

# SISTEMAS OPERATIVOS: COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS



Procesos concurrentes 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

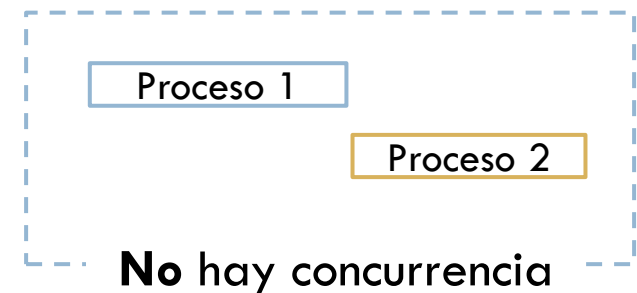
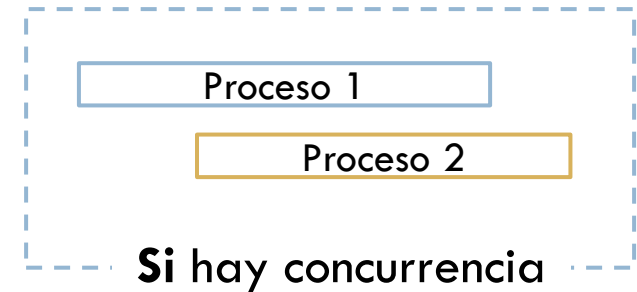
- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ Exclusión mutua y sección crítica.
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas clásicos de concurrencia (I):
  - ▣ Productor-consumidor
  - ▣ Lectores-escriitores
- 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

# Proceso concurrente

- Dos procesos son concurrentes cuando se ejecutan de manera que sus intervalos de ejecución se solapan.
- Por defecto se espera el mismo resultado en ambos casos.



# Cómo conseguir concurrencia

## Tipos de concurrencia

7

Sistemas operativos: una visión aplicada (© J. Carrete et al.)

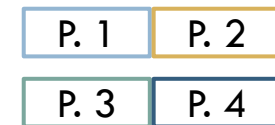
Alejandro Calderón Mateos 

- ❑ Concurrencia aparente:  
**Hay más procesos que procesadores.**
  - ❑ Los procesos se multiplexan en el tiempo.
  - ❑ Pseudoparalelismo.
  
- ❑ Concurrencia real:  
**Cada proceso se ejecuta en un procesador.**
  - ❑ Los procesos se simultanean en el tiempo.
  - ❑ Se produce una ejecución en paralelo.
  - ❑ Paralelismo real.

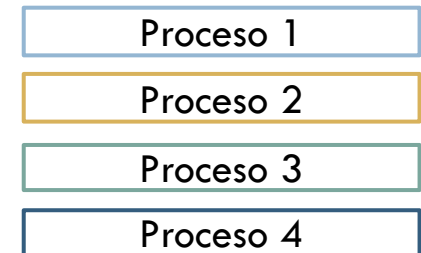
1 CPU



2 CPU



4 CPU



# Cómo conseguir concurrencia

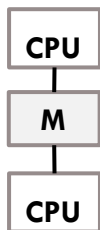
## Modelos de programación concurrente

8

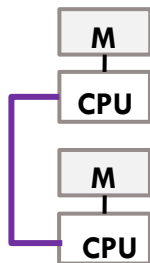
Alejandro Calderón Mateos 

CPU

- Multiprogramación con un único procesador
  - ▣ El sistema operativo se encarga de repartir el tiempo entre los procesos
    - planificación expulsiva/no expulsiva.



- Multiprocesador
  - ▣ Se combinan paralelismo real y pseudoparalelismo.
    - Normalmente más procesos que procesadores (CPU).



- Sistema distribuido
  - ▣ Varios computadores conectados por red.



# Ventajas de la ejecución concurrente

- Facilita la programación.
  - ▣ Diversas tareas se pueden estructurar en procesos separados.
  - ▣ Ejemplo: servidor Web donde cada proceso atiende a cada petición.
- Acelera la ejecución de cálculos.
  - ▣ División de cálculos en procesos ejecutados en paralelo.
  - ▣ Ejemplos: simulaciones, Mercado eléctrico, Evaluación de carteras financieras.
- Mejora el aprovechamiento de la CPU.
  - ▣ Se aprovechan las fases de E/S de una aplicación para procesamiento de otras.
- Mejora la interactividad de las aplicaciones.
  - ▣ Se pueden separar las tareas de procesamiento de las tareas de atención de usuarios.
  - ▣ Ejemplo: impresión y edición.

# Desventajas de la ejecución concurrente

- Compartición de recursos.
  - ▣ La compartición de recursos precisa de sincronización.
  - ▣ Ejemplo: variable compartida con actualizaciones/lecturas (w-w, w-r).
- Dificultad para depurar y localizar errores.
  - ▣ Las ejecuciones no son siempre deterministas ni reproducibles.
  - ▣ Ejemplos: entrelazados de ejecución particulares con problemas.
- Dificultades del S.O. para gestión óptima de recursos.
  - ▣ Dificultades del sistema operativos para la gestión de recursos de forma óptima.

# Interacciones entre procesos

## Tipos de servicios de interacción

11

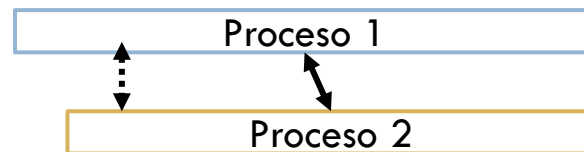
Alejandro Calderón Mateos 

### □ Comunicación:

- ▣ Permiten la transferencia de información entre procesos.
- ▣ Ejemplo: un proceso envía datos medidos para su procesamiento.
- ▣ Mecanismos: archivos, tuberías, memoria compartida, paso de mensajes.

### □ Sincronización:

- ▣ Permiten la espera hasta que ocurra un evento en otro proceso (deteniendo su ejecución hasta que ocurra)
- ▣ Ejemplo: un proceso de presentación debe esperar a que todos los procesos de cálculo terminen.
- ▣ Mecanismos: señales, pipes, semáforos, mutex, conditions, paso de mens.



# Interacciones entre procesos

## Tipos de procesos concurrentes

12

<https://www.unf.edu/public/cop4610/ree/Notes/PPT/PPT8E/CH%2005%20-OS8e.pdf>

Alejandro Calderón Mateos 

Relación	Influencia de un proceso en otro	Problemas potenciales
<b>Independientes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>No</b> comunicación<ul style="list-style-type: none"><li>• Resultado de un proceso no afecta a otros</li></ul></li><li>• <b>No</b> sincronización<ul style="list-style-type: none"><li>• Temporización no puede afectar</li></ul></li></ul>	
<b>Compiten</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>No</b> comunicación</li><li>• <b>Si</b> posible sincronización</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Excl. Mutua</li><li>• Interbloqueo</li><li>• Inanición</li></ul>
<b>Cooperan</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Si</b> comunicación<ul style="list-style-type: none"><li>• Por compartición, con recurso renovable (conocidos indirectamente)</li><li>• Por comunicación, con recurso consumible (conocidos directamente)</li></ul></li><li>• <b>Si</b> posible sincronización</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Interbloqueo</li><li>• Inanición</li></ul> <p>Compartición añade:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Excl. Mutua</li><li>• Coherencia datos</li></ul>

# 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-escriitores
- 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

# Interacciones entre procesos

## Tipos de procesos concurrentes

14

<https://www.unf.edu/public/cop4610/ree/Notes/PPT/PPT8E/CH%2005%20-OS8e.pdf>

Alejandro Calderón Mateos 

Relación	Influencia de un proceso en otro	Problemas potenciales
<b>Independientes</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>No</b> comunicación<ul style="list-style-type: none"><li>• Resultado de un proceso no afecta a otros</li></ul></li><li>• <b>No</b> sincronización<ul style="list-style-type: none"><li>• Temporización no puede afectar</li></ul></li></ul>	
<b>Compiten</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>No</b> comunicación</li><li>• <b>Si</b> posible sincronización</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Excl. Mutua</li><li>• Interbloqueo</li><li>• Inanición</li></ul>
<b>Cooperan</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Si</b> comunicación<ul style="list-style-type: none"><li>• Por compartición, con recurso renovable (conocidos indirectamente)</li><li>• Por comunicación, con recurso consumible (conocidos directamente)</li></ul></li><li>• <b>Si</b> posible sincronización</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Interbloqueo</li><li>• Inanición</li></ul> <p>Compartición añade:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Excl. Mutua</li><li>• Coherencia datos</li></ul>

# Dos procesos con recurso compartido

## escenario base

15

Alejandro Calderón Mateos 



```
graph TD; A["int suma = 0;"] --> B["suma += 10;"]; A --> C["suma += 20;"];
```

`int suma = 0 ;`

`suma += 10 ;`

`suma += 20 ;`

# Dos procesos con recurso compartido

## escenario base

16

Alejandro Calderón Mateos



```
int suma = 0 ;
```

```
suma += 10 ;
```

```
suma += 20 ;
```

```
suma == 30
```

Por defecto se espera que el resultado de ejecución paralela igual a la ejecución secuencial



# Dos procesos con recurso compartido

## sección crítica

17

Alejandro Calderón Mateos 

`int suma = 0 ;`

`suma += 10 ;`

**Sección crítica:**

Segmento de código que manipula un recurso (y debe ser ejecutado de forma atómica: w-w, w-r).

`suma += 20 ;`

`suma == 30`

# Dos procesos con recurso compartido

## escenario base

18

Alejandro Calderón Mateos



int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

**Sección crítica no atómica:**  
La distinta velocidad en la ejecución de procesos permite distintos entrelazados.

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

¿ suma ?

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

19

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

**Sección crítica no atómica:**  
La distinta velocidad en la ejecución de procesos permite distintos entrelazados.

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

¿ suma ?

**Condición de carrera:**  
La velocidad en la ejecución afecta al resultado.

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

20

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

¿ suma ?

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

21

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

¿ suma ?

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

22

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

¿ suma ?

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

23

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

suma == 10 ☹️

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

24

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

suma == 20 ☹️



# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

25

Alejandro Calderón Mateos 

int suma = 0 ;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

suma == 20 ☹️

Se puede dar en un multiprocesador (cachés) o en monoprocesador con multitarea.

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

26

Alejandro Calderón Mateos 

- Es necesario garantizar que el orden de ejecución no afecte al resultado.
- El funcionamiento de un proceso y su resultado debe ser independiente de su velocidad relativa de ejecución con respecto a otros procesos.

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

suma == 30 😊

# Dos procesos con recurso compartido condiciones de carrera

- Las instrucciones dentro de la sección crítica (acceden a variable) se han de ejecutar **de forma atómica**:
  - La **sección crítica de un proceso** se ejecuta en exclusión mutua con respecto a las secciones críticas de **otros procesos**.

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 10;

sw \$t0 suma;

Objetivo:  
conseguir que las  
instrucciones de la  
sección crítica se ejecuten  
de forma atómica

lw \$t0 suma ;

addi \$t0 \$t0 20;

sw \$t0 suma;

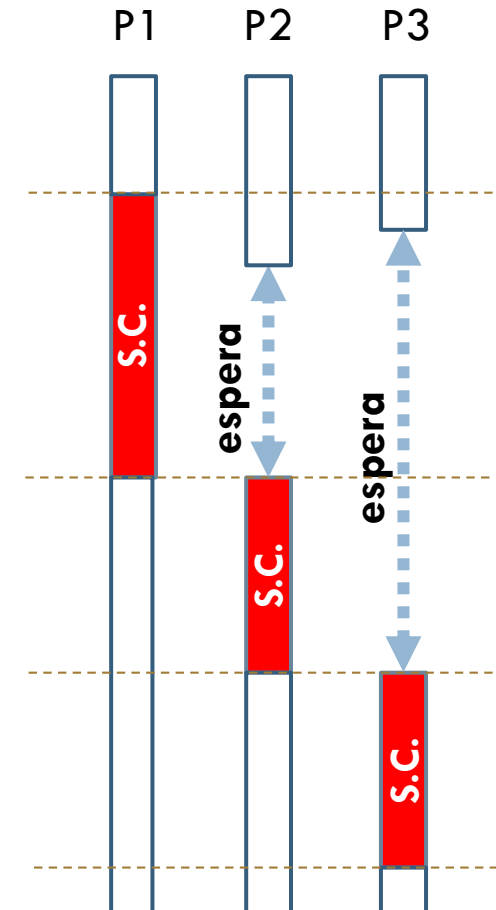
suma == 30 😊

# Contenidos

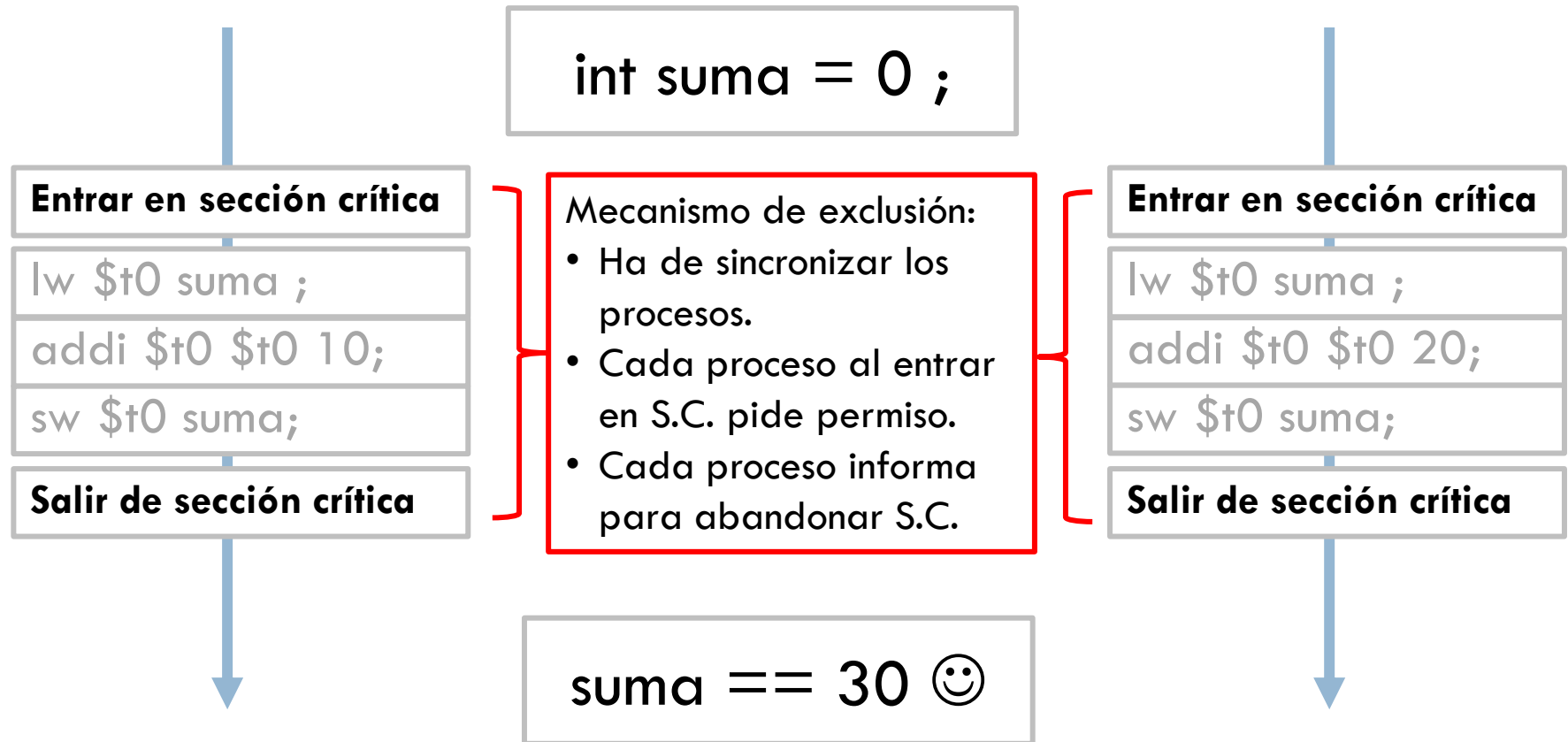
- Introducción (definiciones):
  - ▣ Procesos concurrentes.
  - ▣ Concurrencia, comunicación y sincronización
  - ▣ Sección crítica y condiciones de carrera
  - ▣ **Exclusión mutua y sección crítica.**
- Mecanismos de sincronización (I):
  - ▣ Primitivas básicas iniciales
  - ▣ Semáforos.
- Problemas 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

# Exclusión mutua (objetivo)

- **Exclusión mutua:** solamente un proceso puede estar a la vez en la sección crítica de un recurso.
- **Sección crítica:** segmento de código que manipula (w-w, w-r) un recurso y debe ser ejecutado de forma atómica.
- **Mecanismo de exclusión:** mecanismo asociado a un recurso para la gestión de su exclusión mutua.



# Mecanismo de exclusión mutua



# Mecanismo de exclusión mutua

## condiciones que ha de cumplir

31

<https://www.unf.edu/public/cop4610/ree/Notes/PPT/PPT8E/CH%2005%20-OS8e.pdf>

Alejandro Calderón Mateos



### 1. Exclusión mutua

Se obliga a que solo un proceso puede estar simultáneamente en la sección crítica de un recurso.

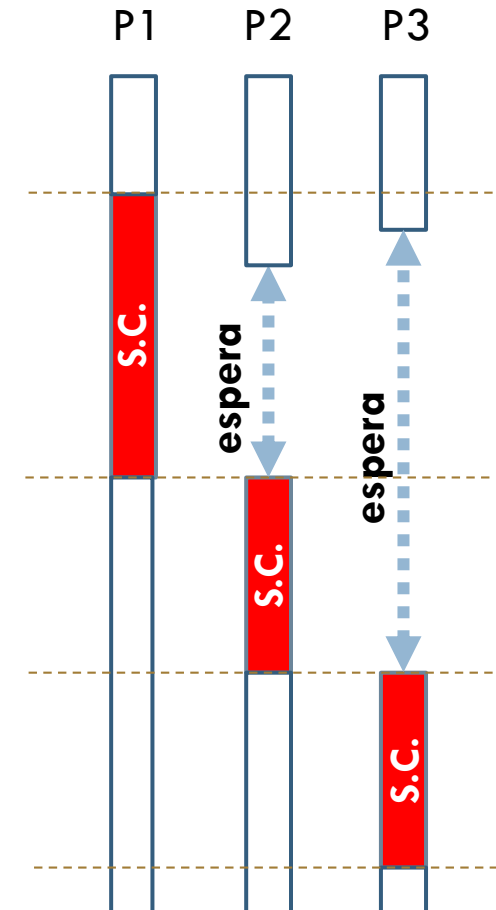
### 2. Progreso (no interbloqueo/*deadlock*)

Cuando ningún proceso este en una sección crítica, cualquier proceso que solicite su entrada lo hará sin demora.

### 3. Espera acotada (no inanición/*starvation*)

Debe existir una cota superior en el número de veces otros procesos entran en la s.c. después de que un proceso pida entrar y antes de que se otorga.

- Un proceso permanece en su sección crítica durante un tiempo finito.
- No se puede hacer suposiciones sobre la velocidad de los procesos ni el número de procesadores.
- Un proceso que termina en su sección no crítica no debe interferir en otros procesos.



# Problemas en secciones críticas

## Inanición

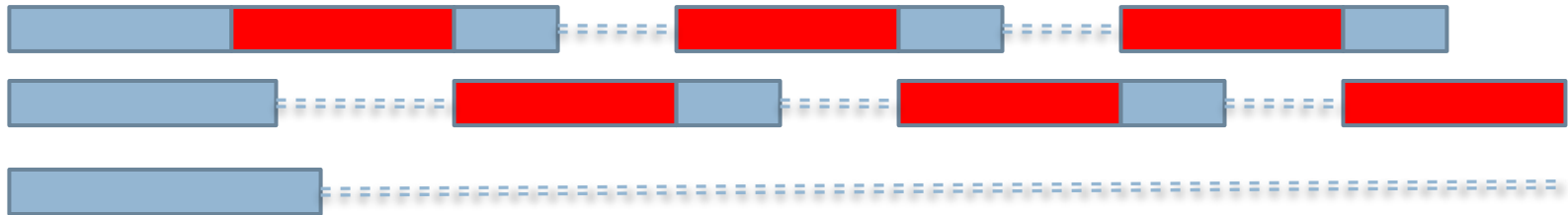
- Un proceso queda indefinidamente bloqueado en espera de entrar en una sección crítica.
  - El proceso P1 entra en la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P2 solicita entrar en la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P3 solicita entrar en la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P1 abandona la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P2 entra en la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P1 solicita entrar en la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P2 abandona la sección crítica del recurso A.
  - El proceso P1 entra en la sección crítica del recurso A.
  - ...

**El proceso P3 nunca consigue entrar en la sección crítica del recurso A**



# Problemas en secciones críticas

## Inanición



**El proceso P3 nunca llega a conseguir entrar en la sección crítica**

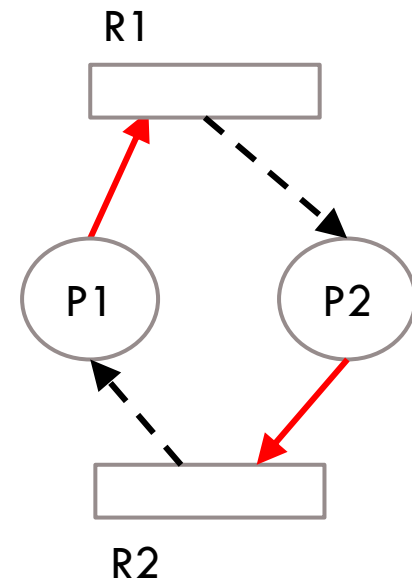
# Problemas en secciones críticas

## Interbloqueos

34

Alejandro Calderón Mateos 

- Se produce con exclusión mutua para más de un recurso, condiciones necesarias son:
  1. **Exclusión mutua:** solo un proceso puede usar un recurso cada vez. Si otro proceso solicita ese recurso debe esperar a que esté libre.



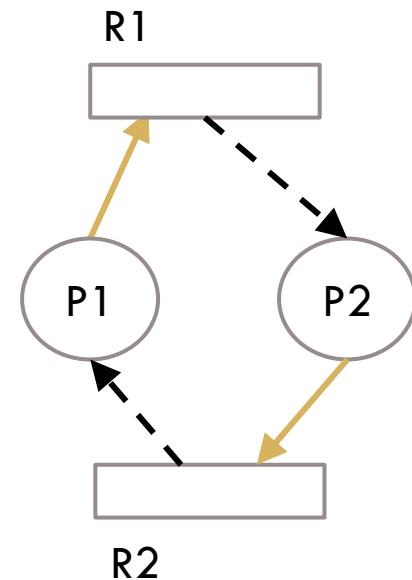
# Problemas en secciones críticas

## Interbloqueos

35

Alejandro Calderón Mateos 

- Se produce con exclusión mutua para más de un recurso, condiciones necesarias son:
  1. **Exclusión mutua:** solo un proceso puede usar un recurso cada vez. Si otro proceso solicita ese recurso debe esperar a que esté libre.
  2. **Retención y espera:** un proceso retiene unos recursos mientras espera que se le asignen otros.



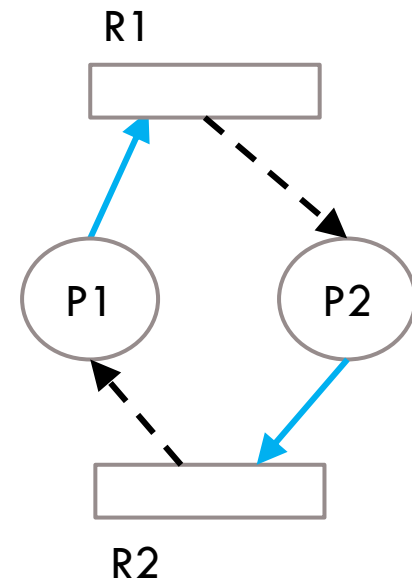
# Problemas en secciones críticas

## Interbloqueos

36

Alejandro Calderón Mateos 

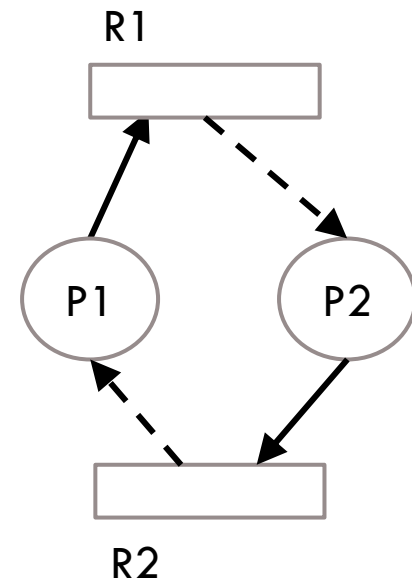
- Se produce con exclusión mutua para más de un recurso, condiciones necesarias son:
  1. **Exclusión mutua:** solo un proceso puede usar un recurso cada vez. Si otro proceso solicita ese recurso debe esperar a que esté libre.
  2. **Retención y espera:** un proceso retiene unos recursos mientras espera que se le asignen otros.
  3. **No expropiación:** un proceso no puede ser forzado a abandonar un recurso que retiene.



# Problemas en secciones críticas

## Interbloqueos

- Se produce con exclusión mutua para más de un recurso, condiciones necesarias son:
  1. **Exclusión mutua:** solo un proceso puede usar un recurso cada vez. Si otro proceso solicita ese recurso debe esperar a que esté libre.
  2. **Retención y espera:** un proceso retiene unos recursos mientras espera que se le asignen otros.
  3. **No expropiación:** un proceso no puede ser forzado a abandonar un recurso que retiene.
  4. **Espera circular:** existe una cadena cerrada de procesos  $\{P_0, \dots, P_n\}$  en la que cada proceso tiene un recurso y espera un recurso del siguiente proceso en la cadena.



**Ninguno puede avanzar**

# 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

# Alternativas de implementación

- Aproximación software:
  - **Dekker** (Dijkstra, con 4 intentos)
  - **Peterson**
  - ...
- Aproximación por hardware:
  - **Desactivar interrupciones.**
    - Solamente válido en sistemas monoprocesador (y proceso no interrumpible).
  - **Instrucciones máquina especiales:** test\_and\_set o swap.
    - Implica espera activa (son posibles inanición e interbloqueo mal usadas).
- Soporte del S.O. (y lenguaje de programación):
  - **Semáforos**
  - **Monitores**
  - **Paso de mensaje**
  - ...

- (1) Conocer mecanismos y cómo usarlos para exclusión mutua.
- (2) Conocer cómo implementar unos mecanismos en función de otros.

Tipo aprox.	Mecanismo	semáforos	cerrojos	condiciones	...
software	<b>Dekker</b>	...	...	...	...
	<b>Petterson</b>	...	...	...	...
	...	...	...	...	...
hardware	<b>Desactivar interrupts.</b>	...	...	...	...
	<b>test_and_set</b>	...	...	...	...
	<b>swap</b>	...	...	...	...
	...	...	...	...	...
S.O. + lenguaje	<b>semáforos</b>	...	...	...	...
	<b>cerrojos</b>	...	...	...	...
	<b>condiciones</b>	...	...	...	...
	<b>monitores</b>	...	...	...	...
	<b>paso de mensajes</b>	...	...	...	...
	...	...	...	...	...



# 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

# Test-and-set

- Instrucción test-and-set
  - ▣ Espera activa
  - ▣ No caché en 'lock'

```
volatile int lock = 0 ;  
while (test_and_set(&lock) == 1) ;  
critical section  
lock = 0;  
remainder section
```

# Solución de Peterson

- SOLO para 2 procesos
- Asume que instrucciones LOAD y STORE son atómicas, no interrumpibles.
- Los 2 procesos comparten 2 variables:
  - **int turno**: indica quien entrará en la sección crítica.
    - $\text{turno} = 1$  implica que  $P_1$  entrará.
  - **bool flag[2]**: indica si un proceso tiene intención en entrar en la sección crítica.
    - $\text{flag}[i] = \text{true}$  implica que  $P_i$  está listo para entrar.

# Peterson: algoritmo para proceso $P_i$

2 procesos:  $P_i$  y  $P_j$  (con  $j=1-i$ )

- $i=0 \Rightarrow j=1$  ( $1-i$ )
- $i=1 \Rightarrow j=0$  ( $1-i$ )

```
do
{
    flag[i] = TRUE;
    turn = j;
    while (flag[j] && turn == j);
    critical section
    flag[i] = FALSE;
    remainder section
} while (TRUE);
```

# 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 (Dijkstra)

- Se puede ver un semáforo como una variable entera con tres operaciones atómicas asociadas.
- Operaciones atómicas asociadas:
  - ▣ Iniciación a un valor no negativo.
  - ▣ **semWait:**
    - Decrementa el contador del semáforo y si  $(s < 0)$  → El proceso llamante se bloquea.
  - ▣ **semSignal:**
    - Incrementa el valor del semáforo y si  $(s \leq 0)$  → Desbloquea un proceso.

# Secciones críticas y semáforos

- A la sección crítica de un recurso se le asocia un semáforo:
  - ▣ Semáforo **iniciado a 1**.
- **semWait**: entrada en la sección crítica.
- **semSignal**: salida de la sección crítica.

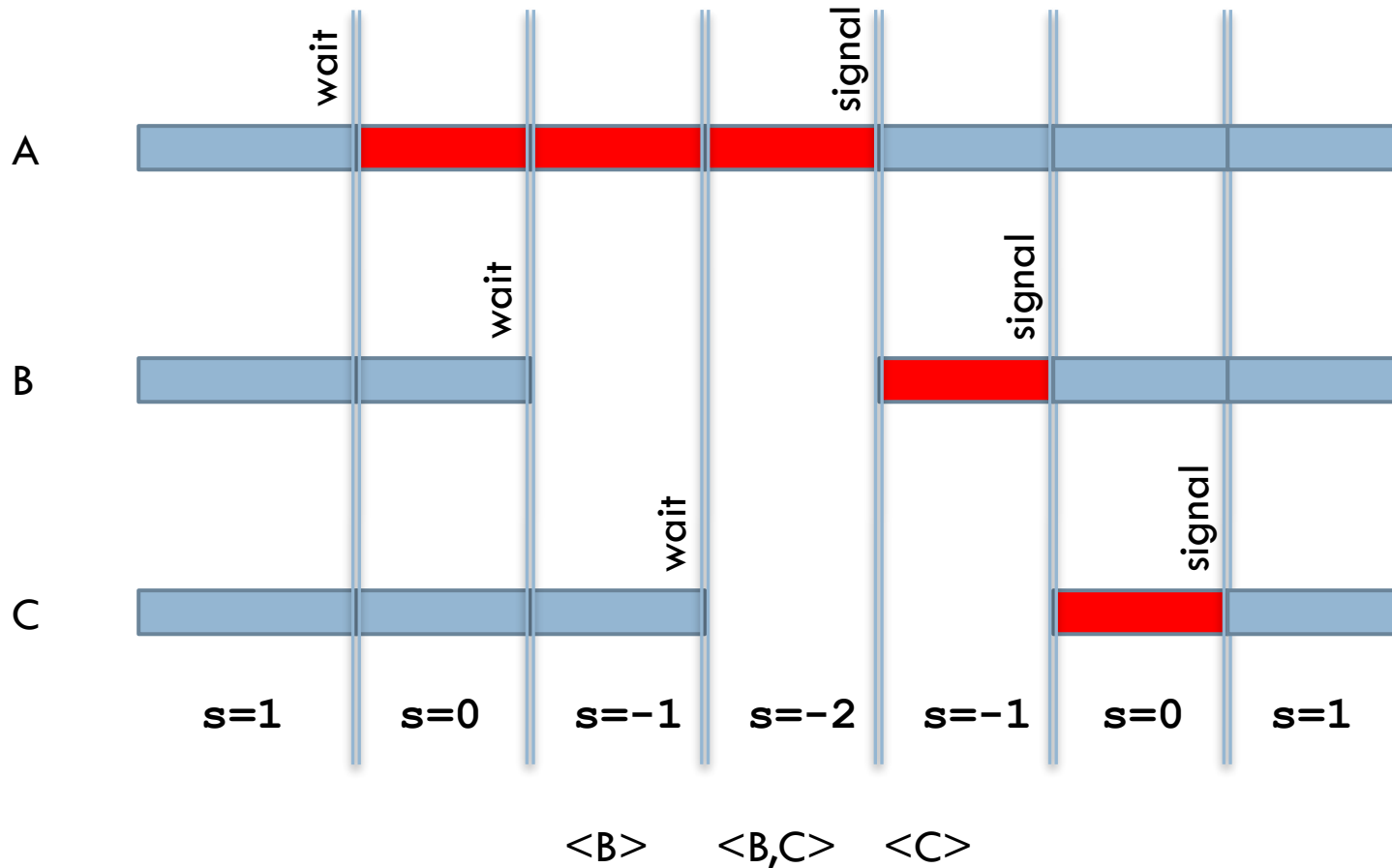
```
s = 1 ;  
  
// sección no crítica  
...  
semWait(s);  
// sección crítica  
semSignal(s);  
...  
// sección no crítica
```

# Secciones críticas y semáforos

48

Sistemas operativos: una visión aplicada (© J. Carrete et al.)

Alejandro Calderón Mateos



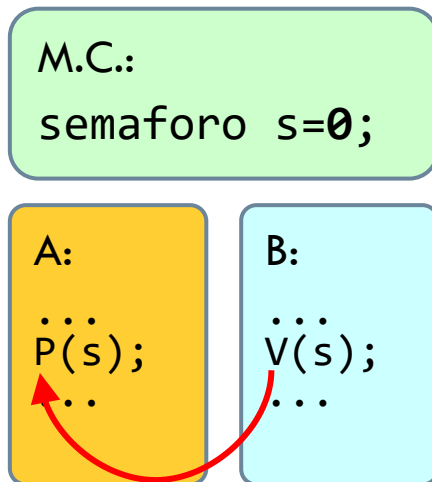


# Ejemplos de uso de semáforos

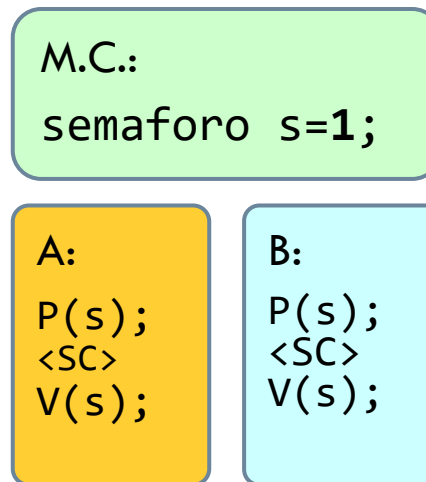
49

<https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/nedlagte-emner/INF3150/h03/annet/slides/semaphores.pdf>

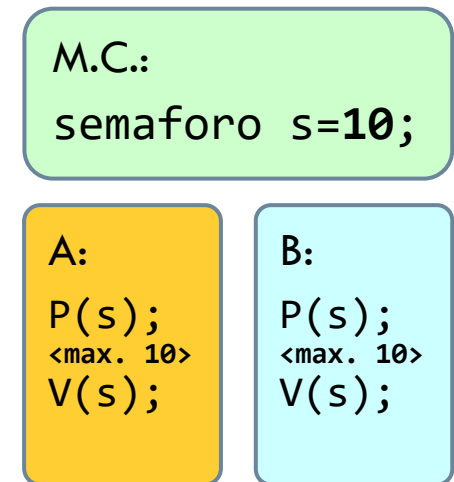
Alejandro Calderón Mateos 



“La señal”



“El mutex”



“El equipo”

# 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-escriitores
- 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

# Problemas clásicos de concurrencia

51

Alejandro Calderón Mateos 

Tipo aprox.	Mecanismo	P-C	LL-EE	...
software	<b>Dekker</b>	P-C con Dekker	...	...
	<b>Petterson</b>	P-C con Petterson	<no aplica +2>	...
	...	...	...	...
hardware	<b>Desactivar interrupts.</b>	...	...	...
	<b>test_and_set</b>	...	...	...
	<b>swap</b>	...	...	...
	...	...	...	...
S.O. + lenguaje	<b>semáforos</b>	<b>P-C con sem.</b>	<b>LL-EE con sem.</b>	...
	<b>cerrojos</b>	...	...	...
	<b>condiciones</b>	...	...	...
	<b>monitores</b>	...	...	...
	<b>paso de mensajes</b>	...	...	...
	...	...	...	...

# Problemas clásicos de concurrencia

52

Alejandro Calderón Mateos 

Tipo aprox.	Mecanismo	P-C	LL-EE	...
<p>(1) Conocer los problemas clásicos de concurrencia para detectar cuándo aparecen [*].</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• P-C: productor-consumidor</li> <li>• LL-EE: lectores y escritores</li> <li>• ...</li> </ul> <p>[*] Pueden aparecer 1 o combinación de varios.</p>		P-C con Dekker	...	...
		P-C con Petterson	<no aplica +2>	...
		...	...	...
	pts.	...	...	...
		...	...	...
		...	...	...
		...	...	...
	semáforos	<b>P-C con sem.</b>	<b>LL-EE con sem.</b>	...
	semaforos	...	...	...
		...	...	...
<p>(2) Conocer la solución a los problemas clásicos de concurrencia para usarse como plantillas cuando aparecen</p>	s	...	...	...
		...	...	...
		...	...	...
		...	...	...

# 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-escriitores
- 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

# El problema del productor-consumidor

- Un proceso produce elementos de información.
- Un proceso consume elementos de información.
- Se tiene un espacio de almacenamiento intermedio.
  - ▣ Infinito
  - ▣ Acotado (finito de tamaño  $N$ )



# Búfer infinito

Hay que introducir  
sincronización

55

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

Alejandro Calderón Mateos



MEMORIA COMPARTIDA:

```
int inicio, fin;  
char v[N];
```

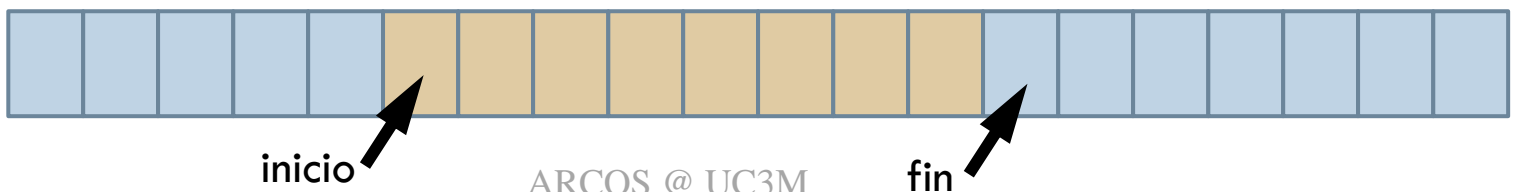
PRODUCER:

```
for (;;) {  
    x= producir();  
    v[fin] = x;  
    fin++;  
}
```

CONSUMIDOR:

```
for (;;) {  
    while (inicio==fin) {}  
    y=v[inicio];  
    inicio++;  
    procesar(y);  
}
```

**Espera activa**



# Búfer infinito

56

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

Alejandro Calderón Mateos 

MEMORIA COMPARTIDA:

```
int inicio, fin;  
char v[N];  
semaforo s=1;
```

PRODUCER:

```
for (;;) {  
    x= producir();  
    semWait(s);  
    v[fin] = x;  
    fin++;  
    semSignal(s);  
}
```

CONSUMIDOR:

```
for (;;) {  
    while (inicio==fin) {}  
    semWait(s);  
    y=v[inicio];  
    inicio++;  
    semSignal(s);  
    procesar(y);  
}
```

**Espera  
activa**





# Búfer infinito

57

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

Alejandro Calderón Mateos 

MEMORIA COMPARTIDA:

```
int inicio, fin;  
char v[N];  
semaforo s=1; semaforo n=0;
```

PRODUCER:

```
for (;;) {  
    x= producir();  
    semWait(s);  
    v[fin] = x;  
    fin++;  
    semSignal(s);  
    semSignal(n);  
}
```

CONSUMIDOR:

```
for (;;) {  
    semWait(n);  
    semWait(s);  
    y=v[inicio];  
    inicio++;  
    semSignal(s);  
    procesar(y);  
}
```

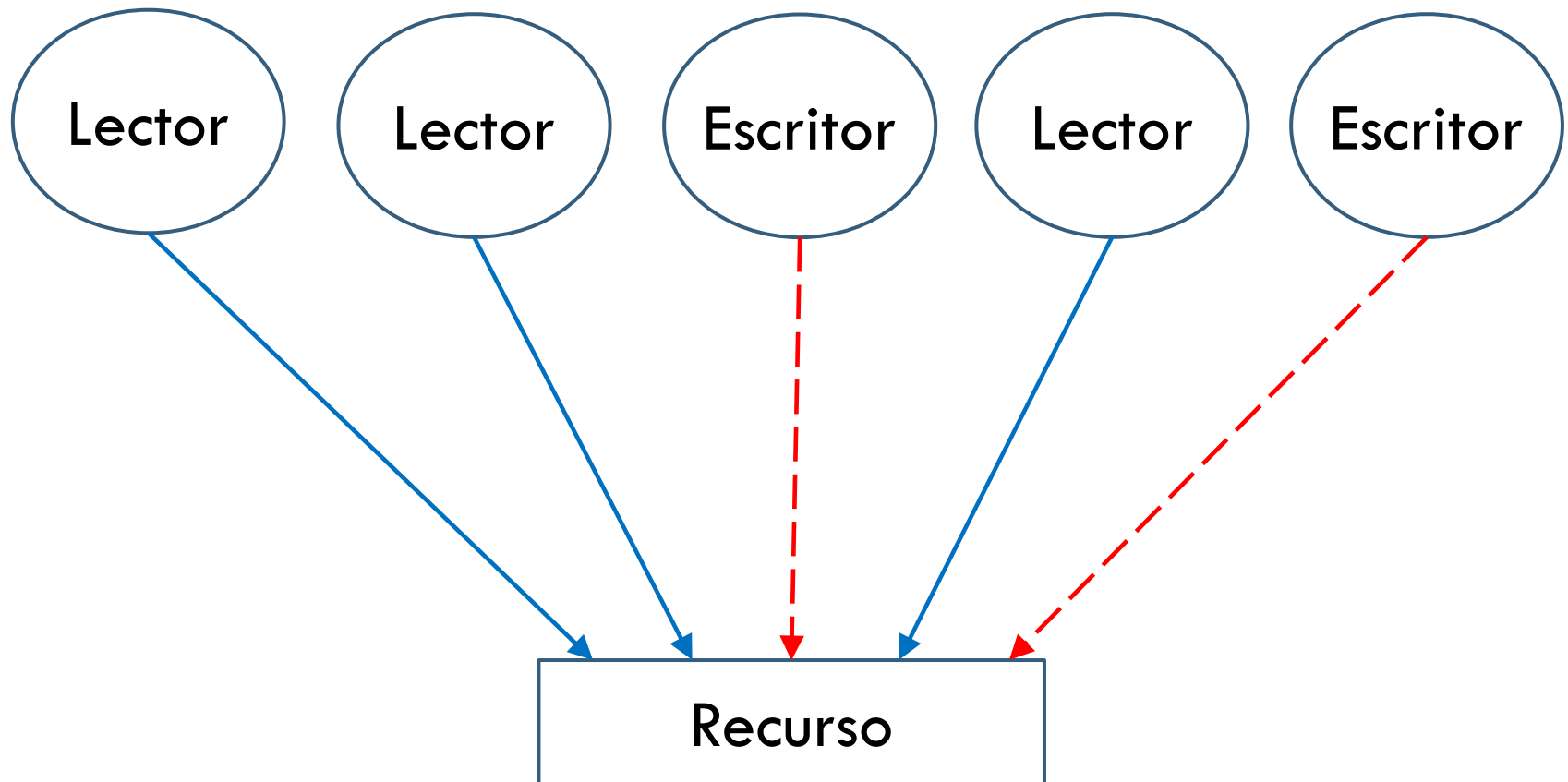
# Contenidos

- 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

# 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.

# Problema de los lectores-escriptores



# Diferencias con otros problemas

- Exclusión mutua:
  - ▣ En el caso de la exclusión mutua solamente se permitiría a un proceso acceder a la información.
  - ▣ No se permitiría concurrencia entre lectores.
  
- Productor consumidor:
  - ▣ En el productor/consumidor dos lectores no precisan exclusión mutua en la sección crítica.
  - ▣ Objetivo: proporcionar una solución más eficiente.

# Alternativas de gestión

## A. Los lectores tienen prioridad.

- ▣ Si hay algún lector en la sección crítica entonces otros lectores pueden entrar.
- ▣ Un escritor solamente puede entrar en la sección crítica si no hay ningún proceso.
- ▣ **Problema:** inanición para escritores.

## B. Los escritores tienen prioridad.

- ▣ Cuando un escritor desea acceder a la sección crítica no se admite la entrada de nuevos lectores.

# Los lectores tienen prioridad

63

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

Alejandro Calderón Mateos 

MEMORIA COMPARTIDA:

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

LECTOR:

```
for(;;) {  
    semWait(lec);  
    nlect++;  
    if (nlect==1)  
        semWait(escr);  
    semSignal(lec);  
  
    realizar_lect();
```

```
    semWait(lec);  
    nlect--;  
    if (nlect==0)  
        semSignal(escr);  
    semSignal(lec);  
}
```

ESCRITOR:

```
for(;;) {  
    semWait(escr);  
    realizar_escr();  
    semSignal(escr);  
}
```

**Tarea: Diseñar una  
solución para  
escritores con prioridad**

# Los escritores tienen prioridad

64

<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(;;) {  
    semWait(z);  
    semWait(lect);  
    semWait(x);  
    nlect++;  
    if (nlect==1)  
        semWait(escr);  
    semSignal(x);  
    semSignal(lect);  
    semSignal(z);  
    // doReading();  
    semWait(x);  
    nlect--;  
    if (nlect==0)  
        semSignal(escr);  
    semSignal(x);  
}
```

### ESCRITOR:

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



# SISTEMAS OPERATIVOS: COMUNICACIÓN Y SINCRONIZACIÓN ENTRE PROCESOS



Procesos concurrentes y sincronización