SISTEMAS OPERATIVOS
SINCRONIZACIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE PROCESOS

Francisco Rosales <frosal@fi.upm.es>

Fernando Pérez Costoya <fperez@fi.upm.es>

ÍNDICE

Siglas y definiciones:

PL	**Proceso Ligero o *thread***
PP	**Proceso Pesado**
MC	**Memoria Compartida**
BD	**Base de Datos**
sii	**Si y sólo si**
Thread	**Flujo de ejecución de un proceso pesado o ligero**

CONCURRENCIA

Sucede a muchos niveles:

Concurrencia hardware

- Unidades funcionales del procesador
  - Superescalar
  - HyperThreading
- Procesador y dispositivos E/S
- Multiprocesador =
  - N procesadores
  - + memoria compartida
  - Número de Cores
- Multicomputador =
  - N nodos de cómputo
  - + red de interconexión

micro

macro

Concurrencia software

- Múltiples threads en un proceso (procesos ligeros)
- Multiprogramación de un procesador
- Aplicación paralela

LA "CONDICIÓN DE CARRERA"

El acceso concurrente SIN coordinación a recursos compartidos puede NO producir los resultados esperados

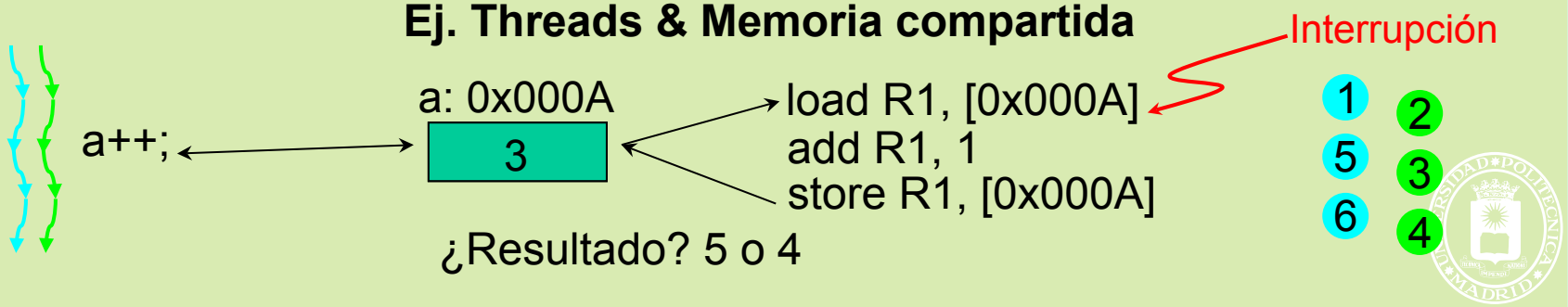
Porque...

- **NO se puede (ni debe) garantizar la velocidad relativa de los procesos concurrentes (== el orden en que ejecutan)**

Ej. Procesos remotos & Transacción bancaria

- **La sentencia de alto nivel más simple requiere varias instrucciones máquina**

Ej. Threads & Memoria compartida



LA "SECCIÓN CRÍTICA"

Segmentos de código susceptibles de contener una condición de carrera

Ej.

```
int a; /* compartida */
<<Entrada a sección crítica>>
a = a + 1;
<<Salida de sección crítica>>
```

- Protegeremos la sección crítica con mecanismos de sincronización que deberán garantizar:
  - Exclusión mutua: sólo entra un thread en un instante determinado. Esto implica que los threads deben esperar a que esté libre la sección crítica
  - Progreso: un thread fuera no impide que otro entre
  - Espera acotada: sii espero, entraré en tiempo finito
- Los mecanismos de sincronización detienen la ejecución produciendo contención. Al programar deberemos:
  - Retener los recursos el menor tiempo posible (menor contención posible)
  - No quedar bloqueados dentro de la sección crítica
  - En definitiva: coordinar el acceso a recursos compartidos

COORDINACIÓN EN ACCESO A RECURSOS

- **Implícita: la realiza el SO (gestor de recursos)**
  - **Procesos independientes**
  - **Compiten por recursos (pero lo ignoran)**
  - **Control de acceso transparente y asociado al recurso**

    Ej. Procesos pesados (PPs) y... ¡¡cualquier recurso!! hw o sw

    Ej. PPs y coutilización de fichero ⇒ el fichero no se corrompe pero ¡la información contenida puede no ser coherente!
- **Explícita: la realizan los procesos**
  - **Procesos cooperantes**
  - **Comparten recursos (son conscientes de ello)**
  - **Coordinan el acceso al recurso, y para ello...**
  - **Usan mecanismos de sincronización y/o comunicación proporcionados por: el SO, una biblioteca o el lenguaje**

    Ej. Procesos ligeros (PLs) y variables en memoria compartida

    Ej. PPs y coutilización de fichero como BD ⇒ fichero OK e información contenida coherente

    Ej. Procesos distribuidos colaborando para jugar al mus en red

MECANISMOS DE SINCRONIZACIÓN

Permiten resolver la sección crítica

(== coordinar el acceso a un recurso compartido)

- **Para procesos fuertemente acoplados (== que comparten memoria)**
  - **Semáforos (adecuado para PPs con MC)**
  - **Mutex y Condiciones (adecuado para PLs)**
  - **Otros propios de lenguajes concurrentes (Monitores)**

...se suelen poner a prueba aplicados a “modelos clásicos"

- **Para procesos independientes**
  - **Semáforos, sii son servicio del SO**
  - **Cerrojos sobre (regiones de) fichero**

- **La sincronización conlleva espera. En general, esta espera será pasiva (sin consumir ciclos de procesador)**

PASOS EN LA RESOLUCIÓN DE UN PROBLEMA

- Definir la información que se comparte
  - Buffer circular
  - Registros con campos de tamaño fijo
  - Registros con campos de tamaño variable
  - ...
- Definir el soporte de la información compartida
  - Variables comunes (threads) . Atomicidad: load, store, test & set
  - Región de memoria . Atomicidad: load, store, test & set
  - Fichero. Atomicidad: operación E/S
- Definir la información de control (que también se comparte) y las condiciones de acceso.
  - Contadores, etc.
- Seleccionar los mecanismos de control
  - Tipo de mecanismo (semáforo, mutex y cond., cerrojo, etc.)
  - Instancias de esos mecanismos

SITUACIONES TÍPICAS (MODELOS CLÁSICOS)

- **Productor - consumidor**
  - **Almacenamiento compartido típico: Buffer circular (huecos tamaño fijo)**
  - **Variables de control típicas:**
    - Nº de huecos libres
    - Punteros posición
- **Lectores y escritores**
  - **Almacenamiento compartido típico: Conjunto de registros**
  - **Granularidad del control**
    - Todo el almacenamiento ⇒ Contención
    - Cada registro individual ⇒ Complejidad
  - **Variables de control típicas:**
    - Nº de lectores
    - Nº de escritores (solamente puede haber uno)

SEMÁFORO
MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN

MECANISMO: SEMÁFORO

Objeto compartido con:

- Campo entero contador de valor inicial dado, que significa:

  Información de control

  sii >0 nº de veces disponible (≈ nº plazas)

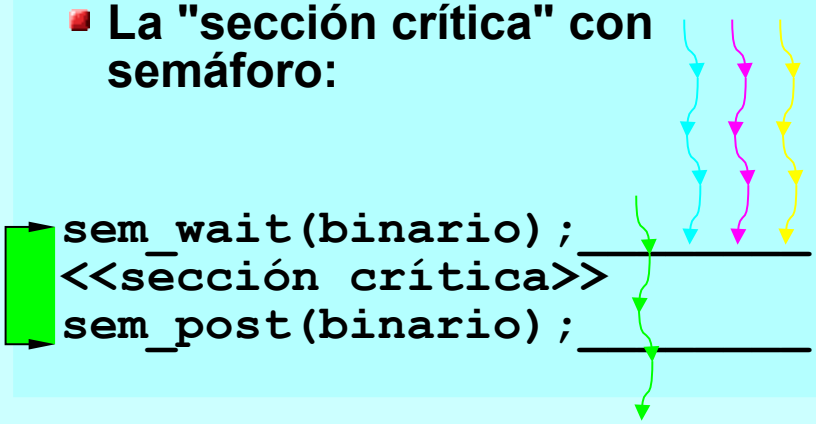
  sii <=0 nº de threads esperando disponibilidad

- Dos acciones atómicas

```
sem_wait(s)     === down
{
   <<decrementar contador>>;
   if (<<contador>> < 0)
     <<esperar en s>>
}

sem_post(s)     === up
{
   <<incrementar contador>>
   if (<<contador>> <= 0)
     <<que continúe uno>>
}
```

- Semáforo binario == máximo valor del contador es 1
- La "sección crítica" con semáforo:



- SIN posesión ⇒ se puede hacer `post` sin hacer `wait` antes

SEMÁFOROS: SERVICIOS POSIX


```
int sem_init (sem_t *sem, int shared, int valini);
int sem_destroy (sem_t *sem);
```

- Iniciar y destruir un semáforo SIN nombre
- PLs comparten directamente la variable "semáforo" (`shared = false`)
- PPs deben incluir esa variable en una zona de memoria compartida
  - Y especificar `shared = true`

```
sem_t *sem_open (char *name,int flag,mode_t mode,int valini);
int sem_close (sem_t *sem);
int sem_unlink (char *name);
```

- Abrir (o crear), cerrar y borrar un semáforo CON nombre
- No suelen usarse para PLs por la sobrecarga innecesaria

```
int sem_wait (sem_t *sem);
```

- Decrementar el contador del semáforo (competir por pasar)

```
int sem_post (sem_t *sem);
```

- Incrementar el contador del semáforo (salir)

EQUIVALENCIAS CON ASIGNATURA DE "CONCURRENCIA"

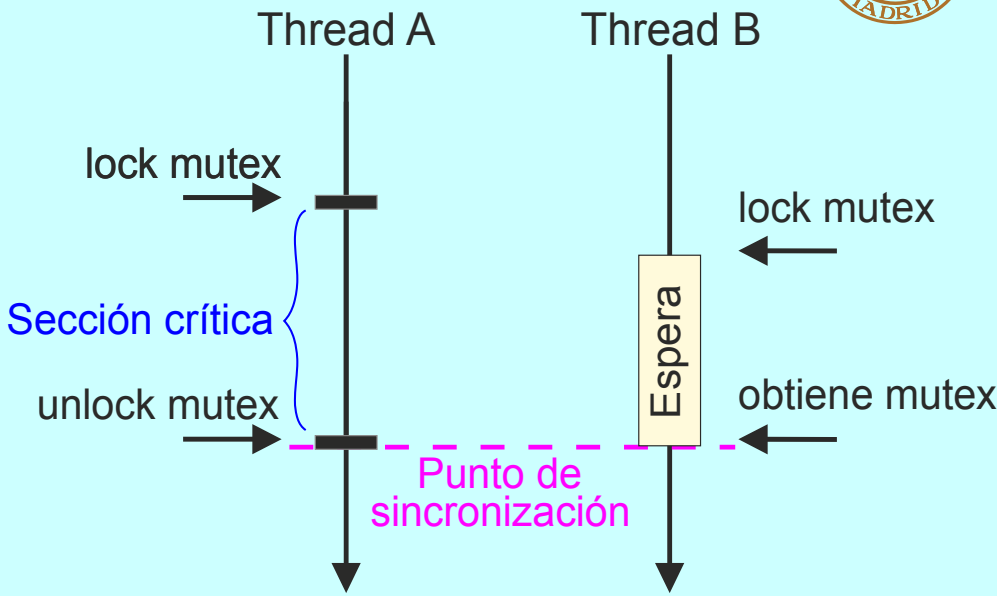
Asignatura:	Sistemas Operativos	Concurrencia
Lenguaje prog.	C sobre POSIX	Java
Procesos ligeros	pthread	Thread
Procesos pesados	si	no
Semáforos	sem_t	java.util.concurrent.Semaphore
---	sem_wait	.acquire
---	sem_post	.release
Mutex	pthread_mutex_t	java.util.concurrent.locks.Lock
---	pthread_mutex_lock	.lock
---	pthread_mutex_unlock	.unlock
Conditions	pthread_cond_t	java.util.concurrent.locks.Condition
---	pthread_cond_wait	.await
---	pthread_cond_signal	.signal
---	pthread_cond_broadcast	.signalAll

MUTEX Y CONDICIONES MECANISMO DE SINCRONIZACIÓN

MECANISMO: MUTEX

Mutual Exclusion

- == Semáforo binario **sin memoria**
  - Cerradura cerrada, llave puesta
  - Abro y cierro y me llevo la llave

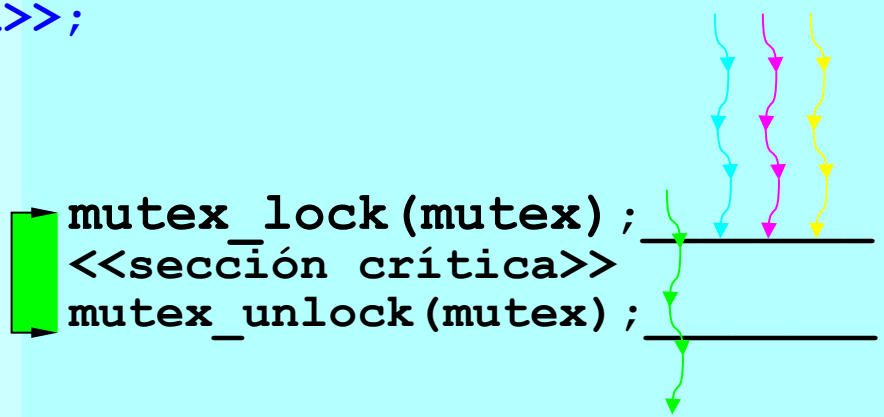


- Dos acciones atómicas

```
mutex_lock(m)
{
 if (<<no hay llave>>)
    <<esperar llave>>;
 <<abrir,entrar,cerrar y llevármela>>;
}

mutex_unlock(m)
{
 if (<<alguien espera>>)
    <<entregar llave>>;
 else
    <<devolver llave a cerradura>>;
}
```

- La "sección crítica" con mutex:



- CON posesión ⇒ no se puede hacer unlock sin haber hecho lock antes

MECANISMO: CONDICIÓN

- Permiten liberar un mutex sin salir de la sección crítica
- Tres acciones atómicas

```
condition_wait(c,m)
{
  mutex_unlock(m);
  <<esperar aviso>>;
  mutex_lock(m);
}
condition_signal(c)
{
  if (<<alguien espera>>)
    <<avisar que siga>>;
  else  (<<se pierde>>)
}
condition_broadcast(c)
{
  while(<<alguien espera>>)
    <<avisar que siga>>;
}
```

A veces el thread que está (o posee) la sección crítica no puede continuar, porque "no se da" cierta condición que sólo podría cambiar otro thread desde dentro de la sección crítica.

- Es preciso pues:
  - Liberar temporalmente el mutex que protege la sección crítica...
  - ...mientras se espera a que la condición se dé.
- Todo ello:
  - Sin abandonar la sección crítica...
  - ...y de forma atómica.

La combinación mutex-condición muestra la lógica del problema.

¡Es realmente cómoda de usar!

MECANISMO: MUTEX + CONDICIÓN

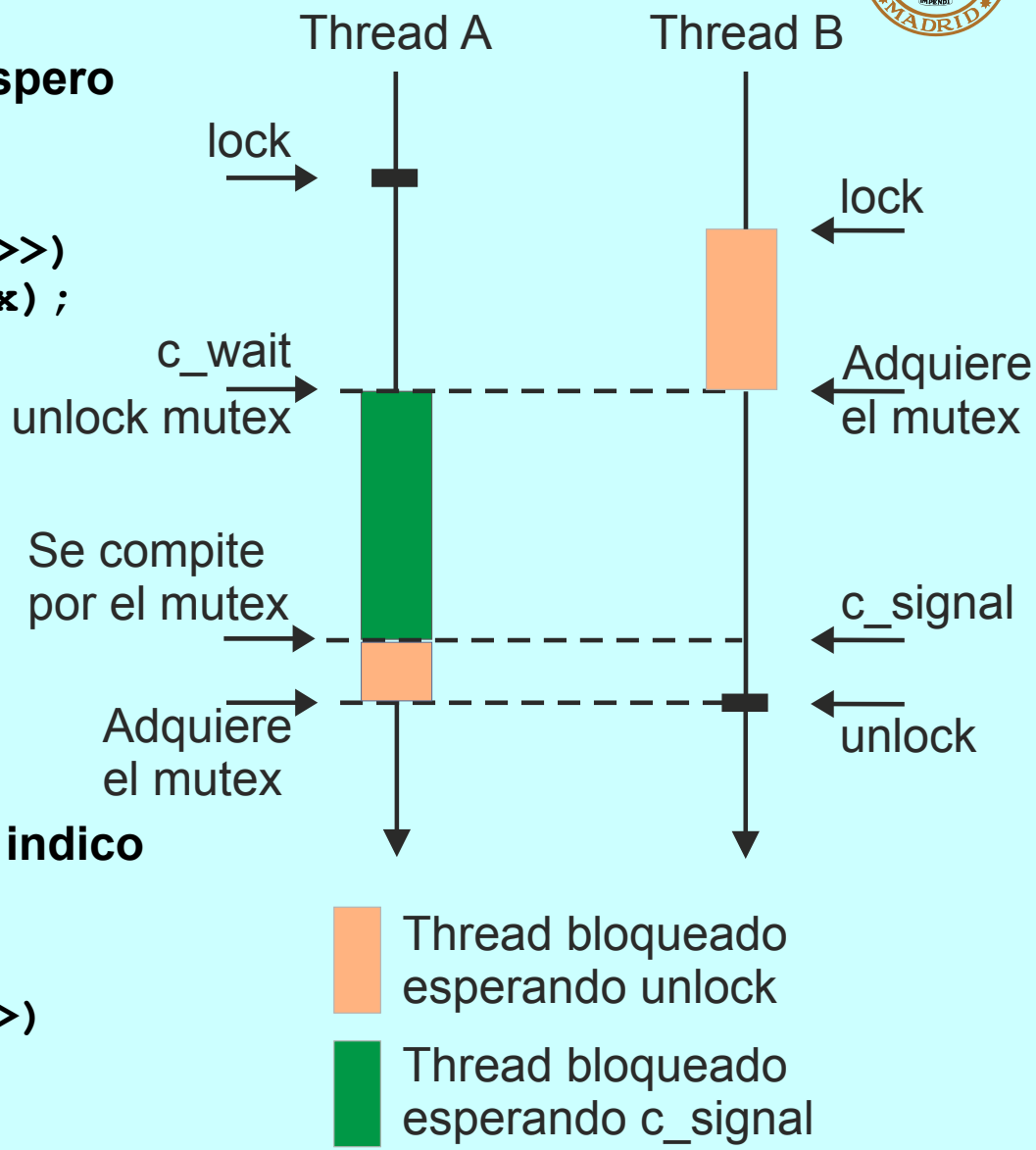
- **A: Mientras no pueda seguir, espero**

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

- **Fundamental utilizar while**

- **B: Si alguien pudiera seguir, lo indico**

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

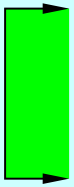


Solución general

```
mutex_lock(mutex);
while (<<no puedo continuar (condición variables control)>>)
        condition_wait(cond, mutex);
<<modifica variables de control>>
mutex_unlock(mutex);
```



```
<<...sección crítica del problema>>
```



```
mutex_lock(mutex);
<<modifica variables de control>>
condition_signal(cond);
mutex_unlock(mutex);
```

MUTEX: SERVICIOS POSIX


```
int pthread_mutex_init (pthread_mutex_t *mutex,
                        pthread_mutexattr_t *attr)
```

- **Inicializar un mutex con atributos attr. Existen diversas llamadas para modificar los atributos, con NULL se especifican atributos por defecto**
  - **Atributo `setpshared` permite que PPs usen mutex**
    - Siempre que los definan dentro de una zona de memoria compartida

```
int pthread_mutex_destroy (pthread_mutex_t *mutex);
```

- **Borrar (destruir) un mutex**

```
int pthread_mutex_lock (pthread_mutex_t *mutex);
```

- **Competir por tomar el mutex**

```
int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *mutex);
```

- **Devolver el mutex (salir)**

CONDICIONES: SERVICIOS POSIX


```
int pthread_cond_init (pthread_cond_t *cond,
                       pthread_condattr_t *attr);
```

- Inicializar una variable condicional con atributos attr. Existen diversas llamadas para modificar los atributos (NULL == valores por defecto)
  - Atributo `setpshared` permite que PPs usen condiciones
    - Siempre que las definan dentro de una zona de memoria compartida

```
int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t *cond);
```

- Borrar (destruir) una variable condicional

```
int pthread_cond_wait (pthread_cond_t *cond,
                       pthread_mutex_t *mutex);
```

- Sin salir de la sección crítica, libera temporalmente el mutex que la protege, para esperar a que se "señale" la condición

```
int pthread_cond_signal (pthread_cond_t *cond);
```

- Indicar (señalar) un cambio que permitiría continuar a uno de los threads que esperan en la condición

```
int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t *cond);
```

- Indicar (señalar) un cambio que permitiría continuar a todos los threads que esperan en la condición

Productor-Consumidor con mutex y condiciones (I)

PC_PLs_mc.c

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

int main(void)
{
     pthread_t th1, th2;
     pthread_mutex_init(&mutex, NULL);    /* Situación inicial */
     pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
     pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);
     pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL); /* Arranque */
     pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);
     pthread_join(th1, NULL);              /* Esperar terminación */
     pthread_join(th2, NULL);
     pthread_mutex_destroy(&mutex);                /* Destruir */
     pthread_cond_destroy(&no_lleno);
     pthread_cond_destroy(&no_vacio);
     return 0;
}                                      /* continúa... */
```

Productor-Consumidor con mutex y condiciones (II)

PC_PLs_mc.c

```
void Productor(void)
{
  int i, dato;
  for(i=0; i < TOTAL_DATOS; i++) {
     <<Producir el dato>>
     pthread_mutex_lock(&mutex);
     while(n_datos == BUFF_SIZE) //cond. espera
        pthread_cond_wait(&no_lleno, &mutex);
     buffer[i % BUFF_SIZE] = dato;
     n_datos++;
     pthread_cond_signal(&no_vacio);
     pthread_mutex_unlock(&mutex);
  }
}
```

```
void Consumidor(void)
{
  int i, dato;
  for(i=0; i < TOTAL_DATOS; i++) {
     pthread_mutex_lock(&mutex);
     while(n_datos == 0) //condición
        pthread_cond_wait(&no_vacio,
utex);
     dato = buffer[i % BUFF_SIZE];
     n_datos--;
     pthread_cond_signal(&no_lleno);
     pthread_mutex_unlock(&mutex);
     <<Consumir el dato>>
  }
```

Lectores-Escritores con mutex y condiciones (I)


```
pthread_mutex_t mutex;                    /* Control de acceso */
pthread_cond_t a_leer, a_escribir;/* Condiciones de espera */
int leyendo, escribiendo;                 /* Estado del acceso */
int main(void)
{
     pthread_t th1, th2, th3, th4;
     pthread_mutex_init(&mutex, NULL); /* Situación inicial */
     pthread_cond_init(&a_leer, NULL);
     pthread_cond_init(&a_escribir, NULL);
     pthread_create(&th1, NULL, Lector, NULL);  /* Arranque */
     pthread_create(&th2, NULL, Escritor, NULL);
     pthread_create(&th3, NULL, Lector, NULL);
     pthread_create(&th4, NULL, Escritor, NULL);
     pthread_join(th1, NULL);          /* Esperar terminación */
     pthread_join(th2, NULL);
     pthread_join(th3, NULL);
     pthread_join(th4, NULL);
     pthread_mutex_destroy(&mutex);               /* Destruir */
     pthread_cond_destroy(&a_leer);
     pthread_cond_destroy(&a_escribir);
     return 0;
}                                          /* continúa... */
```

Lectores-Escritores con mutex y condiciones (II)

LE_

```
void Lector(void)
{
   pthread_mutex_lock(&mutex);
   while(escribiendo != 0) //condición espera
      pthread_cond_wait(&a_leer, &mutex);
   leyendo++;
   pthread_mutex_unlock(&mutex);

      <<Lecturas simultáneas del recurso compartido>>

   pthread_mutex_lock(&mutex);
   leyendo--;
   if (leyendo == 0)
      pthread_cond_signal(&a_escribir);
   pthread_mutex_unlock(&mutex);
   pthread_exit(0);
}
```

Lectores-Escritores con mutex y condiciones (III)


```
void Escritor(void)
{
   pthread_mutex_lock(&mutex);
   while(leyendo !=0 || escribiendo !=0) //cond. esp
      pthread_cond_wait(&a_escribir, &mutex);
   escribiendo++;
   pthread_mutex_unlock(&mutex);

      <<Acceso en exclusiva al recurso compartido>>

   pthread_mutex_lock(&mutex);
   escribiendo--;
   pthread_cond_signal(&a_escribir);
   pthread_cond_broadcast(&a_leer);
   pthread_mutex_unlock(&mutex);
   pthread_exit(0);
}
```

CERROJOS

MECANISMO: CERROJOS SOBRE FICHERO

Servicio del SO que permite coordinar la coutilización de ficheros

- Para procesos independientes
- Permite establecer cerrojos sobre regiones de fichero

Cerrojos de tipo:

- o Compartido
  - No puede solapar con otro exclusivo
  - Sólo se puede (debe) hacer read de la región
- o Exclusivo:
  - No puede solapar con ningún otro
  - Se puede hacer read y write

Regiones relativas a:

- principio, posición actual o final de fichero

¿Se puede conceder?		Solapando con otro ya concedido de tipo: Exclusivo	Compartido	Ninguno
El cerrojo pedido es de tipo:	Exclusivo	NO	NO	SI
	Compartido	NO	SI	SI

Modalidad:

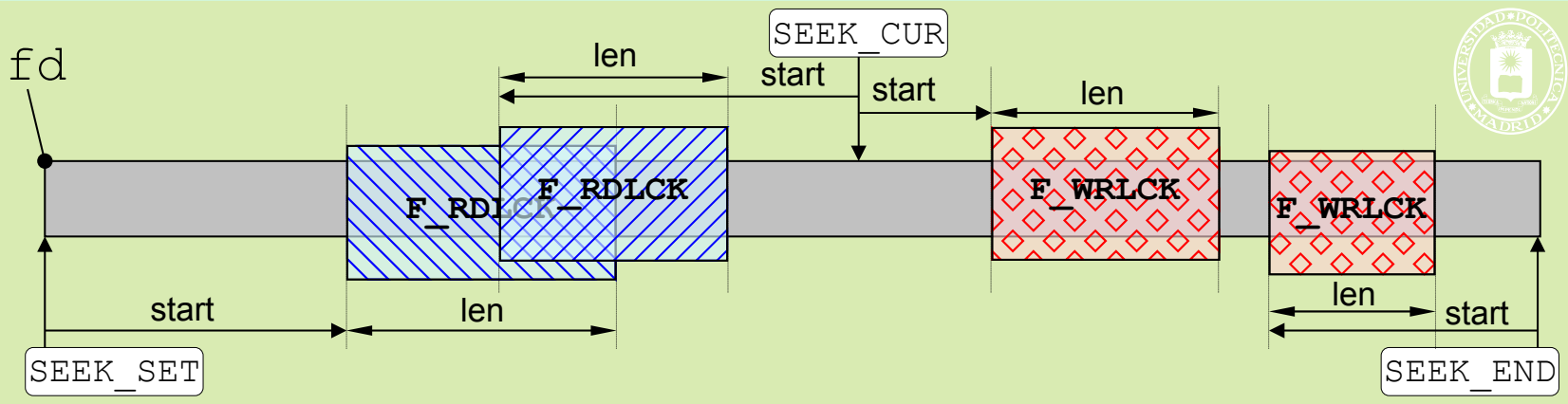
- Consultivo (advisory): sólo afecta los procesos que los usan (preferible)
- Obligatorio (mandatory): afecta a procesos que no los usan (No recomendado)

CERROJOS SOBRE FICHERO: SERVICIO POSIX


```
int fcntl(int fd, int cmd, struct flock *flockptr);
```

- *cmd*: F_GETLK, (comprueba si existe un cerrojo)
  F_SETLK (establece cerrojo; no bloqueante, asíncrono)
  F_SETLKW (establece cerrojo; bloqueante, síncrono)
- El cerrojo se establece sobre la región y con la modalidad indicada en:

```
struct flock {
short l_type;    /* F_RDLCK (compartido), F_WRLCK
                    (exclusivo), F_UNLCK (elimina)   */
short l_whence; /* SEEK_SET, SEEK_CUR, SEEK_END */
off_t l_start;  /* Desfase relativo a l_whence  */
off_t l_len;    /* Tamaño. 0 == hasta EOF       */
pid_t l_pid;    /* Sólo F_GETLK, primer pid con lock*/
}
```



CERROJOS

- **Cerrojos fcntl**
  - **Los cerrojos se asocian al proceso**
  - **Si el proceso cierra un descriptor cualquiera del fichero (que puede tener más de uno) se pierden los cerrojos**
  - **Los cerrojos no se heredan (Posix)**

- **A título informativo indicamos que Linux permite cerrojos obligatorios**
  - **En el sistema de ficheros**
    - Al montar el sistema de ficheros hay que habilitarlos:
      `mount -o mand`
  - **En el fichero**
    - Hay que deshabilitar los permisos de grupo y habilitar los permisos: set-group-ID (SGID)

PPs Lectores-Escritores con cerrojo sobre fichero

Lector

L_PPs_cf.c

```
int main(void)
{
    int fd, val, cnt;
    struct flock fl;
    fl.l_whence = SEEK_SET;
    fl.l_start = 0;
    fl.l_len = 0; Cierra todo el fichero
    fl.l_pid = getpid();
    fd = open("BD", O_RDONLY);
    for (cnt = 0; cnt < 10; cnt++)
    {
        fl.l_type = F_RDLCK; Compartido
        fcntl(fd, F_SETLKW, &fl); Sinc.
        lseek(fd, 0, SEEK_SET);
        read(fd, &val, sizeof(int));
        printf("%d\n", val);
        /*Lecturas simultáneas
          del recurso compartido*/
        fl.l_type = F_UNLCK;
        fcntl(fd, F_SETLK, &fl);
    }
    return 0;
}
```

Escritor

L_PPs_cf.c

```
int main(void)
{
    int fd, val, cnt;
    struct flock fl;
    fl.l_whence = SEEK_SET;
    fl.l_start = 0;
    fl.l_len = 0;Cierra todo el fichero
    fl.l_pid = getpid();
    fd = open("BD", O_RDWR);
    for (cnt = 0; cnt < 10; cnt++)
    {
        fl.l_type = F_WRLCK; Exclusivo
        fcntl(fd, F_SETLKW, &fl);Sinc.
        lseek(fd, 0, SEEK_SET);
        read(fd, &val, sizeof(int));
        val++; /*Acceso exclusivo*/
        lseek(fd, 0, SEEK_SET);
        write(fd, &val, sizeof(int));
        fl.l_type = F_UNLCK;
        fcntl(fd, F_SETLK, &fl);
    }
    return 0;
}
```

Ejemplo de cerrojos: cuentas bancarias (i)

fperez@box1: ~/so5

```
#define FICH "cuentas.dat"

struct cuenta {
        char titular[32];
        float saldo;
};

int crear_cuenta(char tit[], float sal_ini) {
        int fd, pos;
        struct cuenta c;

        fd=open(FICH, O_WRONLY|O_CREAT|O_APPEND, 0600);
        strcpy(c.titular, tit);
        c.saldo = sal_ini;
        write(fd, &c, sizeof(struct cuenta));
        pos = lseek(fd, 0, SEEK_CUR);
        return pos / sizeof(struct cuenta);
}
                                                    27,0-1          9%
```

- Nº de cuenta bancaria a partir de 1
- Operación O**_APPEND** es atómica

Ejemplo de cerrojos: cuentas bancarias (ii)

fperez@box1: ~/so5

```
int imprimir_cuenta(int n_cnt) {
        int fd;
        struct flock fl;
        struct cuenta c;

        if ((n_cnt * sizeof(struct cuenta)) > tam_fichero())
                return -1;
        fd=open(FICH, O_RDONLY);
        fl.l_type = F_RDLCK;
        fl.l_whence = SEEK_SET;
        fl.l_start = (n_cnt-1) * sizeof(struct cuenta);
        fl.l_len = sizeof(struct cuenta);
        fcntl(fd, F_SETLKW, &fl);
        lseek(fd, (n_cnt-1) * sizeof(struct cuenta), SEEK_SET);
        read(fd, &c, sizeof(struct cuenta));
        printf("Titular %s saldo %f\n", c.titular, c.saldo);
        fl.l_type = F_UNLCK;
        fcntl(fd, F_SETLKW, &fl);
        close(fd);
        return 0;
}
                                                        21,9          27%
```

Ejemplo de cerrojos: cuentas bancarias (iii)

fperez@box1: ~/so5

```
int operacion_cuenta(int n_cnt, float val) {
        int fd;
        struct flock fl;
        struct cuenta c;

        if ((n_cnt * sizeof(struct cuenta)) > tam_fichero())
                return -1;
        fd=open(FICH, O_RDWR);
        fl.l_type = F_WRLCK;
        fl.l_whence = SEEK_SET;
        fl.l_start = (n_cnt-1) * sizeof(struct cuenta);
        fl.l_len = sizeof(struct cuenta);
        fcntl(fd, F_SETLKW, &fl);
        lseek(fd, (n_cnt-1) * sizeof(struct cuenta), SEEK_SET);
        read(fd, &c, sizeof(struct cuenta));
        c.saldo+=val;
        printf("Saldo actual %f\n", c.saldo);
        lseek(fd, (n_cnt-1) * sizeof(struct cuenta), SEEK_SET);
        write(fd, &c, sizeof(struct cuenta));
        fl.l_type = F_UNLCK;
        fcntl(fd, F_SETLKW, &fl);
        close(fd);
        return 0;
}
                                                        65,1          59%
```

MECANISMOS DE COMUNICACIÓN

DIRECCIONAMIENTO

- Dirección: Identifica al receptor o al emisor (remite)
- Tipo
  - Sin nombre: Se hereda el identificador del creador del mecanismo
  - Nombre textual o simbólico (/home/jfelipe/mififo, www.fi.upm.es)
  - Nombre físico (fd = 5, IP = 138.100.8.100 TCP = 80)
  - Estructura en árbol
- Ámbito
  - Procesos emparentados (creador y sus descendientes)
  - Local: Misma máquina
  - Remoto: Máquinas distintas
- Servidor de nombres
  - Convierte el nombre textual en físico
  - Local: Servidor de nombres del servidor de ficheros
  - Remoto: Servidor DNS de Internet

Características de los mecanismos de comunicación

Al crearlo (o abrirlo)

- Según la forma de nombrarlo
  - Sin nombre (Ej. PIPE)
  - Con nombre local (Ej. FIFO)
  - Con nombre de red (Ej. *Socket*)
- Según el identificador devuelto
  - Descriptor de fichero (sii es servicio ofrecido por el SO)
  - Identificador propio (sii es ofrecido por biblioteca)

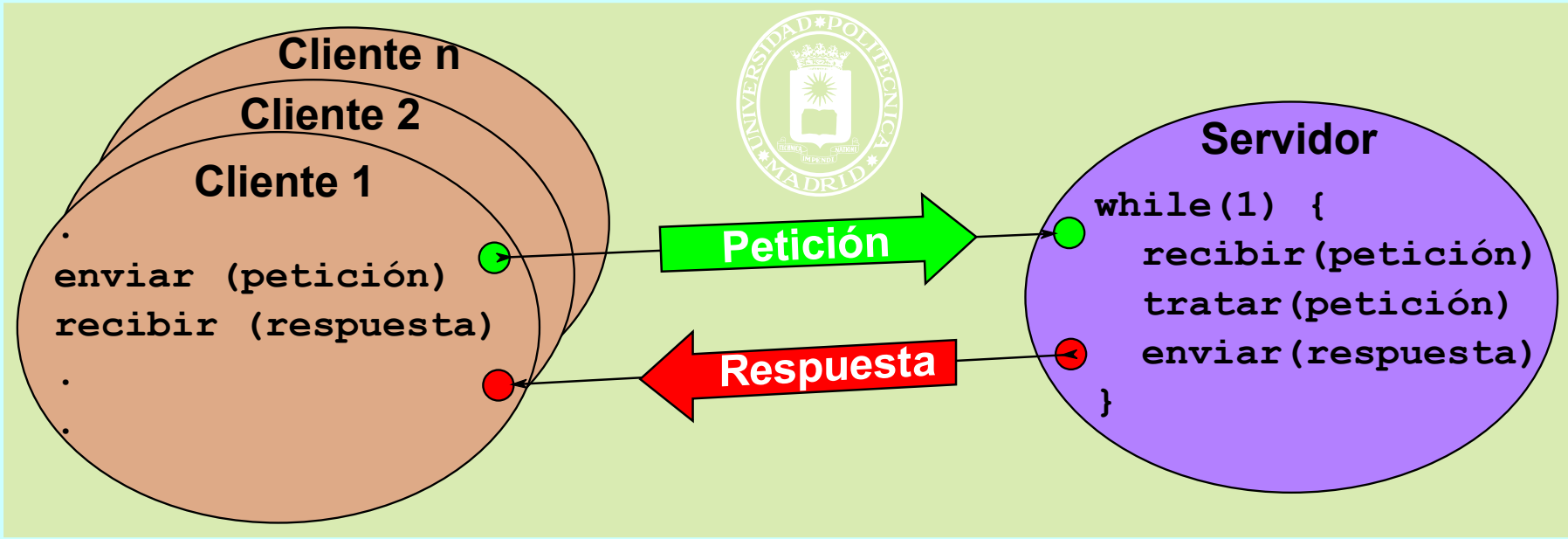
Al usarlo (a través de su ID)

- Según el flujo de datos
  - Unidireccional
  - Bidireccional
- Según capacidad de memoria
  - Sin *buffering*
  - Con *buffering*
- Según bloquee o no
  - Síncrono (bloqueante)
  - Asíncrono (no bloqueante)

MODELO DE COMUNICACIÓN "CLIENTE-SERVIDOR"

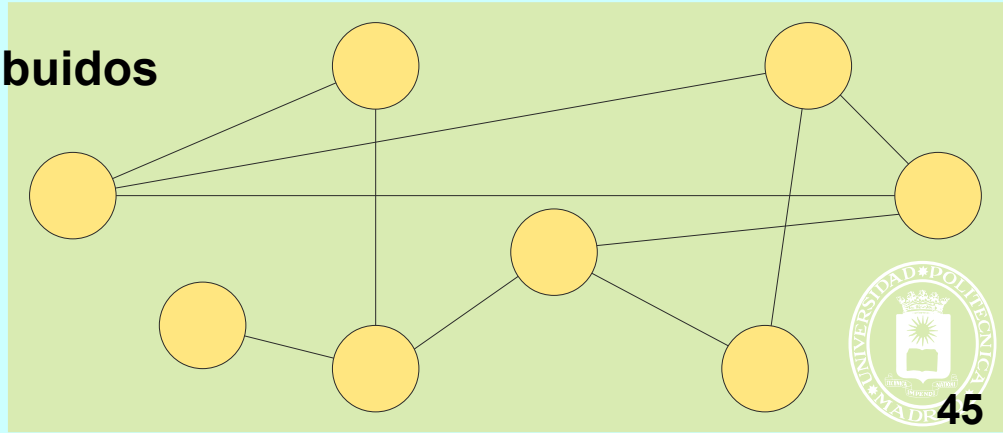
Modela acceso a gestor (local o remoto) de recurso

- Protocolo Petición-Respuesta para acceso a gestor de recurso
- Servidor == proveedor de servicio == gestor del recurso
- Por extensión, también se dice servidor a la máquina donde éste reside
- Cliente: Accede al proveedor siguiendo el protocolo
- Comunicación N (clientes) a 1 (servidor) o N a M



MODELO DE COMUNICACIÓN "PEER-TO-PEER" (P2P)

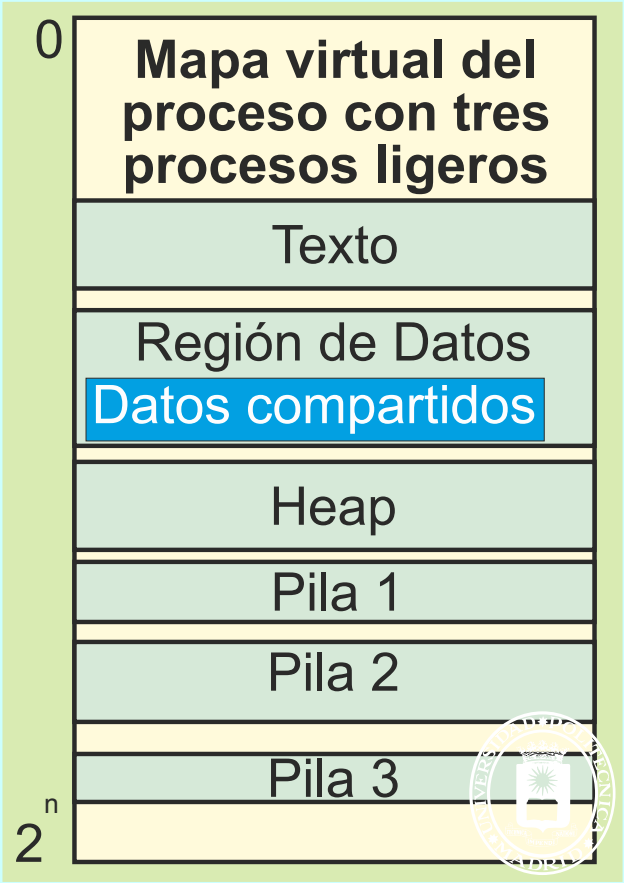
- **El modelo Cliente-Servidor clásico es centralizado**
- **En el modelo P2P ("entre pares" o "entre iguales"):**
  - **Cada miembro es, a la vez, cliente y servidor**
  - **La información o recurso está distribuido entre los miembros**
    - Red no estructurada: cada miembro tiene lo que quiere
    - Red estructurada: la información o recurso está repartido según determinados criterios
  - **La gestión del directorio y del enrutamiento puede estar:**
    - Centralizado (Napster y Audiogalaxy)
    - Totalmente distribuido (Ares Galaxy, Gnutella, Freenet y Kademlia)
    - Híbrido (Bittorrent, eDonkey2000 y Direct Connect)
- **Características del P2P**
  - **Escalable**
  - **Robusto**
  - **Descentralizado**
  - **Costes distribuidos**
  - **Anonimato**
  - **Seguridad**

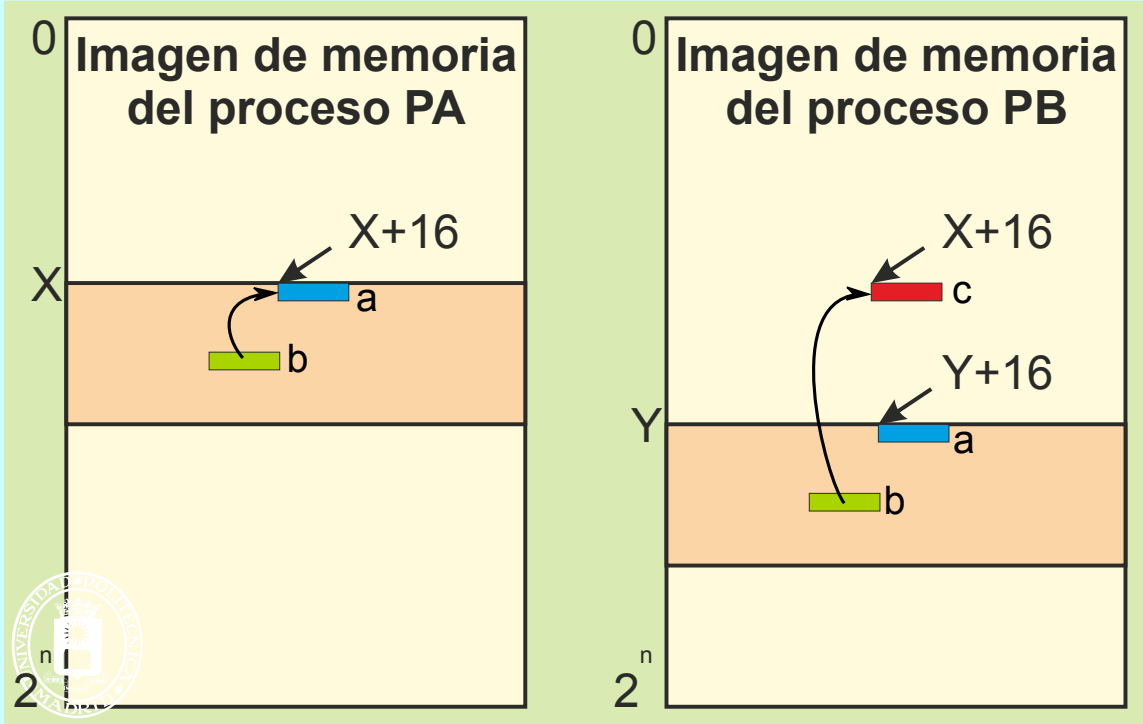


MECANISMOS DE COMUNICACIÓN LOCAL

PROCESOS FUERTEMENTE ACOPLADOS

- **Procesos ligeros**
  - **Todo su espacio de memoria está compartido:**
    - Variables globales, variables estáticas, etc.
  - **Cada uno "usa" su propia pila**
- **Procesos pesados con memoria compartida**
  - **Regiones compartidas (`mmap`)**
  - **Declaración independiente de variables proyectadas en MC**





MECANISMO: PIPE (TUBERÍA)

Mecanismo del SO que da resuelto el esquema de comunicación "Productores-Consumidores" entre procesos pesados <u>emparentados</u>

- Sin nombre (sólo visible por quien lo crea y procesos derivados de éste)
- Unidireccional
- Con buffering

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

- Devuelve dos descriptores de fichero (uno por extremo del pipe)

```
read (fds[0],datos,n);
```

- Si vacío ⇒ se bloquea el lector
- Si con p bytes ⇒
  - Si p >= n devuelve n
  - Si p < n devuelve p
- Si vacío y no hay escritores ⇒ devuelve 0 (indicando EOF)

```
write (fds[1],datos,n);
```

- Si lleno ⇒ se bloquea el escritor
- Si no hay lectores ⇒ el escritor recibe la señal SIGPIPE

Las lecturas y escrituras pequeñas son atómicas (no se mezclan)

MECANISMO: FIFO (TUBERÍA CON NOMBRE)

Mecanismo del SO

para comunicar

procesos pesados no remotos

- Se crean como FIFO
- Se usan como fichero
- Se comportan como PIPE

```
int mkfifo (char *name,
            mode_t mode);
```

- Crea un FIFO con nombre y permisos iniciales dados

```
int unlink(char *name);
```

- Elimina un FIFO

```
int open (char *name,
          int flags);
```

- Abrir para lectura, escritura o ambas
- Bloquea hasta que se abran los dos extremos (salvo O_NONBLOCK)

```
read (fd_in,datos,n);
write (fd_out,datos,n);
```

- Semántica PIPE

Productor-Consumidor con PPs y FIFO

Crear FIFO

mk_FIFO.c

```
int main(int argc, char *argv[])
{
   if (mkfifo(argv[1], 0666) == 0)
      return 0;
   perror(argv[0]);
   return 1;
}
```

Crea el FIFO

Productor

P_PPs_FIFO.c

```
int main(int argc, char *argv[])
{
   int fd;
   char ch;
   fd = creat(argv[1], 0666);
   if (fd == -1) {
      perror(argv[0]);
      return 1;
   }
   while(read(0, &ch, 1) == 1)
      write(fd, &ch, 1);
   return 0;
}
```

Abre el FIFO para escritura

Consumidor

C_PPs_FIFO.c

```
int main(int argc, char *argv[])
{
   int fd;
   char ch;
   fd = open(argv[1], O_RDONLY);
   if (fd == -1) {
      perror(argv[0]);
      return 1;
   }
   while(read(fd, &ch, 1) == 1)
      write(1, &ch, 1);
   return 0;
}
```

Abre el FIFO para lectura

CONEXIÓN DE DOS MANDATOS CON UN FIFO

Ej. Ejecución de un mandato equivalente a: `ls -l | sort` a través de un FIFO

```
$ mkfifo FIFO
$ ls -l FIFO
prw-r--r-- 1 frosal frosal    0 Apr 28 21:11 FIFO
$ sort < FIFO &
[135]
$ ls -l > FIFO
-rw-r----- 1 frosal frosal    0 Apr 29 00:08 Archivo
brw-rw---- 2 frosal disk   3,65 Sep 27  2000 Bloques
crw------- 2 root   root    4,1 Apr  8 13:02 Caracteres
drwxr-x--- 2 frosal frosal 4096 Apr 29 00:08 Directorio
lrwxrwxrwx 1 frosal frosal    7 Apr 29 00:10 Enlace -> Archivo
prw-r--r-- 1 frosal frosal    0 Apr 28 21:11 FIFO
srwxrwxrwx 2 root   gdm       0 Apr  8 13:02 Socket
$
```

¿Qué pasa con el FIFO del ejemplo?

MECANISMO DE COMUNICACIÓN REMOTA

SOCKET

MECANISMO: *SOCKET*

Mecanismo del SO para comunicación dentro del mismo dominio

- **Con nombre (dirección)**
- **Bidireccional**
- **Con buffering**
- **Bloqueante o no**

```
int socket (int dominio,
        int tipo, int protocolo);
```

- **Crea un *socket* (sin dirección) del dominio, tipo y protocolo dados y devuelve descriptor asociado sd**
- **Dominio == familia de direcciones**
  - **AF_UNIX: intra-máquina (Dir. = nombre de fichero)**
  - **AF_INET: entre máquinas (Dir. = dirección IP + nº de puerto)**
  - **Mismos servicios para todo dominio, pero diferente tipo de direcciones**
- **Tipo**
  - **Stream (SOCK_STREAM)**
    - Orientado a flujo de datos
    - CON conexión
    - Fiable: asegura entrega y orden
    - [≈ Conversación telefónica]
  - **Datagrama (SOCK_DGRAM)**
    - Orientado a mensajes
    - SIN conexión
    - No fiable: pérdida y desorden
    - [≈ Correspondencia postal]
- **Protocolo**
  - **Mensajes y reglas de intercambio entre comunicantes**
  - **En AF_INET (== Internet) existen dos protocolos de transporte:**
    - IPPROTO_TCP, para stream
    - IPPROTO_UDP, para datagrama

COMUNICACIÓN REMOTA: FORMATO DE RED

- Hay arquitecturas de computador que representan los números enteros de manera distinta: Little-endian vs. Big-endian
- Para transmitir enteros, hay que convertirlos a/de formato independiente

`htonl()`

`htons()`

- Convierten enteros largos y cortos de formato del host a formato de red

`ntohl()`

`ntohs()`

- Convierten enteros largos y cortos de formato del red a formato del host

- Por ejemplo, el campo `sockaddr_in.sin_port` (número de puerto) debe estar en formato red
- La comunicación de datos de otros tipos básicos (Ej. coma flotante) o estructuras exige otros métodos de conversión que no son estándar
- Por simplicidad, muchos protocolos usan texto como formato independiente y transmiten otros datos sin formato específico en binario (8 bits)

DIRECCIONES DE IPV4

- **Las direcciones dependen del dominio, pero los servicios no (uso de cast)**
  - **struct sockaddr**
    estructura genérica de dirección
  - **struct sockaddr_in**
    estructura específica AF_INET
    - Debe iniciarse a 0 (memset)
    - sin_family: AF_INET
    - sin_addr: dirección del host (32 bits) (4 octetos [0..255])
    - sin_port: número de puerto (16 bits) (1024 reservados)
- **Para los usuarios son texto "138.100.8.100" ó "laurel.datsi.fi.upm.es"**
- **Una transmisión IP está caracterizada por cinco parámetros:**
  - **Protocolo (UDP o TCP)**
  - **Dirección host + puerto origen**
  - **Dirección host + puerto destino**
- **Cada socket debe estar asociado a:**
  - **una dirección local única**
  - **y una dirección remota sii:**
    - está conectado
    - o para cada mensaje

```
int inet_pton(int af, const char *src, void *dst);
```
Conversión a binario (formato red IPv4 o IPv6) desde decimal-punto

```
struct hostent *gethostbyname (char *str);
```
Conversión a binario (formato red) desde dominio-punto

SOCKET: SERVICIOS


```
int socket (int dominio, int tipo, int protocolo);
```

- Crea un socket (sin dirección) del dominio, tipo y protocolo dados

```
int bind (int sd, struct sockaddr *dir, int tam);
```

- Asociar a una dirección local

```
int connect (int sd, struct sockaddr *dir, int tam);
```

- Asociar a una dirección remota (cliente)

```
int listen (int sd, int baklog);
```

- Prepara para aceptar conexiones (servidor)

```
int accept (int sd, struct sockaddr *dir, int *tam);
```

- Aceptación de una conexión (servidor)

```
int send (int sd, char *mem, int tam, int flags);
int recv (int sd, char *mem, int tam, int flags);
```

- Transmisión para conectados (también read y write)

```
int sendto   (int sd, char *mem, int tam, int flags,
              struct sockaddr *dir, int len);
int recvfrom (int sd, char *mem, int tam, int flags,
              struct sockaddr *dir, int *len);
```

- Transmisión para NO conectados

DGRAM ≈ CORRESPONDENCIA POSTAL

Cliente

(Inicia la conversación)

`socket`
- Adquirir buzón UDP

`bind`
- Asignarle una dirección libre

`sendto`
- Enviar carta con remite: ¿Hola?

`recvfrom`
- Recoger respuesta

`close`
- Eliminar buzón

Servidor SIN estado

(Recibe mensajes y los atiende)

`socket`
- Adquirir buzón UDP

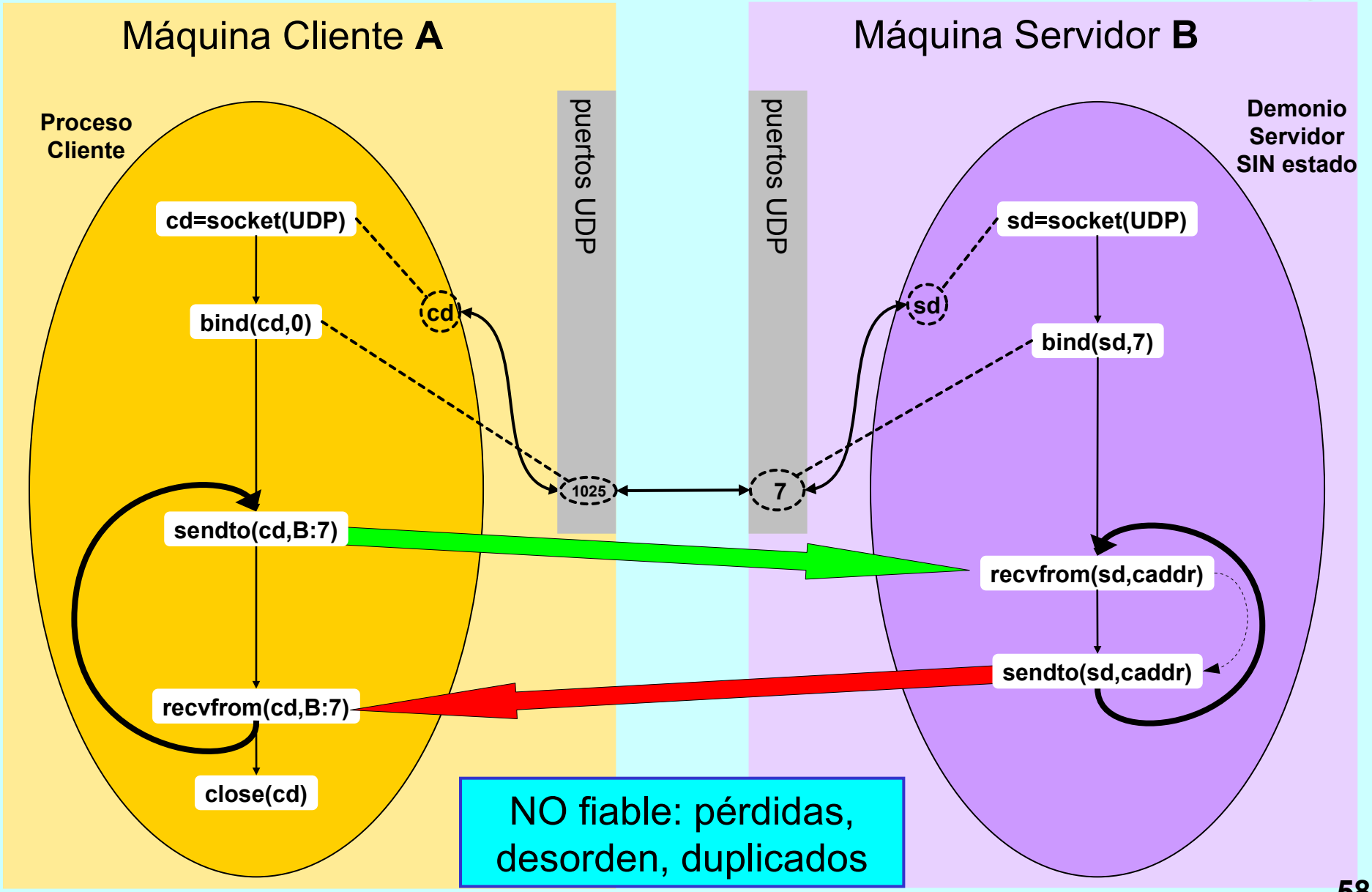
`bind`
- Asignarle dirección bien conocida

`recvfrom`
- Recoger carta
- Tomar dirección del remitente

`sendto`
- Enviar al remitente: ¿Dígame?

`close`
- Eventualmente, eliminar buzón

CLIENTE-SERVIDOR UDP



CLIENTE UDP

UDP_c.c

```
int main(int argc, char * argv[])
{
   int cd, size ;
   struct hostent * hp;
   struct sockaddr_in s_ain, c_ain;
   unsigned char byte;

   hp = gethostbyname(argv[1]); /* por ejemplo, otilio.fi.upm.es */
   memset((char *)&s_ain, 0, sizeof(s_ain));
   s_ain.sin_family = AF_INET;
   memcpy (&(s_ain.sin_addr), hp->h_addr, hp->h_length);
   s_ain.sin_port = htons(7); /* echo port */

   cd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, IPPROTO_UDP);
   memset((char *)&c_ain, 0, sizeof(c_ain));
   c_ain.sin_family = AF_INET;
   bind(cd, (struct sockaddr *)&c_ain, sizeof(c_ain));
   size = sizeof(s_ain);
   while(read( 0, &byte, 1) == 1) {
     sendto(cd, &byte, 1, 0, (struct sockaddr *)&s_ain, size);
     recvfrom(cd, &byte, 1, 0, (struct sockaddr *)&s_ain, &size);
     write(1, &byte, 1);
   }
   close(cd);
   return 0;
}
```

O se hace el `bind` explícito o el `sendto` lo hará implícitamente

Si se pierde un byte se “cuelga” el cliente

SERVIDOR UDP

UDP_S.C

```
int main(void)
{
   int sd, size;
   unsigned char byte;
   struct sockaddr_in s_ain, c_ain;

   sd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, IPPROTO_UDP);

   memset((char *)&s_ain, 0, sizeof(s_ain));
   s_ain.sin_family = AF_INET;
   s_ain.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY; /*Cualquier origen*/
   s_ain.sin_port = htons(7); /* echo server */
   bind(sd, (struct sockaddr *)&s_ain, sizeof(s_ain));
   size = sizeof(c_ain);

   while (1) {
      recvfrom(sd, &byte, 1, 0, (struct sockaddr *)&c_ain, &size);
      sendto(sd, &byte, 1, 0, (struct sockaddr *)&c_ain, size);
    }
}
```

STREAM ≈ CONVERSACIÓN TELEFÓNICA

Cliente
(Inicia la conversación)

`socket`
- Adquirir teléfono

`bind`
- Contratar línea (nº de teléfono)

`connect`
- Descolgar
- Marcar
- Esperar establecimiento llamada

Centralita Servidor
(Recibe llamada y redirige)

`socket`
- Adquirir centralita

`bind`
- Contratar línea (nº de teléfono)

`listen`
- Dimensionar centralita

`accept`
- Esperar establecimiento llamada
- Redirigir a teléfono de servicio

Servidor dedicado
(Atiende la conversación)

`send & recv`
- Saludo: ¿Hola?

`send & recv`
- Diálogo: Quisiera ¡Gracias!

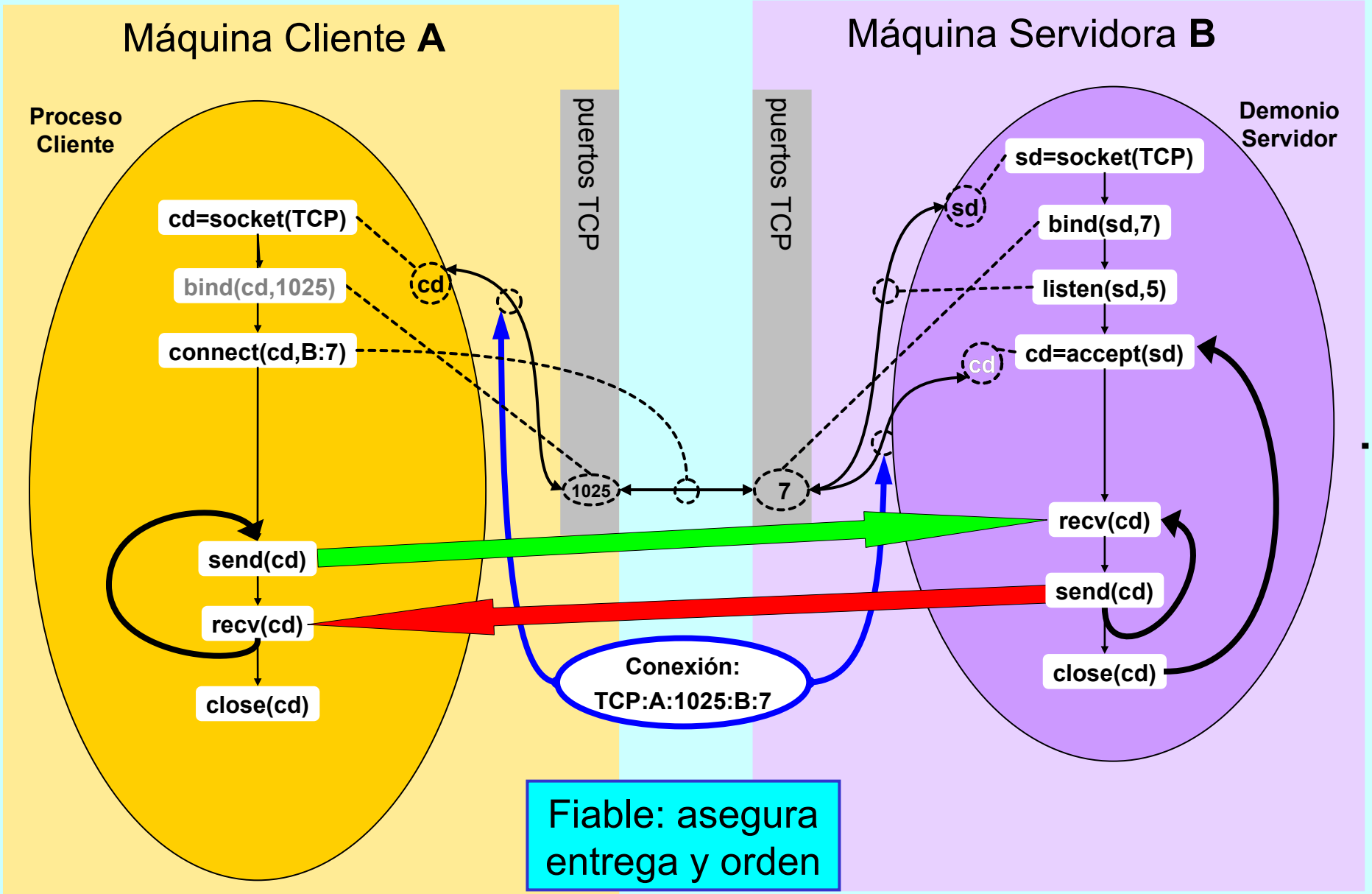
`close`
- Colgar

`send & recv`
- Saludo: ¿Qué desea?

`send & recv`
- Diálogo: ¡Cómo no! Aquí tiene

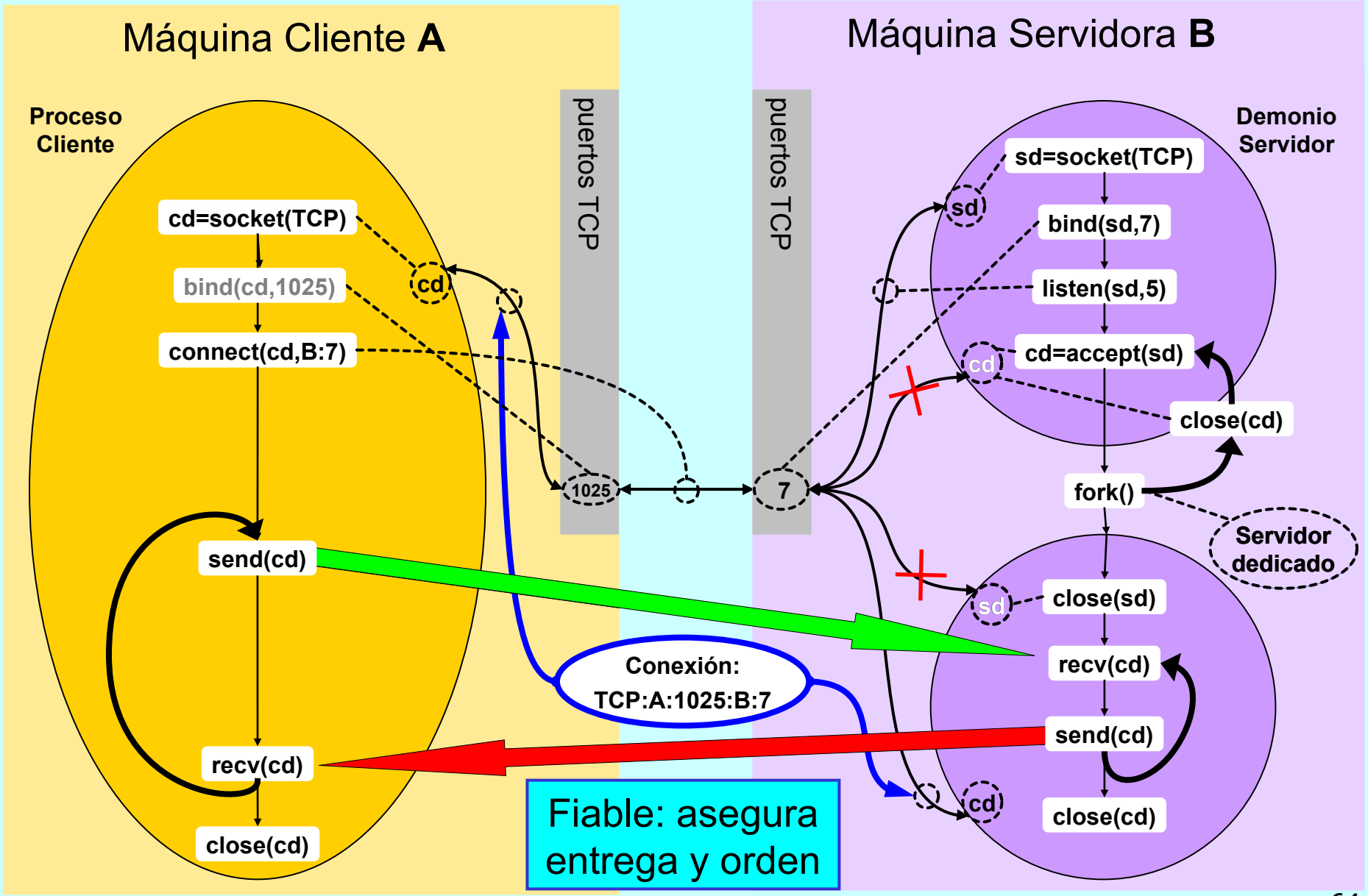
`close`
- Colgar

CLIENTE-SERVIDOR TCP (SERVIDOR SECUENCIAL)

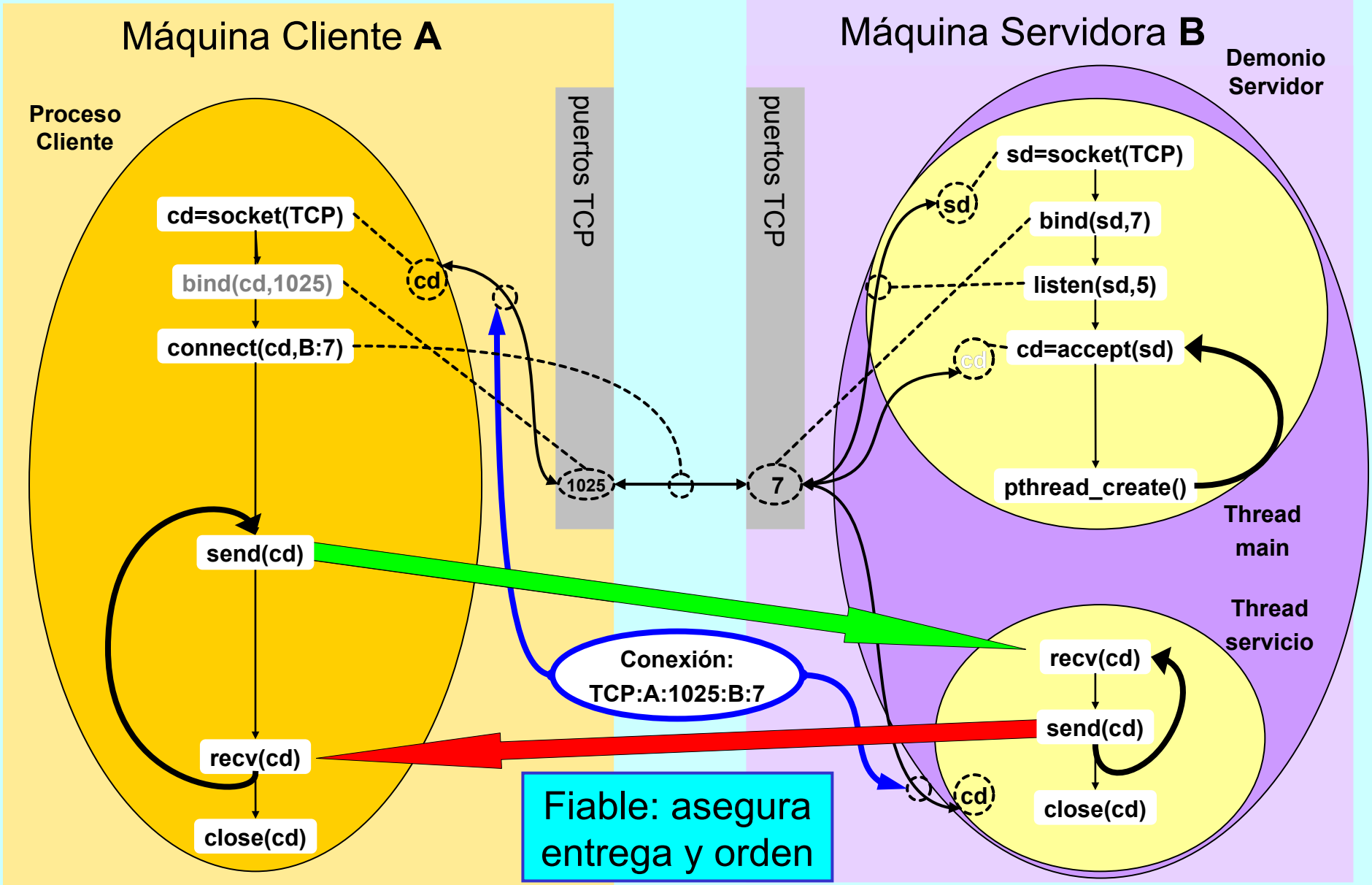


Fiable: asegura entrega y orden

CLIENTE-SERVIDOR TCP (SERVIDOR CONCURRENTE FORK)



CLIENTE-SERVIDOR TCP (SERVIDOR CONCURRENTE THREAD)



CLIENTE TCP

TCP_c.c

```
int main(int argc, char * argv[])
{
   int cd;
   struct hostent * hp;
   struct sockaddr_in s_ain;
   unsigned char byte;

   hp = gethostbyname(argv[1]);
   memset((char *)&s_ain, 0, sizeof(s_ain));
   s_ain.sin_family = AF_INET;
   memcpy (&(s_ain.sin_addr), hp->h_addr, hp->h_length); /* IP */
   s_ain.sin_port = htons(7); /* echo port */

   cd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP);
   connect(cd, (struct sockaddr *)&s_ain, sizeof(s_ain));

   while(read( 0, &byte, 1) == 1) {
         send(cd, &byte, 1, 0);  /* Bloqueante */
         recv(cd, &byte, 1, 0);  /* Bloqueante */
         write(1, &byte, 1);
   }
   close(cd);
   return 0;
}
```

SERVIDOR TCP (I)

TCP_s.c

```
int main(void)
{
   int sd, cd, size;
   unsigned char byte;
   struct sockaddr_in s_ain, c_ain;

   sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, IPPROTO_TCP);

   memset((char *)&s_ain, 0, sizeof(s_ain));
   s_ain.sin_family = AF_INET;
   s_ain.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY; /*Cualquier origen*/
   s_ain.sin_port = htons(7); /* echo port */

   bind(sd, (struct sockaddr *)&s_ain, sizeof(s_ain));

   listen(sd, 5);   /* 5 = tamaño cola */

       /* continúa... */
```

SERVIDOR TCP (II)

TCP_s.c

```
   while(1) {
      size = sizeof(c_ain);
      cd = accept(sd, (struct sockaddr *)&c_ain, &size);
      switch(fork()) {
      case -1:
         perror("echo server");
         return 1;
      case 0:
         close(sd);
         while(recv(cd, &byte, 1, 0) == 1) /*Bloqueante*/
            send(cd, &byte, 1, 0);         /*Bloqueante*/
         close(cd);
         return 0;
      default:
         close(cd);
      } /* switch */
   } /* while */
} /* main */
```

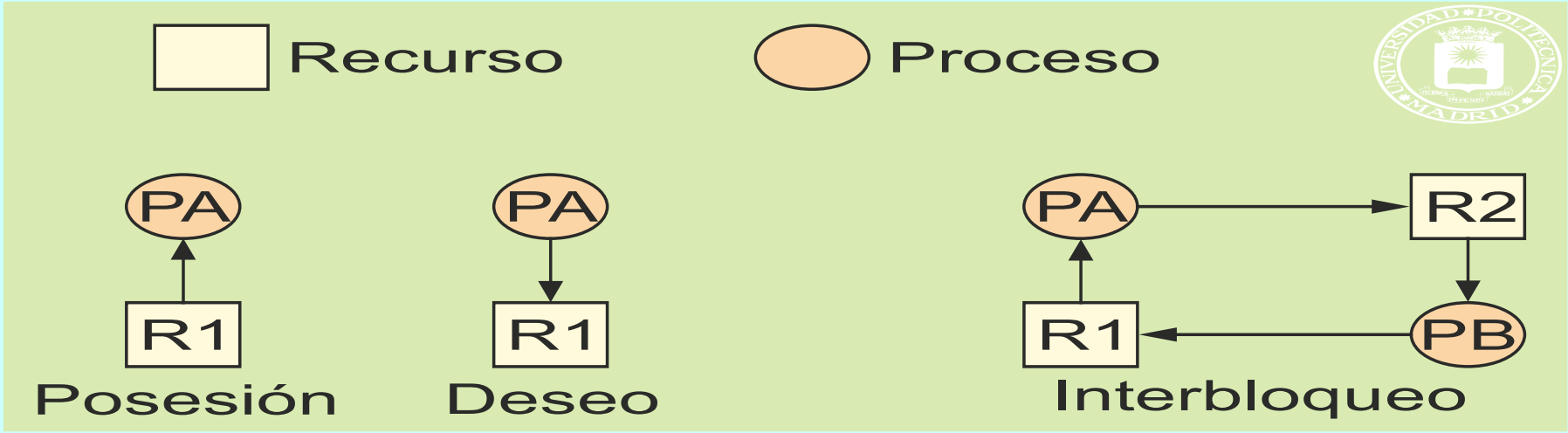
INTERBLOQUEOS

INTERBLOQUEOS I

Un conjunto de procesos está en interbloqueo cuando cada proceso está bloqueado en espera de un recurso (o evento) que está asignado a (o sólo puede producir) un proceso (también bloqueado) del conjunto

- **En grafo de asignación de recursos se visualizan como bucles**

  Ej. PA tiene R1 y necesita R2
  PB tiene R2 y necesita R1



INTERBLOQUEOS II

- Ej. Si S y Q son semáforos binarios

```
  P0              P1
sem_wait(S)   sem_wait(Q)
sem_wait(Q)   sem_wait(S) ← !!
...           ...
sem_post(S)   sem_post(Q)
sem_post(Q)   sem_post(S)
```

- Ej. PIPE y lectura

```
...
pipe(pp);
read(pp[0],...); ← !!
/* NO termina */
/* !Quedan escritores! */
…
```

- Condiciones para el interbloqueo
  - Exclusión mutua:
    Un único usuario por recurso
  - Mantener y esperar:
    Espero sin liberar lo que tengo
  - Sin expropiación:
    No se quita un recurso ya asignado
  - Espera circular:
    Puede darse esta situación (bucle)

- ¿Cómo tratar el interbloqueo?
  - No hacer nada: Alg. del avestruz
  - Detectarlo y notificarlo
  - Prevenirlo: eliminar alguna de las condiciones necesarias
  - Evitarlo: asignando con cuidado los recursos (Alg. banquero, etc.)

Ejemplo de detección de interbloqueos con cuentas bancarias

fperez@box1: ~/so5/SC_Codigo

```
int lockOP(int fd, short ty, off_t st, off_t le) {
        struct flock fl = {.l_type=ty,.l_whence=SEEK_SET,.l_start=st,.l_len=le};
        return fcntl(fd, F_SETLKW, &fl); }

int transferencia_cuentas(int n_cnt_org, int n_cnt_dst, float val) {
        int fd; struct cuenta c;
        if (((n_cnt_org * sizeof(struct cuenta)) > tam_fichero()) ||
            ((n_cnt_dst * sizeof(struct cuenta)) > tam_fichero())) return -1;
        fd=open(FICH, O_RDWR);
        if (lockOP(fd,F_WRLCK,(n_cnt_org-1)*sizeof(struct cuenta),sizeof(struct cuenta))<0){
                perror("error en fcntl"); close(fd); return -1; }
        // fuerce una parada aquí (getchar) y ejecute 2 transferencias cruzadas -> interbloqueo
        if (lockOP(fd,F_WRLCK,(n_cnt_dst-1)*sizeof(struct cuenta),sizeof(struct cuenta))<0){
                perror("error en fcntl"); // SO detecta interbloqueo y devuelve un error
                lockOP(fd,F_UNLCK,(n_cnt_org-1)*sizeof(struct cuenta),sizeof(struct cuenta));
                close(fd); return -1; }
        pread(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_org-1) * sizeof(struct cuenta));
        c.saldo-=val;
        printf("Cuenta origen %d Saldo resultante %f\n", n_cnt_org, c.saldo);
        pwrite(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_org-1) * sizeof(struct cuenta));
        lockOP(fd, F_UNLCK, (n_cnt_org-1)*sizeof(struct cuenta), sizeof(struct cuenta));
        pread(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_dst-1) * sizeof(struct cuenta));
        c.saldo+=val;
        printf("Cuenta destino %d Saldo resultante %f\n", n_cnt_dst, c.saldo);
        pwrite(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_dst-1) * sizeof(struct cuenta));
        lockOP(fd, F_UNLCK, (n_cnt_dst-1)*sizeof(struct cuenta), sizeof(struct cuenta));
        close(fd);
        return 0; }
```

64%

Si se solicitan simultáneamente transferencias de C1 a C2 y de C2 a C1, se produce interbloqueo si ambas obtienen el primer cerrojo.

SO **detecta** el problema y retorna error en el segundo lock del segundo proceso.

Queda abortada la segunda operación

Ejemplo de prevención interbloqueos con cuentas bancarias

fperez@box1: ~/so5/SC_Codigo

```
int lockOP(int fd, short ty, off_t st, off_t le) {
        struct flock fl = {.l_type=ty,.l_whence=SEEK_SET,.l_start=st,.l_len=le};
        return fcntl(fd, F_SETLKW, &fl); }

int transferencia_cuentas(int n_cnt_org, int n_cnt_dst, float val) {
        int fd; struct cuenta c; int cnt1=n_cnt_org, cnt2=n_cnt_dst;
        if (((n_cnt_org * sizeof(struct cuenta)) > tam_fichero()) ||
            ((n_cnt_dst * sizeof(struct cuenta)) > tam_fichero())) return -1;
        if (n_cnt_org > n_cnt_dst) {cnt1=n_cnt_dst, cnt2=n_cnt_org;}
        fd=open(FICH, O_RDWR);
        if (lockOP(fd,F_WRLCK,(cnt1-1)*sizeof(struct cuenta),sizeof(struct cuenta))<0){
                perror("error en fcntl"); close(fd); return -1; }
        // fuerce una parada aquí (getchar) y ejecute 2 transferencias cruzadas-> NO interbloqueo
        if (lockOP(fd,F_WRLCK,(cnt2-1)*sizeof(struct cuenta),sizeof(struct cuenta))<0){
                perror("error en fcntl");
                lockOP(fd,F_UNLCK,(cnt1-1)*sizeof(struct cuenta),sizeof(struct cuenta));
                close(fd); return -1; }
        pread(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_org-1) * sizeof(struct cuenta));
        c.saldo-=val;
        printf("Cuenta origen %d Saldo resultante %f\n", n_cnt_org, c.saldo);
        pwrite(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_org-1) * sizeof(struct cuenta));
        lockOP(fd, F_UNLCK, (n_cnt_org-1)*sizeof(struct cuenta), sizeof(struct cuenta));
        pread(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_dst-1) * sizeof(struct cuenta));
        c.saldo+=val;
        printf("Cuenta destino %d Saldo resultante %f\n", n_cnt_dst, c.saldo);
        pwrite(fd, &c, sizeof(struct cuenta), (n_cnt_dst-1) * sizeof(struct cuenta));
        lockOP(fd, F_UNLCK, (n_cnt_dst-1)*sizeof(struct cuenta), sizeof(struct cuenta));
        close(fd); return 0;}
```

64%

Aunque se soliciten simultáneamente transferencias de C1 a C2 y de C2 a C1, **no** se produce interbloqueo porque se solicitan los cerrojos en orden del nº de cuenta.

Se **previene** el problema eliminando una condición necesaria.

Se ejecutan satisfactoriamente ambas peticiones.

RESUMEN I

- La concurrencia sucede a muchos niveles
- Implica compartición de recursos
- Condición de carrera == No se puede garantizar la velocidad relativa de los procesos concurrentes ← pueden suceder resultados incorrectos
- Sección crítica == trozos de código susceptibles de condición de carrera
- Para coordinar el acceso usamos:
  - Mecanismos de sincronización
  - Mecanismos de comunicación
- Mecanismos de sincronización:
  - Acciones atómicas sobre base de instrucciones máquina atómicas
  - Modelos clásicos: modelan arquitecturas clave en concurrencia
- Para procesos fuertemente acoplados (== que comparten memoria):
  - Semáforos == contador
  - Mutex == cerrojo
  - Condición: liberar temporalmente mutex para esperar indicación
- Para procesos independientes
  - Cerrojos sobre regiones de fichero

RESUMEN II

- **Mecanismos de comunicación**
  == Recurso compartido + Mecanismo de sincronización
  - **Con o sin nombre, descriptor de fichero o identificador propio, uni o bidireccional, con o sin *buffer*, bloqueante o no**
- **Para procesos locales:**
  - **PIPE == mecanismo para N productores y M consumidores**
  - **FIFO == crear con `mkfifo`, usar como fichero, semántica de PIPE**
- **Para procesos remotos:**
  - **Sockets: dominio, tipo, protocolo**
    - Datagrama == correspondencia postal
    - *Stream* == conversación telefónica
  - **Servicios genéricos PERO direcciones específicas del dominio**
  - **Formato de red**
- **Interbloqueos**
  - **Condiciones necesarias y tratamientos posibles**