijo es una copia exacta del proceso padre, aunque con alguna diferencia que comentaremos a continuación.No toma argumentos y **retorna**:El valor -1 en caso de no haberse podido crear el proceso hijo (error), y se establece la variable global **errno**. Más adelante enumeramos los posibles errores que pueden producirse.En el proceso padre, retorna el PID que se le ha asignado al proceso hijoEn el proceso hijo retorna 0**Esta es la forma de distinguir el proceso padre y el hijo**. Un proceso puede hacer uso de una función **getpid()** para conocer su propio PID, así como de la función **getppid()** para conocer el PID del proceso padre. En el caso del proceso padre, su padre será el proceso 1, denominado proceso INIT, que representa al sistema operativo.Ambos procesos tendrán iguales:UID y GIDCódigoDescriptores de ficheros. **Todos los ficheros que tiene abiertos el padre también los tendrá el hijo, compartiendo los punteros de fichero**. Dicho de otro modo, si el proceso hijo realiza un desplazamiento del puntero (lseek) el puntero del padre también se desplazaGestión de señales: idem.Directorio de trabajoMáscara de protecciónContador de programa: ambos procesos ejecutarán la siguiente instrucción a la llamada fork(), pero cada uno en su su copia del código.Pero tendrán diferencias:PID: puesto que son procesos diferentes tendrán un PID diferente y único.PPID: del mismo modo, el PID del proceso padre de ambos es diferente.**Se anulan las posibles alarmas pendientes**.Cada proceso tendrá su propio espacio de proceso.¡**Las variables son copias (no se comparten)**!ERRORES:[EAGAIN] The system-imposed limit on the total number of processes

> under execution would be exceeded. The limit is given by the sysctl(3) MIB variable KERN_MAXPROC. (The limit is actually one less than this except for the super user).[EAGAIN] The user is not the super user, and the systemimposed limit on the total number of processes under execution by a single user would be exceeded. The limit is given by the sysctl(3) MIB variable KERN_MAXPROCPERUID.[EAGAIN] The user is not the super user, and the soft resource limit corresponding to the resource parameter RLIMIT_NPROC would be exceeded (see getrlimit(2)).

wait y waitpd

Cuando un proceso hijo acaba se debe notificar a su padre el estado de terminación de éste.

De algún modo **el proceso padre deberá estar esperando la respuesta del hijo**. Esto se realiza mediante la llamada al sistema **wait()**.

El proceso que ejecuta la llamada al sistema **wait() quedará en espera** (se bloquea) hasta que se le notifique que cualquiera de sus hijos ya ha acabado y entonces seguirá ejecutando la línea de código siguiente a **wait()**.

Esta llamada tiene un **parámetro donde recogerá el estado de terminación del primer hijo que haya acabado**, además de que **devuelve el número de proceso del hijo que ha acabado**. Si no nos interesa el estado de terminación del proceso hijo se le puede pasar NULL.

El estado que recoge la función **wait()** se interpreta mediante una serie de macros ya definidas (ver hojas del manual de UNIX).

Existe una variante de esta llamada, es **waitpid()**. En este caso el proceso que ejecuta **waitpid()** esperará a un hijo concreto.

Podemos controlar la ejecución del proceso hijo llamando a **wait** en el padre.

wait fuerza al padre a detener la ejecución hasta que el proceso hijo haya terminado.

wait retorna el processID del proceso hijo que termina y almacena su status en el entero al que apunta el puntero que debe llevar como argumento (statusp) a menos que el argumento sea NULL en cuyo caso no almacena el status.

Ejemplo c014.c:

El siguiente programa garantiza que el proceso hijo termina antes que el padre.

```
#incluye <stdio.h>
#incluye <stdlib.h>
main (){
if ( fork() == 0 )
  printf ("Este es el hijo\n");
else {
  wait (NULL)
  printf ("Este es el padre\n");
  }
exit (EXIT_SUCCESS);
}
```

wait retorna -1 en caso de fallo.

La finalización de un proceso se notifica a su proceso padre a través de una señal **SIGCHLD**.

Dado que es un evento asíncrono, el padre puede elegir entre ignorar la señal o puede suministrar una función que se ejecute cuando se reciba la señal, un manejador de la señal.

Un proceso que llama a **wait** o puede:

- bloquearse (si todos sus hijos se están ejecutando), o
- retornar inmediatamente con el estado de finalización de un hijo que ha finalizado), o
- retornar inmediatamente con código de error (si no tiene ningún hijo).

La sintaxis de las funciones es:

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
pid_t wait(int *stacloc);
pid_t waitpid (pid_t pid, int *statloc, int opcion);
```

La diferencia entre las dos funciones es:

- **wait** puede bloquear al llamador hasta que un hijo termine, mientras que **waitpid** tiene una opción (parámetro) que evita el bloqueo.
- **waitpid** no espera la terminación del primer hijo, tiene una opción que permite controlar a que proceso esperar.

Para ambas funciones, el argumento **statloc** es un puntero a un entero. Si este argumento no es un puntero nulo, el estado de terminación del hijo se almacena en la posición apuntada por el argumento.

Si no estamos interesados por el valor, podemos pasar un puntero nulo. Tradicionalmente, el valor de estado devuelto por estas dos funciones ha sido definido por la implementación, con determinados bits indicando el estado de finalización.

POSIX.1 especifica para la visualización del estado de finalización varias macros mutuamente exclusivas definidas en <sys/wait.h>:

- **WIFEXITED(status)** – Devuelve cierto si el hijo ha terminado normalmente, en cuyo caso puede ejecutarse WEXITSTATUS(status) para obtener los 8 bits de orden inferior del argumento pasado por el hijo con exit o _exit.
- **WIFSIGNALED(status)** – Devuelve cierto si el hijo terminó anormalmente (recibió una señal que no pudo manejar). Ejecutaremos **WTERMSIG(status)** para obtener el número de la señal. Además, SVR4 y 4.3+BSD definen la macro **WCOREDUMP(status)** que devuelve cierto si se generó un archivo 'core'.
- **WIFSTOPPED(status)** – Devuelve cierto si el valor de status fue devuelto por un hijo que está actualmente detenido. Podemos ejecutar **WSTOPSIG(status)** para obtener el número de la señal que paró al hijo.

Respecto a los valores que puede tomar la opcion en waitpid:

- **WNHANG** – En este caso waitpid no será bloqueante si el hijo especificado por pid no esta disponible inmediatamente. En este caso devuelve 0.
- **WUNTRACED** – Si la implementación soporta control de trabajos, se devuelve el estado del hijo especificado por pid que ha sido detenido y cuyo estado no ha sido devuelto desde su detención. La macro **WIFSTOPPED(status)** determina si el valor de retorno corresponde a un hijo parado.

La interpretación del argumento **pid** para **waitpid** depende de su valor:

- pid == -1 espera por cualquier hijo (equivalente a wait).

- pid > 0 espera por el hijo cuyo PID es igual a pid.
- pid == 0 espera por cualquier hijo cuyo ID grupo es igual al del proceso llamador.
- pid < -1 espera por cualquier hijo cuyo ID grupo es igual al valor absoluto de pid.

wait da error sólo si el proceso llamador no tiene hijos.

waitpid dará error si el proceso o grupo especificado no existe o no es hijo del llamador. Otro posible error de retorno es la interrupción de la llamada por una señal.

Ejemplo c015c: Un programa sencillo ilustrando el uso de wait.

```
#include <sys/types.h>
#include <sys/wait.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
void main (void){
pid_t childpid;
int status;

if ((childpid = fork()) == -1) {
   perror ("Fork ha fallado");
   exit(1);
   }
else if (childpid == 0)
        fprintf(stderr, "Soy el hijo con pid = %ld\n", (long)getpid());
else if (wait(&status) != childpid)
        fprintf (stderr, "Wait interrumpido por una señal\n");
else fprintf (stderr, "Soy el padre con pid = %ld\n",(long)getpid());
exit(0);
}
```

La salida “Wait interrumpido por una señal” sólo saldrá si mientras el padre está esperando la terminación del hijo, llega una señal al proceso padre.

Llamada	Descripción
includes: #include <sys/types.h> #include <sys/wait.h>	Suspende la ejecución del proceso llamador, y espera que termine alguno de sus hijos o bien reciba una señal, momento en el cual se pondrá en marcha de nuevo el padre.VERSIONES:Tenemos varias versiones de la misma llamada. Todas retornan el PID del

#include <sys/time.h> #include <sys/resource.h>NOTA: los 2 últimos #includes no son necesarios para la llamada wait.**Declaración:** pid_t wait(int *status) pid_t waitpid(pid_t wpid, int *status, int options)**Uso:** pid = wait(&estado)

proceso que ha terminado y el estado de terminación del hijo.**wait** es la más sencilla. Funciona tal y como acabamos de explicar.**waitpid** nos permite especificar además:**wpid**: el conjunto de procesos a los que la llamada esperará. Si **wpid es -1**, la llamada esperará cualquier proceso; si **wpid es 0**, la llamada esperará procesos del mismo grupo (GID) que el proceso llamador; si **wpid es > 0**, la llamada esperará la terminación del proceso cuyo PID se ha especificado; si **wpid es < -1**, la llamada esperará la terminación de cualquier proceso cuyo GID (identificador de grupo) sea el valor absoluto del valor especificado en wpid.**options**: nos permite especificar distintas opciones unidas por el operador OR de bits "|". Las opciones pueden ser:**WNOHANG**: utilizado para indicar que la llamada no debería bloquear la ejecución si no hay procesos que deseen informar de su estado, es decir, si cuando se llama a wait con esta opción si el proceso hijo no ha terminado ya, entonces no se para a esperar que notifique. **WUNTRACED**: si se establece, los hijos del proceso actual que se detengan **debido** a las señales **SIGTTIN**, **SIGTTOU**, **SIGTSTP** o **SIGSTOP** también informan de su estado.VALORES RETORNADOS:La llamada a **wait**, retorna el PID del proceso que ha terminado, así como el estado, que es un valor hexadecimal **0x0000**, donde los dos primeros (los de mayor peso) indican el estado del proceso hijo a la salida (lo que ha especificado en exit(n)) y los dos últimos (los de menor peso) el estado de terminación (si es 00 es que ha terminado bien).Si **wait** termina por otros motivos distintos de que algún proceso hijo haya terminado (por ejemplo, que haya llegado una señal), se nos retorna **-1**, y se establece la variable global **errno**.Las llamadas **waitpid()**, también funcionan del mismo modo. Además, si se ha especificado la opción WNOHANG y no hay hijos terminados, se retorna 0.El estado será:-1 si el padre no tiene ningún hijo. En este caso la llamada a wait no tiene efecto.0 si el hijo ha terminado normalmente;otro valor en caso de error.NOTAS:Si un proceso padre termina sin esperar a que todos los procesos hijos terminen, a los procesos hijos huérfanos se les asigna el proceso 1 (INIT) como proceso padre.Si una señal es capturada mientras se está bloqueado en un **wait()**, la llamada podrá ser interrumpida o reiniciada cuando la rutina manejadora de la señal retorne. Esto depende de las opciones establecidas para la señal.MACROS: Se dispone de una serie de macros:**WIFSTOPPED(status)** True if the process has not terminated, but has stopped and can be restarted. This macro can be true only if the wait call specified the WUNTRACED option or if the child process is being traced (see ptrace(2)). Depending on the values of those macros, the following macros produce the remaining status information about the child process:**WEXITSTATUS(status)** If

WIFEXITED(status) is true, evaluates to the loworder 8 bits of the argument passed to _exit(2) or exit(3) by the child.**WTERMSIG(status)** If **WIFSIGNALED(status)** is true, evaluates to the number of the signal that caused the termination of the process.**WCOREDUMP(status)** If **WIFSIGNALED(status)** is true, evaluates as true if the termination of the process was accompanied by the creation of a core file containing an image of the process when the signal was received.**WSTOPSIG(status)** If **WIFSTOPPED(status)** is true, evaluates to the number of the signal that caused the process to stop.

Sobre las opciones WNOHANG y WUNTRACED (fuente: Stackoverflow)

> *You usually use WNOHANG and WUNTRACED in different cases.*
>
> *Case 1: Suppose you have a process which spawns off a bunch of children and needs to do other stuff while the children are running. These children sometimes exit or are killed, but the kernel will hold onto their exit status until some other process claims it via wait() or waitpid(). So, your parent process needs to call wait()/waitpid() on occasion to let the kernel rid itself of the remains of the child. But we don't want wait()/waitpid() to block, because, in this case, our process has other things that it needs to do. We just want to collect the status of a dead process if there are any. That's what WNOHANG is for. It prevents wait()/waitpid() from blocking so that your process can go on with other tasks. If a child died, its pid will be returned by wait()/waitpid() and your process can act on that. If nothing died, then the returned pid is 0.*
>
> *Case 2: Suppose your parent process, instead, wants to do nothing while children are running. You don't want to just have it do some thumb-twidling for-loop, so you use a normal wait()/waitpid() without WNOHANG. Your process is taken out of the execution queue until one of the children dies. But what if one of your children is stopped via a SIGSTOP? Your child is no longer working on the task you have set it to, but the parent is still waiting. So, you've got a deadlock, in a sense, unless the child is continued by some means external to your parent and that child. WUNTRACED allows your parent to be returned from wait()/waitpid() if a child gets stopped as well as exiting or being killed. This way,*

> *your parent has a chance to send it a SIGCONT to continue it, kill it, assign its tasks to another child, whatever.*

exit

Esta función pone fin a la ejecución de un proceso. Su sintaxis es:

```
#include <stdlib.h>
void exit (int estado);

#include <unistd.h>
void _exit(int estado)
```

Ambas funciones devuelven un valor del estado de finalización al proceso padre. **El estado de finalización es indefinido si**:

1. la función exit se invoca sin valor de estado
2. main realiza un return sin valor de retorno
3. finaliza main sin un return explícito.

Esta función termina el proceso que la invoca, con un código de status igual al byte más a la derecha del status. Cierra todos los descriptores del proceso.

Es conveniente devolver un valor en exit() ya que de lo contrario se devuelve basura en el código del estado del proceso. **Por convención se devuelve cero si no hay error y un código distinto de cero si hay error**.

Ejemplo c016.c:

En el siguiente programa el padre espera a que el hijo salga y luego imprime el valor de status del hijo. El hijo lee el exit status que va a ser introducido por el terminal y entonces devuelve este valor al padre a través del exit . Entonces el padre imprime el exit status del hijo.

```
#incluye <stdio.h>
#incluye <stdlib.h>
main (){
unsigned int status;
```

```
if ( fork() == 0 ){ /* ==0 en el hijo */
  scanf("%d",&status);
  exit (status);
  }
else { /* !=0 en el padre */
  wait (&status);
  printf ("hijo exit status = %d\n",status >> 8);
  }
exit (0);
}
```

Existen varias formas terminación de un proceso:

Terminaciones normales:

1. Ejecutar un return desde la función main. Lo que es esquivalente a invocar a exit.
2. Llamar a la función exit. Esta función se define en ANSI C. Dado que ANSI C no trata con descriptores de archivos, procesos múltiples, ni control de trabajos, la definición de esta función es incompleta en los sistemas UNIX.
3. Llamar a la función _exit. Esta función se invoca por exit y maneja los detalles específicos de UNIX. La función se especifica en POSIX.1.

Terminaciones anormales:

1. Llamando a la función abort. Esto es un caso especial del siguiente caso, dado que genera la señal SIGABORT.
2. Cuando el proceso recibe determinadas señales. Dichas señales pueden ser generadas por el propio proceso, por otros procesos o por el kernel.

Llamada	Descripción
Includes: #include <unistd.h>**Declaración:** void _exit(int status)**Uso:** exit(estado)	Termina un proceso, retornando los dos dígitos hexadecimales que obtiene el proceso padre en "wait" que indican el estado en que termina un proceso hijo. Por convenio, retornamos un valor 0 cuando no hay error y un valor distinto de 0 cuando se produzca un error.VALORES RETORNADOS:La llamada exit nunca retorna un valor.Esta llamada provoca las siguientes acciones. Cuando un programa en C ejecuta la llamada al sistema exit, se realizan las siguientes, acciones:se confirman los cambios de los buffers de los ficherosse cierran todos los ficheros

(descriptores de fichero)se eliminan ficheros temporalesse notifica al proceso padre la terminación mediante el envío de la señal SIGCHLDse establece como PPID de todos los procesos que hayan quedado huérfanos el valor 1, que equivale al proceso INIT.si el proceso que ha terminado el es padre de todos los procesos de un grupo, se envían las señales SIGHUP y SIGCONT a todos los procesos huérfanos del grupo.si el proceso que ha terminado es un proceso controlador (intro), se envía la señal SIGHUP al proceso de primer plano (foreground) que controla el terminal y se prohibe el acceso al terminal controlador.

exec (execl, execv, execle, execve, execlp, execcp)

Uno de los usos de la orden **fork()** es la de crear otro proceso que ejecutará un programa diferente al del padre mediante la orden **exec()**. Cuando un proceso hace una llamada **exec()**, su código se reemplaza por el correspondiente al del nuevo programa que se quiere ejecutar.

Concretamente, **exec()** reemplaza el segmento de código, datos, heap y pila del proceso que hace la llamada por el correspondiente al programa que se quiere ejecutar.

El identificador del proceso no cambia ya que no se ha creado ningún nuevo proceso (además hay otras características del proceso invocante que se mantienen como: identificador real de usuario y de grupo, el identificador de sesión, el identificador de grupo de procesos, directorio actual de trabajo, directorio root, máscara de creación de ficheros, señales pendientes, etc. El identificador efectivo de usuario y grupo dependerá de si está activo o no el bit de usuario o grupo para el fichero que se vaya a ejecutar).

Cuando un proceso invoca a la función **exec**, el programa que ejecuta es totalmente sustituido por uno nuevo (nuevos segmentos de texto, datos, pila y heap), y el nuevo programa comienza ejecutando su función main. Existen **seis funciones exec** que únicamente se diferencian en la forma de pasar los argumentos. Sus sintaxis también se muestran en la tabla.

```
int execl (const char *path, char *const arg0, arg1, ..., NULL)
int execv (const char *path, char *const argv[])
int execle(const char *path, char *const arg0, arg1, ..., NULL, char *const envp[])
int execve(const char *path, char *const argv[],char *const envp[])
int execlp(const char *file, char *const arg0, arg1, ..., NULL)
int execvp(const char *file, char *const argv[])
```

Valor de Retorno:

No retornan nada si tienen éxito, -1 si error.

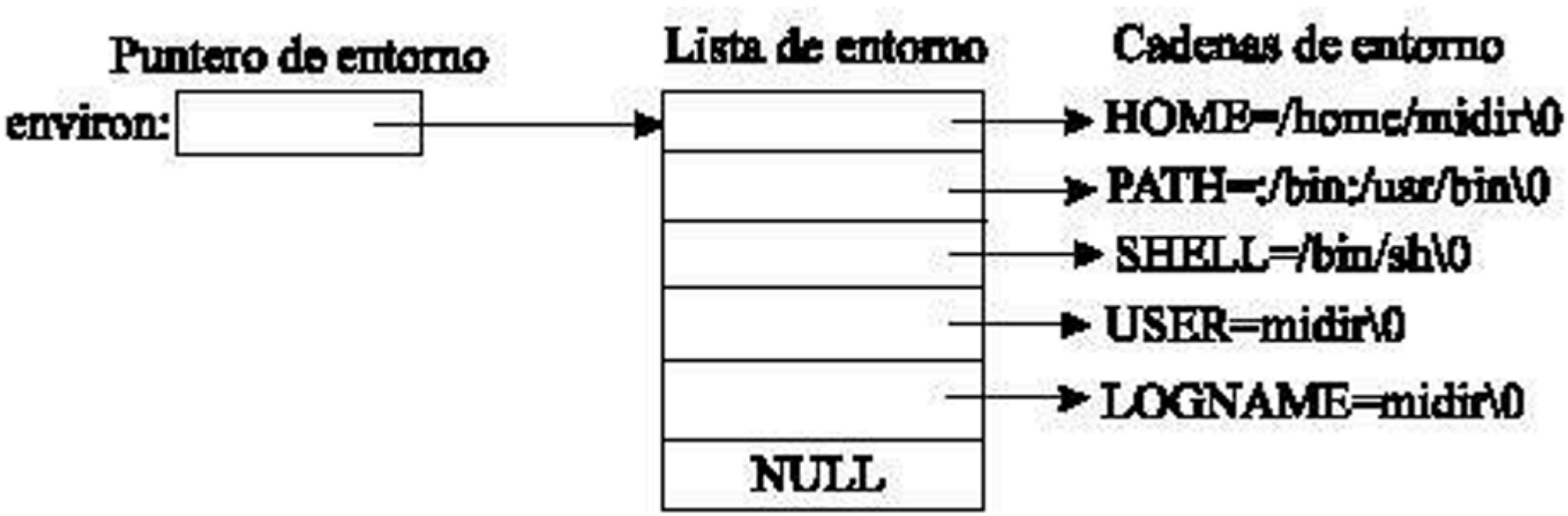
La primera diferencia entre estas funciones es que las cuatro primeras aceptan un pathname de archivo como argumento y las dos últimas un nombre de archivo. Cuando especificamos un nombre de archivo, si este contiene una barra se interpreta como un camino, en cualquier otro caso se busca un ejecutable en los directorios especificados en la variable del entorno PATH.

Si el archivo especificado no es ejecutable, se asume que es un programa shell e intenta invocar a /bin/sh como el nombre de archivo como argumento.

Otra diferencia afecta al paso de la lista de argumentos (**l** de lista y **v** de vector). Las funciones **execl**, **execlp** y **execle**, requieren que los argumentos del nuevo programa se especifiquen por separado y que se marque el fin de los argumentos con un puntero nulo.

Para las otras funciones, construiremos una matriz de punteros a los argumentos, y se pasa como argumento la dirección de la matriz.

La diferencia final esta en el paso de la lista de variables de entorno al nuevo programa. Las funciones que acaban con **e** permiten pasar un puntero a una matriz de punteros a la cadena de entorno. Las otras funciones usan la variable **environ** (variable global que contiene la dirección de la matriz de punteros, extern char **environ) en el proceso llamador para copiar la lista de entorno. Las variables de entorno se definen de la forma “nombre=valor”. La Figura ilustra un entorno que consta de cinco cadenas



El nuevo programa hereda del proceso invocador las siguientes propiedades:

- Los identificadores del proceso, de grupo y de sesión,
- El terminal de control,
- Tiempo restante del reloj de alarma,
- Directorios actual y root,
- Mascara de creación de archivos,
- Bloqueo de archivos,
- Mascara de señales y señales pendientes,
- Límites de recursos.

El manejo de los archivos abiertos depende del valor del indicador close-on-exec para cada descriptor (ver función **fcntl**).

Ejemplo c017c:

Programa que crea un proceso para ejecutar una orden pasada como argumento.

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

```
#include <errno.h>
void main(int argc, char *argv[]) {
pid_t childpid;
int status;
if ((childpid = fork() == -1) {
   perror("Fork ha fallado");
   exit(1);
   }
else if (childpid == 0) { /*codigo del hijo*/
        if (execvp(argv[1], &argv[1]) < 0) {
            perror("exec ha fallado");
            exit(1);
            }
     }
else /*codigo del padre*/
   while (childpid != wait(&status))
          if ((childpid == -1) && (errno != EINTR)
             break;
exit(0);
}
```

Las rutinas **exec** son llamadas para ejecutar un programa . Esto lo hacen sustituyendo el programa que se está ejecutando por el nuevo programa especificado en **exec**. Las rutinas **exec** no retornan valor cuando terminan adecuadamente y -1 cuando lo hacen mal.

Hay seis rutinas que pueden ser llamadas:

execl() Toma el Path del programa ejecutable como primer argumento. El resto de los argumentos son una lista de argumentos de la línea de comandos para el nuevo programa (argv[]).

```
#incluye <unistd.h>
...
execl ("/bin/cat", "cat", "f1", "f2", NULL);
execl ("a.out", "a.out", NULL);
```

execle() Igual que execl , excepto que el final de la lista de argumentos esta seguido por un puntero a una lista de caracteres terminada por un NULL que se pasa como el entorno del nuevo programa .

```
#incluye <unistd.h>
...
static char *env[] = { "TERM=ansi", "PATH=/bin:/usr/bin", NULL };
...
execle ("/bin/cat","cat","f1","f2",NULL,env);
```

execv() Toma el nombre del Path del programa ejecutable como su primer argumento. El segundo argumento es un puntero a una lista de punteros a caracteres que se pasa como argumentos en la linea de comandos para el nuevo programa.

```
#incluye <unistd.h>
...
static char *args[] = {"cat","f1","f2",NULL};
...
execv ("/bin/cat",args);
```

execve() Igual que execv excepto que el tercer argumento el un puntero a una lista de caracteres que pasa el entorno para el nuevo programa.

```
#incluye <unistd.h>
...
static char *env[] = { "TERM=ansi", "PATH=/bin:/usr/bin", NULL };
static char *args[] = { "cat", "f1", "f2", NULL };
...
execle ("/bin/cat",args,env);
```

execlp() Igual que execl con la diferencia de que el nombre del programa no tiene que ser el nombre del Path y puede ser un programa shell en lugar de un módulo ejecutable.

```
#incluye <unistd.h>
...
execlp ("ls", "ls", "-1", "/usr", NULL);
```

execvp() Igual que execv, solo que el nombre del programa no tiene que ser el nombre de Path, y puede ser un programa Shell en lugar de un módulo ejecutable.

```
#incluye <unistd.h>
...
static char *args[] = { "cat", "f1", "f2", NULL };
...
execv ("cat", args);
```

Llamada	Descripción
Includes: #include	En las llamadas al sistema **exec..()**, al contrario que **wait()**, el proceso hijo no ejecutará el mismo programa que el proceso padre, sino que ejecuta código almacenado en un fichero.

<unistd.h>**Declaración:**
int execv(const char *path, char *const argv[])
int execvp(const char *path, char *const argv[])
int execve(const char *path, char *const argv[], char *const envp[])
int execl(const char *path, char *const arg0, arg1, ..., NULL)
int execlp(const char *path, char *const arg0, arg1, ..., NULL)
int execle(const char *path, char *const arg0, arg1, ..., NULL, char *const envp[])**Uso:**
res = execv(...)
res = execvp(...)
res = execve(...)
res = execl(...)
res = execlp(...)
res = execle(...)

Este fichero podrá ser un fichero binario ejecutable o un script.Para poder ejecutar un script debemos especificar como nombre de fichero lo siguiente: "# ! sh [arg]", donde sh es el intérprete de comandos.VERSIONES:Tenemos 6 posibilidades ya comentadas anteriormente.execv
execvp
execve
execl
execlp
execleVALORES RETORNADOS:Estas 6 funciones **exec..()** retornan 0 si se ejecutan correctamente y -1 si fracasan (por ejemplo, si el fichero no existe), estableciendo la variable global **errno**.Cuando se ejecuta **exec..()**, el fichero de programa del primer argumento se carga en memoria, en el espacio de direcciones del proceso llamador y sobreescribe el programa que hay. Después, el programa recibe los argumentos y comienza su ejecución. Es decir, se cambia la imagen del proceso.Cuando se carga un programa y se ejecuta, dicho programa recibe los argumentos del modo habitual: main(int argn, char **argv, char **envp) donde argn es el número de elementos del array argv y argv apunta al array de cadenas de caracteres que representan los argumentos. Opcionalmente, si hemos pasado el array de variables de ambiente, se reciben exáctamente igual que los que se reciben desde la línea de órdenes, salvo que en vez de contener la tabla de variables del sistema, contendrá la tabla de variables especificadas.En el nuevo proceso hay ciertas características que se conservan o que cambian:Los descriptores de ficheros abiertos se mantienen.Las señales establecidas para que se ignoren (SIG_IGN) en el proceso llamador, se establecerán también que se ignoran en el nuevo proceso.Las señales en las que se ha definido una función manejadora, se establecen a la acción por defecto (SIG_DLF) en el nuevo proceso, es decir, exit(0).El nuevo proceso hereda los siguientes atributos desde el proceso llamador: PID (getpid), PPID (getppid), GID (getpgrp), grupos de acceso (getgroups), directorio de trabajo (chdir), directorio raiz (chroot), recursos utilizados (getrusage), intervalos de timers (getitimer), límites de recursos (getrlimit), máscara de modo de fichero (umask) y máscara de señal (sigvec y sigsetmask).ERRORES:[ENOTDIR] A component of the path prefix is not a directory.[ENAMETOOLONG] A component of a pathname exceeded 255 characters, or an entire path name exceeded 1023 characters. [ENOEXEC] The new process file has the appropriate access permission, but has an invalid

> magic number in its header.[ETXTBSY] The new process file is a pure procedure (shared text) file that is currently open for writing or reading by some process.[ENOMEM] The new process requires more virtual memory than is allowed by the imposed maximum (getrlimit(2)).[E2BIG] The number of bytes in the new process' argument list is larger than the system-imposed limit. This limit is specified by the sysctl(3) MIB variable KERN_ARGMAX.[EFAULT] The new process file is not as long as indicated by the size values in its header.[EFAULT] Path, argv, or envp point to an illegal address.[EIO] An I/O error occurred while reading from the file system.

Ejemplos

Ejemplo c018.c (son dos ficheros): Ejemplo de execl

Con el siguiente programa no sólo creamos un nuevo proceso sino que vamos a ver como ejecutarlo.

Aunque **fork()** es una herramienta muy poderosa, su acción suele combinarse en la mayoría de las ocasiones con otra llamada al sistema: **execl()**. Si fork() era la única manera de crear procesos en UNIX, execl() es la única manera de ejecutarlos.

La llamada execl() deber llevar como argumentos mínimos el PATH (camino absoluto o relativo) del proceso hijo y el nombre del proceso hijo. A partir de ahí se le pueden dar todos los argumentos que se deseen, siempre que la lista termine en un NULL.

De esta forma, con esta llamada se sustituye en la copia del proceso primitivo su segmento de datos y de instrucciones con lo que los procesos dejan de ser iguales y se puede empezar a hablar de creación de un verdadero proceso hijo diferente del padre.

El programa padre creará y ejecutará un proceso hijo, cogiendo su código desde otro fichero.

/* Programa que crea un proceso hijo y lo ejecuta con exec1()*/

Fichero c018_padre.c

```
#incluye<stdio.h>
main() {
int pid; /*En pid almacenaremos el nº deidentificación de proceso devuelto por fork()*/
```

```
pid=fork(); /*fork() crea un clon del proceso primitivo*/
switch(pid) {
  case -1: /*fork devuelve -1 en caso de error*/
      printf("\nNo se puede crear proceso hijo");
      exit(0); /* salimos al S.O.*/
  case 0: /*el valor 0 es asignado al hijo, mientras que el */
      /* proceso padre recibe el número de identificación del hijo*/
      printf("\n número de identificación del proceso HIJO%d",pid);
      execl("./hijol","hijol",NULL); /* ejecutamos el hijo */
  default:
      printf("\n número de identificación del PADRE %d",pid);
      sleep(1); /*E1 programa espera un segundo y termina */
  }
}
```

Fichero c018_hijo.c

Es ejecutado desde PADRE1. Lo único que hace es generar una salida por pantalla

/* Programa que es ejecutado desde el padre para mostrar la cooperación entre fork() execl()*/

```
#incluye<stdio.h>
main() {
printf ("\n\n ------HIJO-----\n\n");
}
```

Ejemplo c019.c : Ejemplo de fork

Es recomendable comprobar siempre que se haya podido crear el proceso hijo después de realizar la llamada al fork(). Esto ocurre cuando el valor devuelto por fork() es -1 (< 0 en general).

Por ello, la estructura típica cada vez que utilicemos la llamada fork() será la siguiente:

```
// ==========================================
// Programa: Ejemplo de fork
// Archivo : fork0.c  o c019.c
// ==========================================
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>

// Función para imprimir información sobre un proceso
void PrintInfo (pid_t pid) {
```

```
  printf ("PID=%d PPID=%d\r\n",getpid(),getppid() );
  printf ("UID=%d GID=%d\r\n",getuid(),getgid() );
  printf ("EUID=%d EGID=%d\r\n",geteuid(), getegid() );
  printf ("PGRP=%d\r\n",getpgrp() );
  }

int main() {
pid_t pid;

pid = fork(); // Creamos proceso hijo
printf ("Valor retornado por la llamada fork: %d\n",pid);
switch (pid) {
  case -1: // Se ha producido error
       printf ("No se ha podido crear el proceso hijo\n");
       exit(1); // Salimos indicando la situación
  case 0: // Estamos en el proceso hijo
       printf ("\n** PROCESO HIJO **\n");
       // Utilizamos getppid() para obtener el PID del padre
       //printf ("\nEl PID del proceso padre es: %d", getppid());
       // Utilizamos getpid para obtener el PID del hijo (actual)
       //printf ("\nEl PID del proceso hijo es: %d",getpid());
       PrintInfo (pid);
       /* ... */
       break;
   default: /* Estamos en el proceso padre: pid>0 */
       printf ("\r\n** PROCESO PADRE **\r\n");
       // Utilizamos getpid() para obtener el PID del padre
       // printf ("\r\nEl PID del proceso padre es: %d",getpid());
       // El PID del hijo será lo que devolvió fork()
       // printf ("\r\nEl PID del proceso hijo es: %d",pid);
       PrintInfo (pid);
       /* ... */
   }
}
```

Ejemplo c020.c: Ejemplo de fork con write

La razón para utilizar write en vez de printf es porque printf utiliza un buffer, es decir, printf agrupa todas sus salidas para mostrarlas de golpe.

Puesto que la información no se envía a la pantalla inmediatamente, podriamos obtener los resultados en un orden diferente o mezcladas.

Para evitar este problema utilizaremos la función write que no utiliza buffer.

```c
// ========================================
// Programa: Ejemplo de fork
// Archivo : fork1.c o c020.c
// ========================================
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#define MAX_COUNT 200
#define BUF_SIZE 100

int main(void) {
pid_t pid;
int i;
char buf[BUF_SIZE];

fork();
pid = getpid();

for (i = 1; i <= MAX_COUNT; i++) {
    sprintf(buf, "Esta línea la ha imprimido PID: %d, Valor=%d\n", pid, i);
    write(1, buf, strlen(buf));
    }
}
```

La salida de este programa será como la siguiente:

```
.................
Esta línea la ha imprimido PID: 3456, Valor=13
Esta línea la ha imprimido PID: 3456, Valor=14
.................
Esta línea la ha imprimido PID: 3456, Valor=20
Esta línea la ha imprimido PID: 4617, Valor=100
Esta línea la ha imprimido PID: 4617, Valor=101
.................
Esta línea la ha imprimido PID: 3456, Valor=21
Esta línea la ha imprimido PID: 3456, Valor=22
.................
```

Debido a que estos procesos se ejecutan de forma concurrente, sus líneas de salida se entremezclan de forma aleatoria, sin orden predecible. El orden lo determina el planificador de CPU. Cada vez que se ejecuta este programa nos dará unos resultados diferentes.

Ejemplo c021.c: Ejemplo simple de fork

Consideremos ahora un ejemplo más simple, el cual distingue entre el padre y el hijo. En este programa, ambos procesos imprimen líneas que indican:

- Si la línea la ha imprimido el proceso hijo o el padre.
- El valor de la variable i.

Cuando el programa principal ejecuta el fork(), se crea una copia idéntica del espacio de direcciones, incluyendo el programa y todos sus datos.

La llamada al sistema "fork()" retorna el PID del proceso hijo al padre y 0 al proceso hijo.

En este ejemplo utilizamos printf por simplicidad.

```
// ========================================
// Programa: Ejemplo de fork
// Archivo : fork2.c o c021.c
// ========================================
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#define MAX_COUNT 200

// Prototipos de los procesos padre e hijo
void ProcesoHijo (void);
void ProcesoPadre (void);

int main (void) {
pid_t pid;
pid = fork();
if (pid == 0)
    ProcesoHijo();
else
    ProcesoPadre();
}

void ProcesoHijo (void) {
int i;
for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++)
    printf("Esta linea la ha imprimido el proceso HIJO, Value=%d\n", i);
printf(" *** El proceso hijo ha terminado ***\n");
}

void ProcesoPadre (void) {
int i;
```

```
for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++)
    printf("Esta linea la ha imprimido el proceso PADRE, Value=%d\n", i);
printf("*** El proceso padre ha terminado ***\n");
}
```

En el proceso padre, como pid!=0, se ejecutará la función “ProcesoPadre()”. Por otro lado, en el proceso hijo pid=0 y se ejecutará “ProcesoHijo()”.

Debido al hecho de que el planificador de la CPU asigna un quantum de tiempo a cada proceso, ambos procesos se ejecutarán durante algún tiempo antes de que el control cambie al otro proceso, y el proceso en ejecución imprimirá algunas líneas antes de que se puedan ver las líneas imprimidas por el otro proceso.

Por tanto, el valor de MAX_COUNT debería ser suficientemente grande como para los procesos se ejecuten durante al menos 2 o más quantums. Si el valor de MAX_COUNT es demasiado pequeño y termina en menos de un quantum, veremos dos grupos de líneas, cada uno de los cuales contendrá todas las líneas imprimidas por el mismo proceso.

Ejemplo c022.c: fork usando wait

En el ejemplo anterior podría darse el caso de que el proceso padre termine antes que el hijo.

Para evitar esta situación, podemos poner un wait() justo después de llamar a la función ProcesoPadre().

En el caso de que el proceso hijo termine (exit) antes de que el padre haya ejecutado el wait, el proceso hijo se queda en un estado denominado “zombie”, hasta que el padre ejecute wait, momento en que se destruye el hijo.

Otra posible situación sería un proceso Abuelo que crea un proceso Hijo, el cual crea otro proceso Nieto. Supongamos que el proceso Abuelo ejecuta wait(). Si el proceso Hijo termina (exit), el proceso Nieto se queda huérfano, con lo que su padre pasaría a ser el proceso INIT (el sistema operativo).

Para que el sistema operativo pueda destruir a todos los procesos huérfanos, el proceso INIT ejecuta un bucle infinito con la sentencia wait(), para que esperar a todos los procesos huérfanos que vaya adoptando y destruirlos cuando terminen su ejecución.

```
void main(void) {
pid_t pid;
pid = fork();
```

```
if (pid == 0)
   ProcesoHijo();
else {
   ProcesoPadre();
   // Si no nos interesa el valor del estado debemos poner el puntero nulo NULL
   wait(NULL);
   }
}
```

Ejemplo c023.c: Creación de dos hijos. Espera su terminación.

Este programa muestra algunas técnicas típicas de programación de procesos.

El programa principal crea dos procesos hijos para ejecutar el mismo bucle de impresión y mostrar un mensaje antes de salir. Para el proceso padre (p.e. el programa principal), después de crear dos procesos hijos entra en un proceso de espera ejecutando la llamada al sistema wait(). En el momento en que alguno de los dos procesos hijos termina, el padre comienza la ejecución y el PID del proceso que ha terminado se retorna al padre, el cual se puede imprimir.

Puesto que hay dos procesos hijos, habrán dos wait()s, uno para cada proceso hijo.

En este ejemplo no utilizamos el valor de “estado” retornado.

```
// ==========================================
// Programa: Ejemplo de fork
// Archivo : fork4.c o c023.c
// ==========================================
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#define MAX_COUNT 200
#define BUF_SIZE 100
// Prototipo del proceso hijo
void ProcesoHijo(char *, char *);

int main (void) {
pid_t pid1, pid2, pid;
int status;
int i;
char buf[BUF_SIZE];

printf("*** El proceso padre realiza el fork() - 1 ***\n");
pid1 = fork();
if (pid1 < 0) {
```

```
   printf("Fallo al crear proceso 1\n");
   exit(1);
   }
if (pid1 == 0) {
   ProcesoHijo("Primero", " ");
   }

printf("*** El proceso padre realiza el fork() - 2 ***\n");
pid2 = fork();
if (pid2 < 0) {
   printf("Fallo al crear proceso 2\n");
   exit(1);
   }
if (pid2 == 0) {
   ProcesoHijo("Segundo", " ");
   }
sprintf(buf, "*** El padre entra en estado de espera .....\n");
write(1, buf, strlen(buf));
pid = wait(&status);
sprintf(buf, "*** El padre ha detectado que el proceso hijo %d ha terminado ***\n", pid);
write(1, buf, strlen(buf));
pid = wait(&status);
printf("*** El padre ha detectado que el proceso hijo %d ha terminado ***\n", pid);
printf("*** El proceso padre termina ***\n");
exit(0);
}

void ProcesoHijo(char *number, char *space) {
pid_t pid;
int i;
char buf[BUF_SIZE];
pid = getpid();
sprintf(buf, "%sEl proceso hijo %s comienza (pid = %d)\n", space, number, pid);
write(1, buf, strlen(buf));
for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++) {
    sprintf(buf, "%sSalida del proceso hijo %s, Valor=%d\n", space, number, i);
    write(1, buf, strlen(buf));
    }
sprintf(buf, "%sEl proceso hijo %s (pid = %d) va a terminar\n", space, number, pid);
write(1, buf, strlen(buf));
exit(0);
}
```

Ejemplo c024.c: El padre no espera justo tras crear los hijos

En este ejemplo, veremos que el padre no tiene porqué esperar inmediatamente después de crear los dos hijos, pero sí tiene que esperar su terminación antes de acabar el.

Puede realizar otras tareas.

```
// ========================================
// Programa: Ejemplo de fork
// Archivo : fork5.c o c024.c
// ========================================
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <sys/types.h>
#define MAX_COUNT 200
#define BUF_SIZE 100
#define QUAD(x) (x*x*x*x)

// Prototipos de los procesos padre e hijo
void ProcesoHijo (char *, char *);
void ProcesoPadre (void);

int main (void) {
pid_t pid1, pid2, pid;
int status;
int i;
char buf[BUF_SIZE];

printf("*** El proceso padre realiza el fork() - 1 ***\n");
pid1 = fork();
if (pid1 < 0) {
   printf("Fallo al crear proceso 1\n");
   exit(1);
   }
if (pid1 == 0) {
   ProcesoHijo("Primero", " ");
   }

printf("*** El proceso padre realiza el fork() - 2 ***\n");
pid2 = fork();
if (pid2 < 0) {
   printf("Fallo al crear proceso 2\n");
   exit(1);
   }
if (pid2 == 0) {
   ProcesoHijo("Segundo", " ");
   }

// El proceso padre se pone a trabajar
```

```
ProcesoPadre();
sprintf(buf, "*** El padre entra en estado de espera .....\n");
write(1, buf, strlen(buf));

pid = wait(&status);
sprintf(buf, "*** El padre ha detectado que el proceso hijo %d ha terminado ***\n", pid);
write(1, buf, strlen(buf));

pid = wait(&status);
printf("*** El padre ha detectado que el proceso hijo %d ha terminado ***\n", pid);
printf("*** El proceso padre termina ***\n");
exit(0);
}

void ProcesoPadre (void) {
int a, b, c, d;
int abcd, a4b4c4d4;
int count = 0;
char buf[BUF_SIZE];
sprintf(buf, "El padre calcula números de Armstrong\n");
write(1, buf, strlen(buf));
for (a = 0; a <= 9; a++)
 for (b = 0; b <= 9; b++)
   for (c = 0; c <= 9; c++)
    for (d = 0; d <= 9; d++) {
      abcd = a*1000 + b*100 + c*10 + d;
      a4b4c4d4 = QUAD(a) + QUAD(b) + QUAD(c) + QUAD(d);
      if (abcd == a4b4c4d4) {
       sprintf(buf, "Desde el padre: El %d-esimo número de Armstrong es %d\n", ++count, abcd);
       write(1, buf, strlen(buf));
       }
    }
sprintf(buf, "Desde el padre: hay %d números de Armstrong\n", count);
write(1, buf, strlen(buf));
}

void ProcesoHijo(char *number, char *space) {
pid_t pid;
int i;
char buf[BUF_SIZE];
pid = getpid();

sprintf(buf, "%sEl proceso hijo %s comienza (pid = %d)\n",space, number, pid);
write(1, buf, strlen(buf));
for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++) {
  sprintf(buf, "%sSalida del proceso hijo %s, Valor=%d\n", space, number, i);
  write(1, buf, strlen(buf));
  }
sprintf(buf, "%sEl proceso hijo %s (pid = %d) va a terminar\n", space, number, pid);
```

```
write(1, buf, strlen(buf));
exit(0);
}
```

El programa principal crea dos procesos hijos. Ambos procesos llaman a ProcesoHijo(). El proceso padre llama a la función ProcesoHijo(). Esta función calcula todos los números de Armstrong desde el 0 hasta el 9999. Un número de Armstrong es un entero cuyo valor es igual que la suma de sus dígitos elevado a 4. Después de esto el proceso padre entra en un estado de espera, hasta que termine alguno de sus hijos. Puesto que los dos hijos se ejecutan concurrentemente, no tenemos forma de predecir cual de ellos terminará primero.

ATENCION: aunque teóricamente podemos crear tantos procesos como queramos, los sistemas siempre tienen límites. Por tanto, **siempre debemos comprobar si el valor retornado por fork() es negativo, para notificar el error al programador.** Si esto ocurriera, deberemos intentar reducir el número de procesos hijo o reorganizar el programa. Si el valor retornado PID no es importante, entonces podemos tratar la función wait() como un procedimiento. El siguiente código es una modificación al anterior (algunas líneas de la función main()).

```
sprintf(buf, "*** El padre entra en estado de espera .....\n");
write(1, buf, strlen(buf));

wait(&status);
sprintf(buf, "*** El padre ha detectado que un proceso hijo ha terminado ***\n");
write(1, buf, strlen(buf));

wait(&status);
printf("*** El padre ha detectado que un proceso hijo ha terminado ***\n");
printf("*** El proceso padre termina ***\n");
exit(0);
```

Ejemplo c025.c : Capturamos el estado de terminación del hijo

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main() {
unsigned int status;
if (fork()==0) { /* ==0 en el hijo */
   // Pedimos por teclado
   printf("Proceso Hijo: Introduce el estado de terminación : ");
   scanf("%d",&status);
   // El proceso hijo termina
   exit(status);
   }
```

```
else { /* !=0 en el padre */
   // El padre se queda esperando a que el proceso hijo termine
   wait(&status);
   // Cuando el hijo acaba, imprimimos el valor de estado retornado por éste
   printf("Estado de salida del hijo: %d, %d\n", WEXITSTATUS(status),  status >> 8);
   }
}
```

En este ejemplo hemos utilizado el valor de la variable status, que se pasa a wait y que el sistema modifica colocando el valor de retorno del proceso que termina.

Vemos también que en el printf que hace el padre tras la llamada a wait, utiliza dos métodos para obtener el valor de retorno, uno es mediante la macro WEXITSTATUS y otro realizando directamente sobre el valor de la variable status un desplazamiento de 8 bits a la derecha.

Ejemplo c026.c, c027c y c028c: Analizando el orden de terminación

Observar el funcionamiento de sleep en este primer ejemplo.

Ejemplo c026.c

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(void) {
  printf("Hola mundo!!\n");
  sleep(10);
  printf("\nHe dormido 10 segundos!\n");
  return 0;
}
```

El proceso saluda, se suspende durante 10 segunos mostrando por tanto el prompt del sistema y tras los 10 segundos despierta y musestra el mensaje.

Ejemplo c027.c:

¿Cual es la salida en este ejemplo?

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(void) {
```

```
  printf("I'm the parent with PID=%d\n",getpid() );
  if (fork()==0) {
     printf ("\nMy parent is PPID=%d\n",getppid() );
     return 0;
     }
  return 0;
}
```

Ahora analiza la salida de estos otros ejemplos:

Ejemplo c028.c:

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(void) {
  printf("I'm the parent with PID=%d\n",getpid() );
  if (fork()==0) {
     sleep (2);
     printf ("\nMy parent is PPID=%d\n",getppid() );
     return 0;
     }
  return 0;
}
```

Ejemplo c029.c:

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(void) {
  printf("I'm the parent with PID=%d\n",getpid() );
  if (fork()==0) {
     printf ("\nMy parent is PPID=%d\n",getppid() );
     return 0;
     }
  sleep (2);
  return 0;
}
```

¿Qué difencia encuentras en las tres ejecuciones? ¿Cual es el padre del proceso hijo en las ejecuciones? ¿Qué está pasando?

En la primera ejecución el padre no espera la terminación del hijo y el hijo también termina inmediatamente, pero no podemos asegurar quién termina antes de los dos. Por tanto, unas veces el hijo dice que su padre es el ppid 1 y otras veces el pid que tiene el padre. Si se ejecuta varias veces este código podremos ver ambos resultados, unas veces termina antes el

padre y por tanto el hijo es heredado por el proceso init (pid=1) y en otras el hijo termina antes y muestra correctamente el pid de su padre.

En la segunda ejecución, forzamos a que el padre termine antes que el proceso hijo haciendo dormir al hijo 2 segundos pero sin parar al padre, el hijo mostrará que el PPID, es decir el PID de su padre es 1 en todas las ejecuciones.

En la tercera ejecución hacemos esperar al padre pero no al hijo, con lo que éste termina antes que el padre siempre, mostrando por tanto en todas las ejecuciones que su padre es el pid correcto (el del padre).

Ejemplo c030.c: El hijo hereda las variables del padre

¿Cual es la salida del siguiente ejemplo?

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
void ChildFun(int *ptr) {
  *ptr=100;
  exit (0); // stdlib.h
}

int main(void) {
  int ret;
  int p=10;
  if ((ret=fork()) == -1) {
     perror("fork failed");
     return 1;
     }

  if (ret==0) {
     ChildFun(&p);
     }

  // Codigo del padre
  wait (&ret); // Espera la finalización del hijo
  printf ("p=%d\n", p);

  return 0;
}
```

La función ChildFun(int *ptr) recibe la dirección de una variable donde colocará el valor 100 y terminará su ejecución.

Por tanto podemos pensar que el printf final mostrará p=100, pero por más que lo ejecutemos vemos que muestra siempre p=10, ¿por qué? ¿Si el hijo cuando se ejecuta cambia el valor de la variable p?

El hijo hereda las variables del padre, pero cuando las modifica, modifica su copia de dichas variables, no las del padre, por eso el padre cuando muestra el valor de la variable p, lo está haciendo de su variable p que no ha sido modificada por el hijo. Éste modificó su variable p, pero no la mostró.

Ejemplo c031.c: Analizar el significado de status

Analizar con el siguiente ejemplo el significado de status.

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

int main(void) {
int ret,pid,status;

if ((ret=fork())==-1) {
   perror(0);
   return 1;
   }
if (ret==0) {
   printf("Child Living...");
   exit(10);
   }

pid=wait(&status);
if (pid==-1) {
   printf("No Child\n");
   exit(0);
   }
printf ("Child PID(%d) Terminated\n",pid);
if ((status & 0xFF)==0) { // Got a legal status
   printf("Child Returned (%d)\n",status>>8);
   exit(0);
   }
if ((status & 0xFF00)==0) { // Process Terminated Signal !!
   printf("Signal terminated child - Signal %d\n",status & 0x7F);
   if((status & 0x0080)>0) {
      printf("Child Performed CORE Dump\n");
      }
   exit(0);
   }
if ( (status & 0xFF) == 0x7F) {
```

```
    printf("Signal Stopped Child for Debugging \n");
    printf("Signal Id (%d)",status>>8);
    exit(0);
    }
printf("**** This Line Should Never be executed ****");
return 0;
}
```

Vemos las distintas posibilidades de capturar el valor de terminación del hijo y determinar cómo ha terminado su ejecución.

Ejemplos c032.c a c037c: Ejecución de programas con argumentos y entorno

Ejemplo c032.c: Uso de execve

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

int main(void) {
int ret;

char *args[] = {"ls",NULL};
printf("ls Is About to start....\n");
ret=execve("/bin/ls",args,NULL);

perror("exec failed");
return 0;
}
```

Ejemplo c033.c: Con paso de argumentos.

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

int main(void) {
int ret;

char *args[] = {"ls","-l","/usr/bin",NULL}; // Long Listing
printf("ls Is About to start....\n");
ret=execve("/bin/ls",args,NULL);

perror("exec failed");
return 0;
}
```

Ejemplo c034.c:

¿Cual es la salida del siguiente programa? (El shell funciona de la misma manera.)

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

int main(void) {
int ret;

char *args[] = {"ls","-l","a*",NULL};
printf("ls Is About to start....\n");
ret=execve("/bin/ls",args,NULL);

perror("exec failed");
return 0;
}
```

Ejemplo c035.c: Con paso de variables de ambiente:

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>

int main(void) {
int ret;

char *args[]={"which","ls",NULL};
char *env[]={"PATH=/etc:/tmp:/usr/bin:/bin:.","MAIL=/home/user1",NULL};
ret = execve("/usr/bin/which",args,env);
perror("exec failed");
return 0;
}
```

Ejemplo c036.c: Pasar el mismo bloque de ambiente que el actual.

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
extern char **environ;

int main(void) {
  char *args[]={"which","ls",NULL};
  execve("/usr/bin/which",args,environ);
  perror("exec failed"); return 0;
```

```
}
```

Ejemplo c037.c: Fork y execve

En este ejemplo vemos cómo se ejecuta execve desde un proceso hijo.

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

int main(void) {
int ret;
if ((ret=fork())==-1) {
   perror("Fork Failed");
   return 1;
   }
if (ret==0) { // child
   char *args[]={"/bin/dir","-l","c008.c",NULL};
   execve("/bin/ls",args,NULL);
   perror("Exec Failed");
   return 1;
   }
wait(&ret); // wait for child
printf("Estado de salida del hijo: %d, %d\n", WEXITSTATUS(ret), ret >> 8);
return 0;
}
```

En este ejemplo vemos que el hijo termina con estado 0 mostrando el fichero que buscamos (suponiendo que lo tenemos en el current directory).

Si modificamos el argumento con el nombre del fichero por uno que utilice comodines, por ejemplo “*.c” nos da un error y no muestra los *.c que haya. Eso ocurre porque exceve no interpreta los parámetros como lo hace el shell. Por tanto tenemos que lanzar un shell para hacer eso, en el siguiente ejemplo lo vemos.

Ejemplo c037b.c

```c
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

extern char **environ;

int main(void) {
```

```c
int ret;
if ((ret=fork())==-1) {
   perror("Fork Failed");
   return 1;
   }
if (ret==0) { // child
   char *args[]={"/bin/sh", "-c", "ls -l *.c",NULL};
   execve("/bin/sh",args,environ);
   perror("Exec Failed");
   return 1;
   }
wait(&ret); // wait for child
printf("Estado de salida del hijo: %d, %d\n", WEXITSTATUS(ret), ret >> 8);
return 0;
}
```

← Entrada anterior

Entrada siguiente →