

# SISTEMAS OPERATIVOS: COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS



Hilos y mecanismos de comunicación y sincronización

# A recordar...

Antes de clase

Clase

Después de clase

Preparar los pre-requisitos.

Estudiar el material asociado a la **bibliografía**:  
las transparencias solo no son suficiente.  
Preguntar dudas (especialmente tras estudio).

Ejercitar las competencias:

- ▶ Realizar todos los **ejercicios**.
- ▶ Realizar los **cuadernos de prácticas** y las **prácticas** de forma progresiva.

# Lecturas recomendadas

## Base



1. Carretero 2020:
  1. Cap. 6
2. Carretero 2007:
  1. Cap. 6.1 y 6.2

## Recomendada



1. Tanenbaum 2006:
  1. (es) Cap. 5
  2. (en) Cap. 5
2. Stallings 2005:
  1. 5.1, 5.2 y 5.3
3. Silberschatz 2006:
  1. 6.1, 6.2, 6.5 y 6.6

# Contenidos

- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escriptores
- **Mecanismos de sincronización de *threads* (II)**
  - ▣ **Semáforos**
    - Llamadas al sistema para semáforos.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
  - ▣ **Mutex y variables condición**
    - Llamadas al sistema para mutex.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
- Caso estudio: desarrollo de servidores concurrentes

# Contenidos

- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escriptores
- Mecanismos de sincronización de *threads* (II)
  - ▣ Semáforos
    - **Llamadas al sistema para semáforos.**
    - Problemas clásicos de concurrencia.
  - ▣ Mutex y variables condición
    - Llamadas al sistema para mutex.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
- Caso estudio: desarrollo de servidores concurrentes

# Semáforos POSIX

- Mecanismo de sincronización para procesos y/o threads en la misma máquina.

`#include <semaphore.h>`

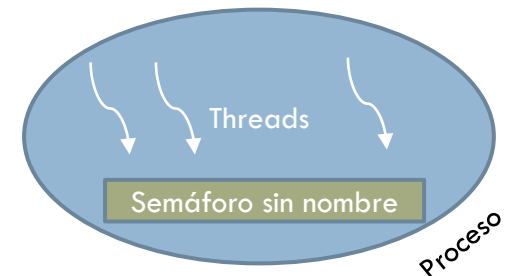
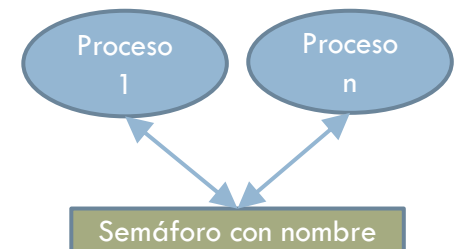
- Semáforos POSIX de dos tipos:

- **Semáforos con nombre:**

- Puede ser usado por distintos procesos que conozcan el nombre.
    - No requiere memoria compartida.
    - `sem_t *semaforo; // nombrados`

- **Semáforos sin nombre:**

- Pueden ser usados solo por el procesos que los crea (y sus threads) o por procesos que tengan una zona de memoria compartida.
    - `sem_t semaforo; // no nombrado`



# Semáforos POSIX

7

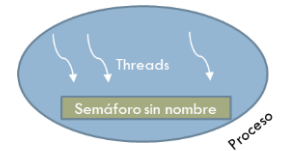
Alejandro Calderón Mateos 

- `int sem_init(sem_t *sem, int shared, int val);`

- Inicializar un semáforo **sin** nombre

- `int sem_destroy(sem_t *sem);`

- Finalizar un semáforo **sin** nombre



- `sem_t *sem_open(char *name, int flag, mode_t mode, int val);`

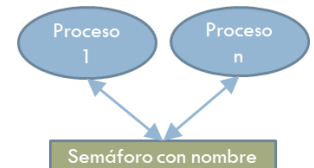
- Crea (o abre) un semáforo **con** nombre.

- `int sem_close(sem_t *sem);`

- Cierra un semáforo **con** nombre.

- `int sem_unlink(char *name);`

- Borra un semáforo **con** nombre.



- `int sem_wait(sem_t *sem);`

- Realiza la operación `wait` sobre el semáforo.

- `int sem_trywait(sem_t *sem)`

- Intenta hacer `wait` pero precisa bloquear al proceso entonces no bloquea y da -1

- `int sem_post(sem_t *sem);`

- Realiza la operación `signal` sobre el semáforo.

# Operaciones sobre semáforos

```
sem_wait(s) {  
    s = s - 1;  
    if (s < 0) {  
        <Bloquear  
        al proceso>  
    }  
}
```

```
sem_post(s) {  
    s = s + 1;  
    if (s <= 0)  
        <Desbloquear  
        a un proceso  
        bloqueado por la  
        operacion wait>  
    }  
}
```



# Contenidos

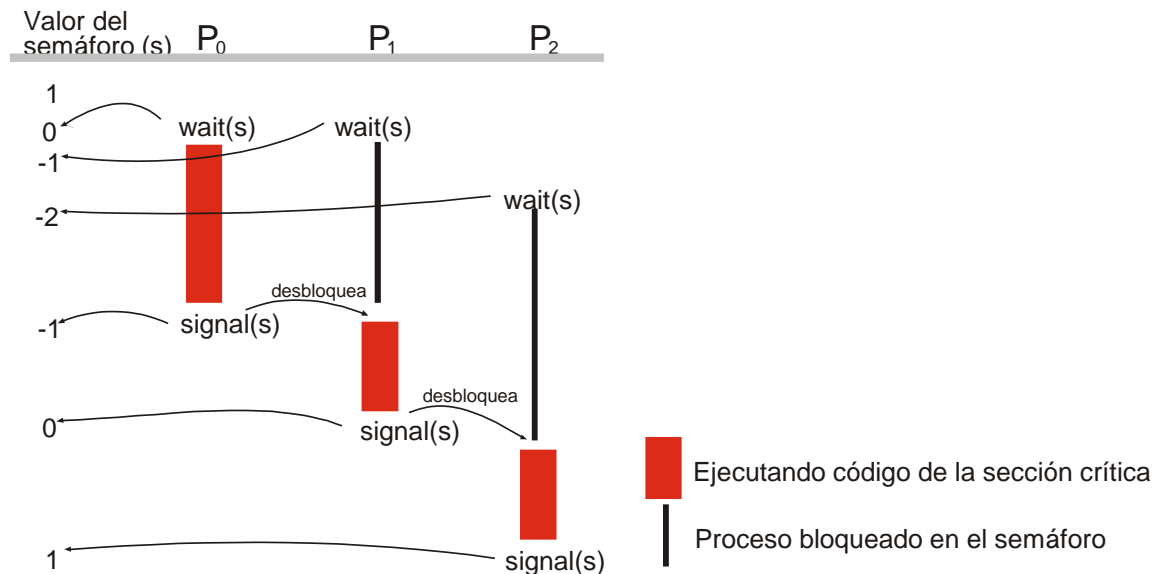
- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escribtores
- Mecanismos de sincronización de *threads* (II)
  - ▣ Semáforos
    - Llamadas al sistema para semáforos.
    - **Problemas clásicos de concurrencia.**
  - ▣ Mutex y variables condición
    - Llamadas al sistema para mutex.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
- Caso estudio: desarrollo de servidores concurrentes

# Secciones críticas con semáforos

- El semáforo debe tener valor inicial de 1:

```
sem_wait(s);    /* entrada en la seccion critica */  
< seccion critica >  
sem_post(s);    /* salida de la seccion critica */
```

- Ejemplo:



# Productor-consumidor con buffer acotado

## Semáforos sin nombre

11

Alejandro Calderón Mateos 

```
/* tamaño del buffer */
#define MAX_BUFFER 1024
int buffer[MAX_BUFFER]; /* búfer común */
sem_t mutex; /* sección crítica */
sem_t elementos; /* eltos. en el búfer */
sem_t huecos; /* huecos en el búfer */
```

```
void Productor(void)
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        sem_wait(&huecos);
        sem_wait(&mutex);
        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&elementos);
    }
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Consumidor ( void )
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        sem_wait(&elementos);
        sem_wait(&mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&huecos);
        /* consumir dato */
    }
    pthread_exit(0);
}
```

# Productor-consumidor con buffer acotado

## Semáforos sin nombre (1/4)

12

Sistemas operativos: una visión aplicada

Alejandro Calderón Mateos



```
//...
#include <semaphore.h>

/* tamaño del buffer */
#define MAX_BUFFER 1024
/* datos a producir */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000

sem_t mutex; /* sección crítica */
sem_t elementos; /* eltos. en el buffer */
sem_t huecos; /* huecos en el buffer */
int buffer[MAX_BUFFER]; /* búfer común */

int main ( int argc, char*argv[] )
{
    pthread_t th1, th2;

    /* inicializar los semáforos */
    sem_init(&mutex, 0, 1);
    sem_init(&elementos, 0, 0);
    sem_init(&huecos, 0, MAX_BUFFER);

    /* crear los procesos ligeros */
    pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);

    /* esperar su finalización */
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);

    sem_destroy(&mutex);
    sem_destroy(&huecos);
    sem_destroy(&elementos);
    return (0);
}

void Productor(void)
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        sem_wait(&huecos);
        sem_wait(&mutex);
        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&elementos);
    }
    pthread_exit(0);
}

void Consumidor ( void )
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        sem_wait(&elementos);
        sem_wait(&mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&huecos);
        /* consumir dato */
    }
    pthread_exit(0);
}
```

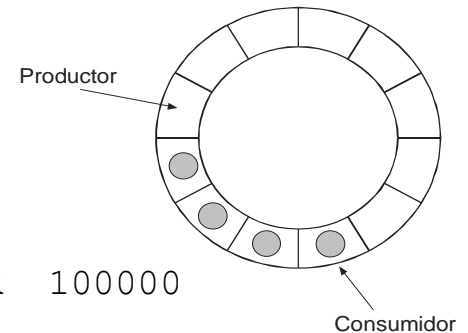
```
// ...
#include <semaphore.h>

/* tamaño del buffer */
#define MAX_BUFFER 1024
/* datos a producir */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000
```

```
sem_t mutex; /* sección crítica */
sem_t elementos; /* eltos. en el buffer */
sem_t huecos; /* huecos en el buffer */
int buffer[MAX_BUFFER]; /* búfer común */
```

```
int main ( int argc, char *argv[] )
{
    pthread_t th1, th2;
```

```
/* inicializar los semáforos */
sem_init(&mutex, 0, 1);
sem_init(&elementos, 0, 0);
sem_init(&huecos, 0, MAX_BUFFER);
```



# Productor-consumidor con buffer acotado

## Semáforos sin nombre (2/4)

13

Sistemas operativos: una visión aplicada

Alejandro Calderón Mateos



```
//...
#include <semaphore.h>

/* tamaño del buffer */
#define MAX_BUFFER 1024
/* datos a producir */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000

sem_t mutex; /* sección crítica */
sem_t elementos; /* eltsos. en el buffer */
sem_t huecos; /* huecos en el buffer */
int buffer[MAX_BUFFER]; /* búfer común */

int main ( int argc, char*argv[] )
{
    pthread_t th1, th2;

    /* inicializar los semáforos */
    sem_init(&mutex, 0, 1);
    sem_init(&elementos, 0, 0);
    sem_init(&huecos, 0, MAX_BUFFER);

    /* crear los procesos ligeros */
    pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);

    /* esperar su finalización */
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);

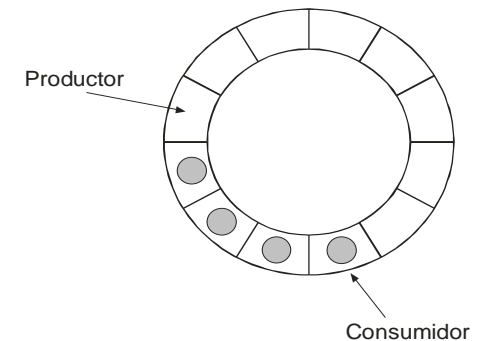
    sem_destroy(&mutex);
    sem_destroy(&huecos);
    sem_destroy(&elementos);
    return (0);
}
```

```
void Productor(void)
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        sem_wait(&huecos);
        sem_wait(&mutex);
        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&elementos);
    }
    pthread_exit(0);
}

void Consumidor ( void )
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        sem_wait(&elementos);
        sem_wait(&mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&huecos);
        /* Consumir dato */
    }
    pthread_exit(0);
}
```



```
/* crear los procesos ligeros */
pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL);
pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);
```

```
/* esperar su finalización */
pthread_join(th1, NULL);
pthread_join(th2, NULL);
```

```
sem_destroy(&mutex);
sem_destroy(&huecos);
sem_destroy(&elementos);
return (0);
```

# Productor-consumidor con buffer acotado

## Semáforos sin nombre (3/4)

14

Sistemas operativos: una visión aplicada

Alejandro Calderón Mateos



```
//...
#include <semaphore.h>

/* tamaño del buffer */
#define MAX_BUFFER 1024
/* datos a producir */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000

sem_t mutex; /* sección crítica */
sem_t elementos; /* eltsos. en el buffer */
sem_t huecos; /* huecos en el buffer */
int buffer[MAX_BUFFER]; /* búfer común */

int main ( int argc, char*argv[] )
{
    pthread_t th1, th2;

    /* inicializar los semáforos */
    sem_init(&mutex, 0, 1);
    sem_init(&elementos, 0, 0);
    sem_init(&huecos, 0, MAX_BUFFER);

    /* crear los procesos ligeros */
    pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);

    /* esperar su finalización */
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);

    sem_destroy(&mutex);
    sem_destroy(&huecos);
    sem_destroy(&elementos);
    return (0);
}
```

```
void Productor(void)
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        sem_wait(&huecos);
        sem_wait(&mutex);
        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&elementos);
    }
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Consumidor ( void )
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        sem_wait(&elementos);
        sem_wait(&mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&huecos);
        /* Consumir dato */
    }
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Productor(void)
```

```
{
```

```
    int pos = 0;
```

```
    int dato;
```

```
    int i;
```

```
    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
```

```
    {
```

```
        dato = i; /* producir... */
```

```
        sem_wait(&huecos);
```

```
        sem_wait(&mutex);
```

```
        buffer[pos] = i;
```

```
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
```

```
        sem_post(&mutex);
```

```
        sem_post(&elementos);
```

```
    }
```

```
    pthread_exit(0);
```

```
}
```

# Productor-consumidor con buffer acotado

## Semáforos sin nombre (4/4)

15

Sistemas operativos: una visión aplicada

Alejandro Calderón Mateos 

```
//...
#include <semaphore.h>

/* tamaño del buffer */
#define MAX_BUFFER 1024
/* datos a producir */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000

sem_t mutex; /* sección crítica */
sem_t elementos; /* eltsos. en el buffer */
sem_t huecos; /* huecos en el buffer */
int buffer[MAX_BUFFER]; /* búfer común */

int main ( int argc, char*argv[] )
{
    pthread_t th1, th2;

    /* inicializar los semáforos */
    sem_init(&mutex, 0, 1);
    sem_init(&elementos, 0, 0);
    sem_init(&huecos, 0, MAX_BUFFER);

    /* crear los procesos ligeros */
    pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);

    /* esperar su finalización */
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);

    sem_destroy(&mutex);
    sem_destroy(&huecos);
    sem_destroy(&elementos);
    return (0);
}

void Productor(void)
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        sem_wait(&huecos);
        sem_wait(&mutex);
        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&elementos);
    }
    pthread_exit(0);
}

void Consumidor ( void )
{
    int pos = 0;
    int dato, i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        sem_wait(&elementos);
        sem_wait(&mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&huecos);
        /* Consumir dato */
    }
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Consumidor ( void )
{
    int pos = 0;
    int dato;
    int i;

    for (i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        sem_wait(&elementos);
        sem_wait(&mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        sem_post(&mutex);
        sem_post(&huecos);
        /* consumir dato */
    }

    pthread_exit(0);
}
```

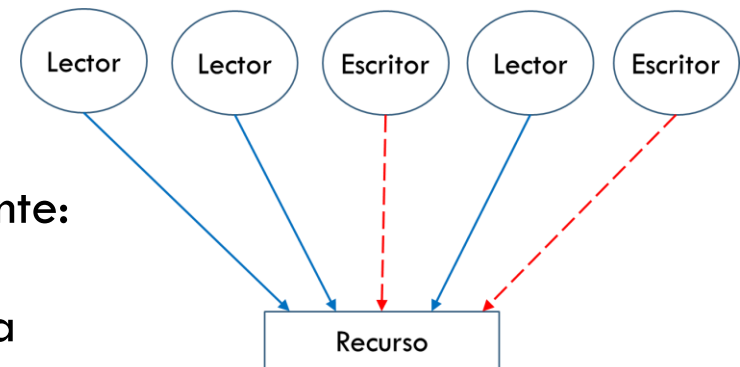
# Problema de los lectores-escriptores

- Problema que se plantea cuando se tiene:

- Un área de **almacenamiento compartida**.
- **Múltiples procesos leen** información.
- **Múltiples procesos escriben** información.

- Condiciones:

- Cualquier número de lectores pueden leer de la zona de datos concurrentemente: **posible varios lectores a la vez**.
- **Solamente un escritor** puede modificar la información **a la vez**.
- **Durante una escritura ningún lector** puede leer.





# Lectores y escritores

## Semáforos sin nombre

17

Alejandro Calderón Mateos 

```
int dato = 5;          /* recurso */
int n_lectores = 0;    /* num lectores */
sem_t sem_lec;         /* control el acceso n_lectores */
sem_t mutex;           /* controlar el acceso a dato */
```

```
void Lector(void)
{
    sem_wait(&sem_lec);
    n_lectores = n_lectores + 1;
    if (n_lectores == 1)
        sem_wait(&mutex);
    sem_post(&sem_lec);

    printf("%d\n", dato);

    sem_wait(&sem_lec);
    n_lectores = n_lectores - 1;
    if (n_lectores == 0)
        sem_post(&mutex);
    sem_post(&sem_lec);
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Escritor(void)
{
    sem_wait(&mutex);
    dato = dato + 2;
    sem_post(&mutex);

    pthread_exit(0);
}
```

# Lectores y escritores

## Semáforos sin nombre

18

Alejandro Calderón Mateos 

```
int dato = 5;           /* recurso */
int n_lectores = 0;    /* num lectores */
sem_t sem_lec;         /* control el acceso n_lectores */
sem_t mutex;           /* controlar el acceso a dato */

int main ( int argc, char *argv[] )
{
    pthread_t th1, th2, th3, th4;
    sem_init(&mutex, 0, 1);
    sem_init(&sem_lec, 0, 1);

    pthread_create(&th1, NULL, Lector, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Escritor, NULL);
    pthread_create(&th3, NULL, Lector, NULL);
    pthread_create(&th4, NULL, Escritor, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);
    pthread_join(th3, NULL);
    pthread_join(th4, NULL);

    sem_destroy(&mutex);
    sem_destroy(&sem_lec);

    return 0;
}
```

# Lectores-escritores (lectores tienen prioridad)

## Semáforos sin nombre

REPASO

19

<http://faculty.juniata.edu/rhodes/os/ch5d.htm>

Alejandro Calderón Mateos



MEMORIA COMPARTIDA:

```
int nlect; semaforo lec=1; semaforo escr=1;
```

LECTOR:

```
for(;;) {  
    sem_wait(lec);  
    nlect++;  
    if (nlect==1)  
        sem_wait(escr);  
    sem_signal(lec);  
  
    realizar_lect();  
  
    sem_wait(lec);  
    nlect--;  
    if (nlect==0)  
        sem_signal(escr);  
    sem_signal(lec);  
}
```

ESCRITOR:

```
for(;;) {  
    sem_wait(escr);  
    realizar_escr();  
    sem_signal(escr);  
}
```

# Lectores-escritores (escritores tienen prioridad)

## Semáforos sin nombre

20

<https://computationstructures.org/lectures/synchronization/synchronization.html>

Alejandro Calderón Mateos



### MEMORIA COMPARTIDA:

```
int nlect, nescr = 0; semaphore lect, escr = 1;  
semaphore x, y, z = 1;
```

#### LECTOR:

```
for(;;) {  
    sem_wait(z);  
    sem_wait(lect);  
    sem_wait(x);  
    nlect++;  
    if (nlect==1)  
        sem_wait(escr);  
    sem_signal(x);  
    sem_signal(lect);  
    sem_signal(z);  
    // doReading();  
    sem_wait(x);  
    nlect--;  
    if (nlect==0)  
        sem_signal(escr);  
    sem_signal(x);  
}
```

#### ESCRITOR:

```
for(;;) {  
    sem_wait(y);  
    nescr++;  
    if (nescr==1)  
        sem_wait(lect);  
    sem_signal(y);  
    sem_wait(escr);  
    // doWriting();  
    sem_signal(escr);  
    sem_wait(y);  
    nescr--;  
    if (nescr==0)  
        sem_signal(lect);  
    sem_signal(y);  
}
```

# Semáforos con nombre

## Nombrado

- Permiten sincronizar procesos distintos sin usar memoria compartida.
- El nombre de un semáforo es una cadena de caracteres (con las mismas restricciones de un nombre de fichero).
  - Si el nombre (ruta) es relativa, solo puede acceder al semáforo el proceso que lo crea y sus hijos.
  - Si el nombre es absoluto (comienza por “/”) el semáforo puede ser compartido por cualquier proceso que sepa su nombre y tenga permisos.
- Mecanismo habitual para crear semáforos que comparten padres e hijos
  - Los “sin nombre” no valen -> los procesos NO comparten memoria.

# Semáforos con nombre

## Creación y uso

### □ Para crearlo:

```
sem_t *sem_open(char *name, int flag, mode_t mode, int val);
```

- Flag = O\_CREAT lo crea.
- Flag: O\_CREAT | O\_EXECL. Lo crea si no existe. -1 en caso de que exista.
- Mode: permisos de acceso;
- Val: valor inicial del semáforo ( $\geq 0$ );

### □ Para usarlo:

```
sem_t *sem_open(char *name, int flag);
```

- Con flag 0. Si no existe devuelve -1.

### □ Importante:

- Todos los procesos deben conocer “name” y usar el mismo.

# Lectores y escritores semáforos con nombre

23

Alejandro Calderón Mateos 

```
int main ( int argc, char *argv[] )
{
    int i, n= 5; pid_t pid;

    /* Crea el semáforo nombrado */
    if ((mutex=sem_open("/tmp/sem_1", O_CREAT, 0644, 1))== (sem_t *)-1)
        { perror("No se puede crear el semaforo"); exit(1); }
    if((sem_lec=sem_open("/tmp/sem_2", O_CREAT, 0644, 1))== (sem_t *)-1)
        { perror("No se puede crear el semraáforo"); exit(1); }

    /* Crea los procesos */
    for (i = 1; i< atoi(argv[1]); ++i)
    {
        pid = fork();
        if (pid ==-1)
            { perror("No se puede crear el proceso"); exit(-1);}
        if (pid==0)
            { lector(getpid()); break; }
        else escritor(pid);
    }
    sem_close(mutex);
    sem_close(sem_lec);
    sem_unlink("/tmp/sem_1");
    sem_unlink("/tmp/sem_2");

    return 0;
}
```

# Lectores y escritores semáforos con nombre

24

Alejandro Calderón Mateos 

```
int dato = 5;           /* recurso */
int n_lectores = 0;     /* num lectores */
sem_t *sem_lec;
sem_t *mutex;
```

```
void lector (int pid)
{
    sem_wait(sem_lec);
    n_lectores = n_lectores + 1;
    if (n_lectores == 1)
        sem_wait(mutex);
    sem_post(sem_lec);

    printf("lector %d  dato: %d\n",
           pid, dato);

    sem_wait(sem_lec);
    n_lectores = n_lectores - 1;
    if (n_lectores == 0)
        sem_post(mutex);
    sem_post(sem_lec);
}
```

```
void escritor (int pid)
{
    sem_wait(mutex);
    dato = dato + 2;

    printf("escritor %d  dato: %d\n",
           pid, dato);

    sem_post(mutex);
}
```



# Contenidos

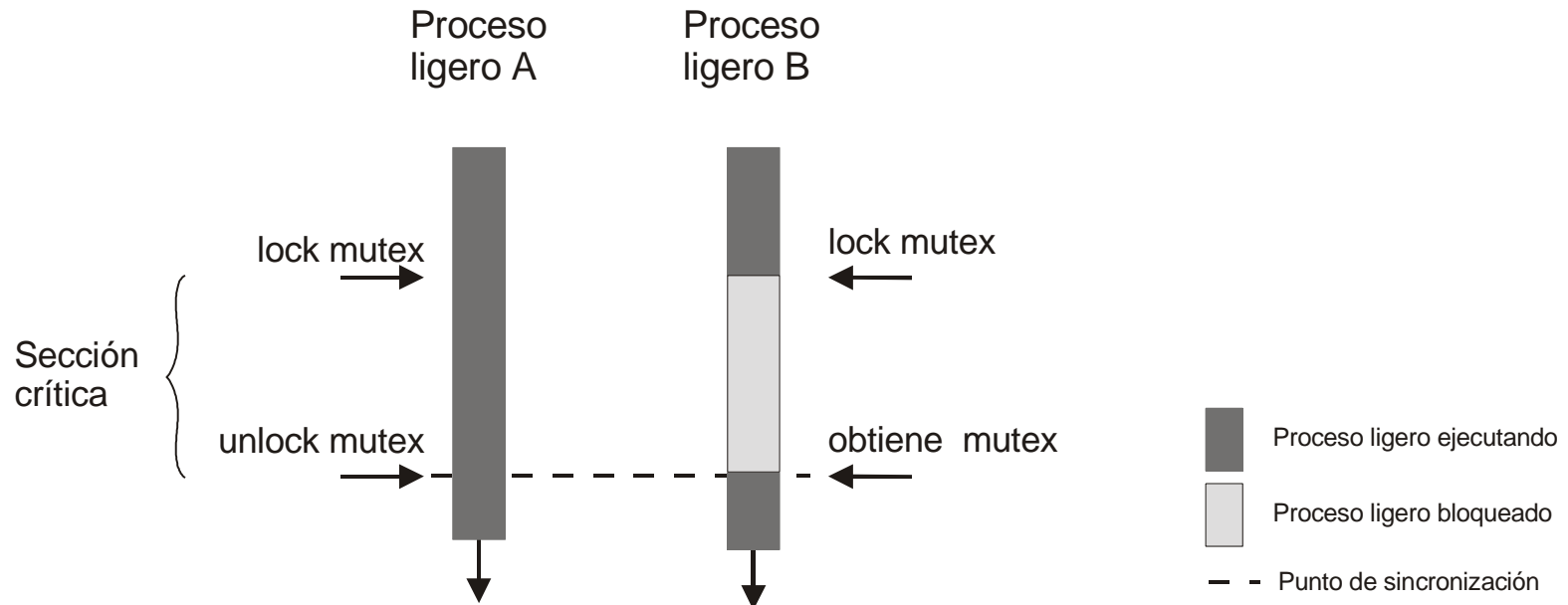
- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escriutores
- Mecanismos de sincronización de *threads* (II)
  - ▣ Semáforos
    - Llamadas al sistema para semáforos.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
  - ▣ **Mutex y variables condición**
    - Llamadas al sistema para mutex.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
- Caso estudio: desarrollo de servidores concurrentes

# Mutex y variables condicionales

- Un mutex es un mecanismo de sincronización indicado para procesos ligeros.
- Es un semáforo binario con 2 operaciones atómicas:
  - ▣ **lock(m)** Bloquear el mutex y si el mutex ya está bloqueado el proceso se suspende.
  - ▣ **unlock(m)** Desbloquea el mutex y si hay procesos bloqueados en el mutex se desbloquea a uno.
- **NOTA:** La operación `unlock` debe realizarla el proceso ligero que ejecutó `lock`

# Secciones críticas con mutex

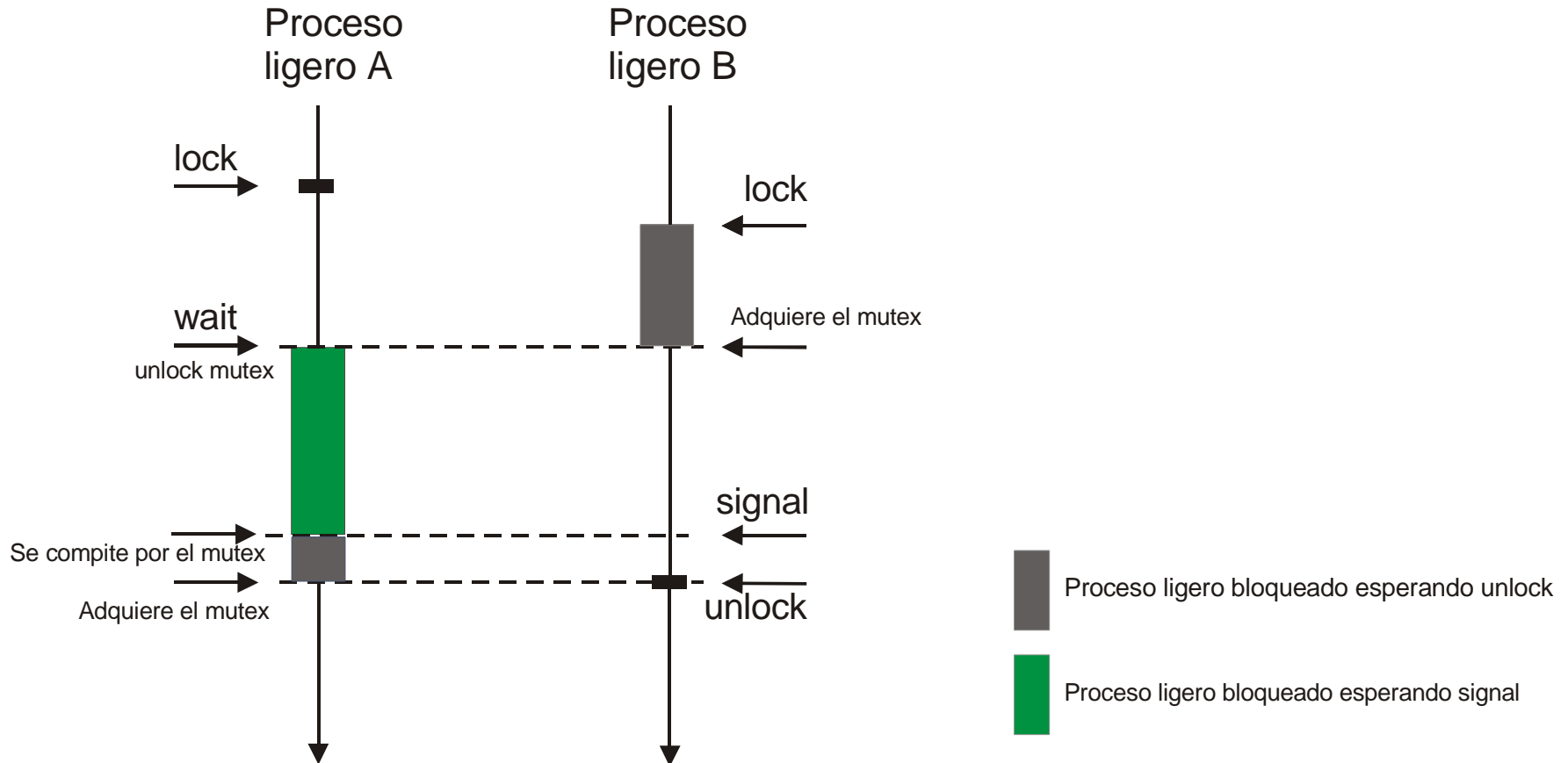
```
lock (m) ;    /* entrada en la seccion critica */  
    < seccion critica >  
unlock (m) ; /* salida de la seccion critica */
```



# Variables condicionales

- Variables de sincronización asociadas a un mutex
- Dos operaciones atómicas:
  - **wait:** Bloquea al proceso ligero que la ejecuta y le expulsa del mutex
  - **signal:** Desbloquea a uno o varios procesos suspendidos en la variable condicional y el proceso que se despierta compete de nuevo por bloquear el mutex
- Conveniente ejecutarlas entre `lock` y `unlock`

# Variables condicionales



# Uso de mutex y variables condicionales

30

Alejandro Calderón Mateos 

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */
```

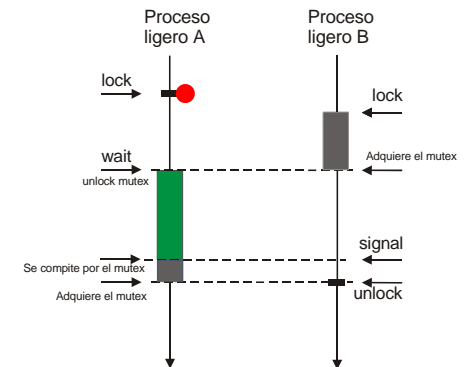
```
comprobar las estructuras de datos;
```

```
while (recurso ocupado)
```

```
    wait(condition, mutex);
```

```
    marcar el recurso como ocupado;
```

```
    unlock(mutex);
```



## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */
```

```
marcar el recurso como libre;
```

```
signal(condition);
```

```
unlock(mutex);
```

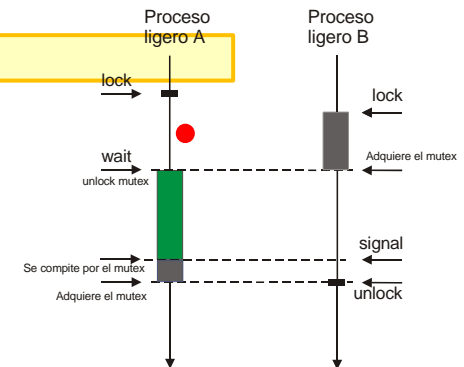
# Uso de mutex y variables condicionales

31

Alejandro Calderón Mateos 

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)  
    wait(condition, mutex);  
marcar el recurso como ocupado;  
unlock(mutex);
```



## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;  
signal(condition);  
unlock(mutex);
```

# Uso de mutex y variables condicionales

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)
```

```
    wait(condition, mutex);
```

```
    marcar el recurso como ocupado;
```

```
    unlock(mutex);
```

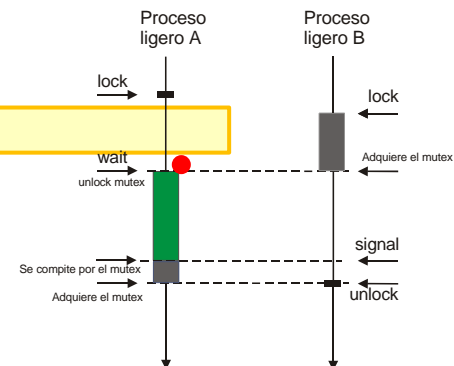
## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */
```

```
    marcar el recurso como libre;
```

```
    signal(condition);
```

```
    unlock(mutex);
```





# Uso de mutex y variables condicionales

33

Alejandro Calderón Mateos 

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)
```

```
wait(condition, mutex);
```

```
marcar el recurso como ocupado;
```

```
unlock(mutex);
```

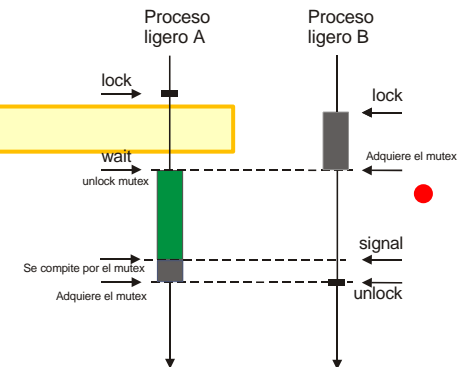
## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */
```

```
marcar el recurso como libre;
```

```
signal(condition);
```

```
unlock(mutex);
```



# Uso de mutex y variables condicionales

34

Alejandro Calderón Mateos 

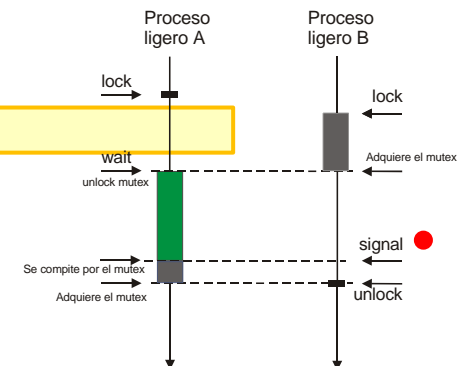
## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)
```

```
wait(condition, mutex);
```

```
marcar el recurso como ocupado;
```

```
unlock(mutex);
```



## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;
```

```
signal(condition);
```

```
unlock(mutex);
```

# Uso de mutex y variables condicionales

35

Alejandro Calderón Mateos 

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)
```

```
wait(condition, mutex);
```

```
marcar el recurso como ocupado;
```

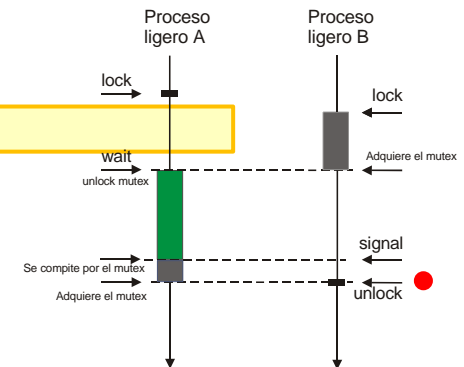
```
unlock(mutex);
```

## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;
```

```
signal(condition);
```

```
unlock(mutex);
```



# Uso de mutex y variables condicionales

36

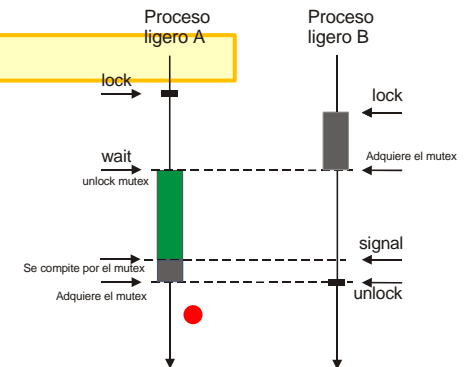
Alejandro Calderón Mateos 

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)  
    wait(condition, mutex);  
marcar el recurso como ocupado;  
unlock(mutex);
```

## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;  
signal(condition);  
unlock(mutex);
```



# Uso de mutex y variables condicionales

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)  
    wait(condition, mutex);  
marcar el recurso como ocupado;  
unlock(mutex);
```

Importante  
utilizar **while**  
para re-evaluar  
condición

## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;  
signal(condition);  
unlock(mutex);
```

# Uso de mutex y variables condicionales

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)  
    wait(condition, mutex);  
marcar el recurso como ocupado;  
unlock(mutex);
```

## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;  
signal(condition);  
unlock(mutex);
```

# Uso de mutex y variables condicionales

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
comprobar las estructuras de datos;  
while (recurso ocupado)  
    wait(condition, mutex);  
marcar el recurso como ocupado;  
unlock(mutex);
```

## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */  
marcar el recurso como libre;  
signal(condition);  
unlock(mutex);
```

# Uso de mutex y variables condicionales

40

Alejandro Calderón Mateos 

## □ Proceso ligero A

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */
```

```
comprobar las estructuras de datos;
```

```
while (recurso ocupado)
```

```
    wait(condition, mutex);
```

```
    marcar el recurso como ocupado;
```

```
    unlock(mutex);
```

- Un signal antes del **wait** se “pierde”.
- Importante por ello la condición booleana (recurso libre/ocupado)

## □ Proceso ligero B

```
lock(mutex); /* acceso al recurso */
```

```
marcar el recurso como libre;
```

```
signal(condition);
```

```
unlock(mutex);
```



# Contenidos

- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escriptores
- Mecanismos de sincronización de *threads* (II)
  - ▣ Semáforos
    - Llamadas al sistema para semáforos.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
  - ▣ Mutex y variables condición
    - **Llamadas al sistema para mutex.**
    - Problemas clásicos de concurrencia.
- Caso estudio: desarrollo de servidores concurrentes

# Servicios POSIX

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

- ▣ Inicializa un mutex.

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

- ▣ Destruye un mutex.

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

- ▣ Intenta obtener el mutex.
- ▣ Bloquea al hilo si el mutex se encuentra adquirido por otro hilo.

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

- ▣ Desbloquea el mutex.

# Servicios POSIX

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

- ▣ Inicializa una variable condicional.

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

- ▣ Destruye un variable condicional.

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

- ▣ Se reactiva al menos un hilo de los suspendidos en cond.
- ▣ Sin efecto si no hay ningún hilo esperando (diferente a los semáforos).

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

- ▣ A la vez suspende al hilo que la llama y libera a mutex.
- ▣ Cuando otro hilo llama a ...\_cond\_signal sobre cond se despierta al hilo y vuelve a competir por adquirir el mutex.

# Servicios POSIX

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

- ▣ Todos los hilos suspendidos en la variable condicional `cond` se reactivan.
- ▣ No tiene efecto si no hay ningún proceso ligero esperando.

# Contenidos

45

Alejandro Calderón Mateos 

- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escriptores
- Mecanismos de sincronización de *threads* (II)
  - ▣ Semáforos
    - Llamadas al sistema para semáforos.
    - Problemas clásicos de concurrencia.
  - ▣ Mutex y variables condición
    - Llamadas al sistema para mutex.
    - **Problemas clásicos de concurrencia.**
- Caso estudio: desarrollo de servidores concurrentes

# Productor-consumidor con mutex

46

Alejandro Calderón Mateos 

```
int main ( int argc, char *argv[] )
{
    pthread_t th1, th2;

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&no_lleno, NULL);
    pthread_cond_init(&no_vacio, NULL);

    pthread_create(&th1, NULL, Productor, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Consumidor, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);

    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    pthread_cond_destroy(&no_lleno);
    pthread_cond_destroy(&no_vacio);
    return 0;
}
```

# Productor-consumidor con mutex

47

Alejandro Calderón Mateos 

```
#define MAX_BUFFER      1024      /* tamaño del búfer */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000  /* datos a producir */

pthread_mutex_t mutex;           /* mutex de acceso al búfer compartido */
pthread_cond_t no_lleno;        /* controla el llenado del búfer */
pthread_cond_t no_vacio;        /* controla el vaciado del búfer */
int n_elementos;                /* número de elementos en el búfer */
int buffer[MAX_BUFFER];         /* búfer común */
```

```
void Productor ( void )
{
    int dato, i ,pos = 0;

    for(i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&no_lleno,
                               &mutex);

        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos ++;
        pthread_cond_signal(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
    }
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Consumidor(void)
{
    int dato, i ,pos = 0;

    for(i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == 0)
            pthread_cond_wait(&no_vacio,
                               &mutex);

        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos --;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        printf("Consume %d \n", dato);
    }
    pthread_exit(0);
}
```

# Productor-consumidor con mutex

48

Alejandro Calderón Mateos 

```
#define MAX_BUFFER      1024      /* tamaño del búfer */
#define DATOS_A_PRODUCIR 100000  /* datos a producir */

pthread_mutex_t mutex;           /* mutex de acceso al búfer compartido */
pthread_cond_t no_lleno;        /* controla el llenado del búfer */
pthread_cond_t no_vacio;       /* controla el vaciado del búfer */
int n_elementos;               /* número de elementos en el búfer */
int buffer[MAX_BUFFER];        /* búfer común */
```

```
void Productor ( void )
{
    int dato, i ,pos = 0;

    for(i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        dato = i;
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == MAX_BUFFER)
            pthread_cond_wait(&no_lleno,
                              &mutex);
        buffer[pos] = i;
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos ++;
        pthread_cond_signal(&no_vacio);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
    }
    pthread_exit(0);
}
```

```
void Consumidor(void)
{
    int dato, i ,pos = 0;

    for(i=0; i<DATOS_A_PRODUCIR; i++)
    {
        pthread_mutex_lock(&mutex);
        while (n_elementos == 0)
            pthread_cond_wait(&no_vacio,
                              &mutex);
        dato = buffer[pos];
        pos = (pos + 1) % MAX_BUFFER;
        n_elementos --;
        pthread_cond_signal(&no_lleno);
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
        printf("Consume %d \n", dato);
    }
    pthread_exit(0);
}
```



# Lectores-escriptores con mutex

```
int main ( int argc, char *argv[] )
{
    pthread_t th1, th2, th3, th4;

    pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
    pthread_cond_init(&no_lectores, NULL);

    pthread_create(&th1, NULL, Lector, NULL);
    pthread_create(&th2, NULL, Escritor, NULL);
    pthread_create(&th3, NULL, Lector, NULL);
    pthread_create(&th4, NULL, Escritor, NULL);
    pthread_join(th1, NULL);
    pthread_join(th2, NULL);
    pthread_join(th3, NULL);
    pthread_join(th4, NULL);

    pthread_mutex_destroy(&mutex);
    pthread_cond_destroy(&no_lectores);
    return 0;
}
```

# Lectores-escriptores con mutex

```
int dato = 5; /* recurso */
int n_lectores = 0; /* número de lectores */
pthread_mutex_t mutex; /* controlar el acceso a dato */
pthread_mutex_t mutex_lectores; /* controla acceso n_lectores */
```

```
void Lector(void)
{
    pthread_mutex_lock(&mutex_lectores);
    n_lectores++;
    if (n_lectores == 1)
        pthread_mutex_lock(&mutex);
    pthread_mutex_unlock(&mutex_lectores);

    /* leer dato */
    printf("%d\n", dato);

    pthread_mutex_lock(&mutex_lectores);
    n_lectores--;
    if (n_lectores == 0)
        pthread_mutex_unlock(&mutex);
    pthread_mutex_unlock(&mutex_lectores);

    pthread_exit(0);
}
```

```
void Escritor (void)
{
    pthread_mutex_lock(&mutex);

    /* modificar el recurso */
    dato = dato + 2;

    pthread_mutex_unlock(&mutex);

    pthread_exit(0);
}
```

# SISTEMAS OPERATIVOS: COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS



Hilos y mecanismos de comunicación y sincronización