

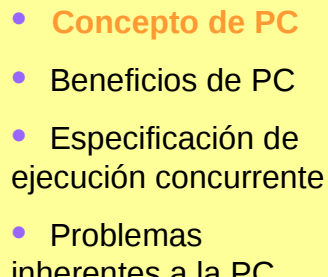
# Programación Concurrente

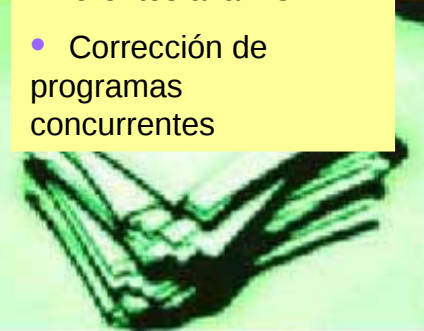
## Tema 1. Conceptos fundamentales



# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- 
- **Concepto de PC**
  - Beneficios de PC
  - Especificación de ejecución concurrente
  - Problemas inherentes a la PC
  - Corrección de programas concurrentes

- 
- Avances en HW (procesadores específicos de E/S)
  - Nuevos SO que optimizan uso del procesador (E/S concurrente)
  - Nuevos problemas de sincronización
  - Programación Concurrente como Disciplina

# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

## ■ Hitos:

- Aparición del concepto de thread o hilo de ejecución, que permite que los programas se ejecuten más rápido que los que utilizan el concepto de proceso
- Aparición de lenguajes de propósito general como Java que dan soporte directo a la programación concurrente
- Aparición de Internet: campo abonado para el desarrollo y la utilización de programas concurrentes
  - Navegadores, chats etc están programados usando técnicas de programación concurrente



# Concepto de programación concurrente



## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- **Concurrencia (RAE):**  
Acaecimiento o concurso de varios sucesos en un mismo tiempo
- Si sustituimos suceso por proceso ya tenemos la definición de concurrencia en computación



# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

■ Programa<> proceso

■ Programa:

- Conjunto de instrucciones
- Estático (para que pueda hacer algo hay que ponerlo en ejecución)
- Secuencia de líneas de código que dicen qué hacer con un conjunto de datos
- Comparable con una clase en POO

# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

## ■ Proceso:

- Programa en ejecución (def incompleta)
- Dinámico
- Representado por un valor de contador de programa, el contenido de los registros del procesador, una pila y una sección de datos que contiene variables globales.
- Se puede comparar con un objeto en POO

# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- POO: Una sola clase y muchos objetos instancias de la clase
- PC: Un solo programa y muchos procesos que corresponden al mismo programa
  - Un proceso no tiene por qué ser todo un programa en ejecución sino que puede ser una parte de él. I.e. un programa, al ponerse en ejecución puede dar lugar a más de un proceso, cada uno de ellos ejecutando una parte del programa.

# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

## ■ Concurrencia:

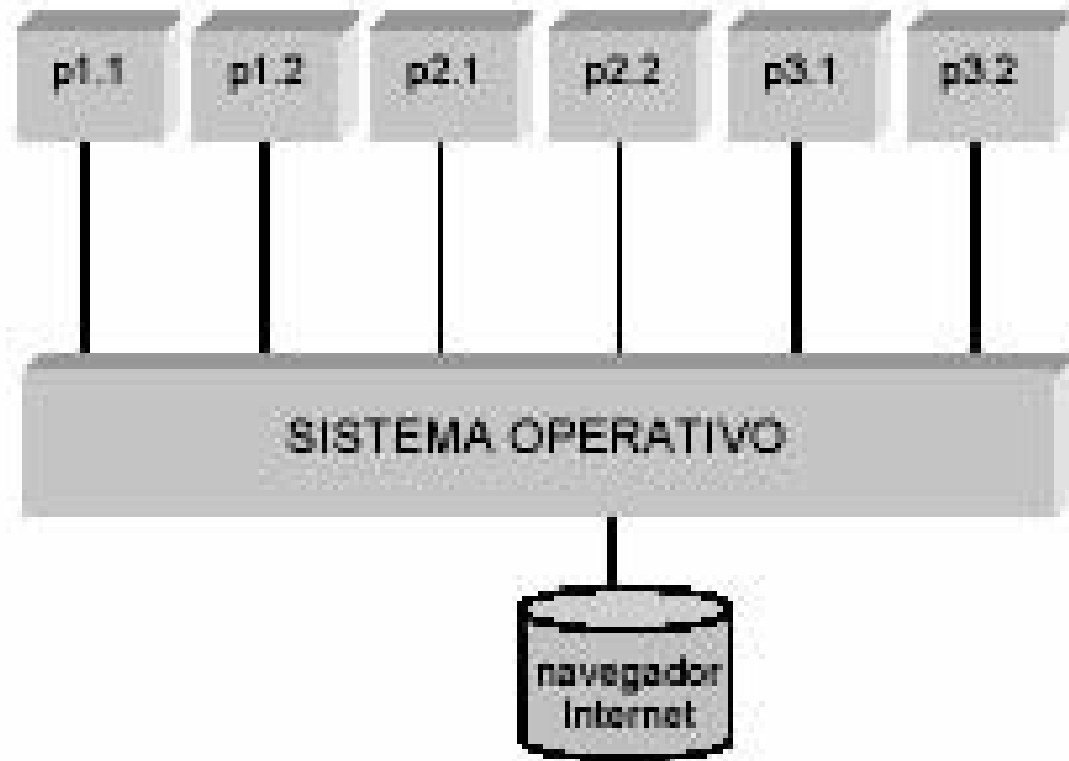
- Dos procesos serán concurrentes cuando la primera instrucción de uno de ellos se ejecute después de la primera instrucción del otro y antes de la última
  - Existe solapamiento en la ejecución de sus instrucciones, aunque no se ejecuten al mismo tiempo
- Si los procesos se ejecutan exactamente al mismo tiempo → programación paralela
- La programación concurrente es un paralelismo potencial, no real. Dependerá del hw subyacente



# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes



# Concepto de programación concurrente

## Índice Tema 1

- **Concepto de PC**
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Cuando varios procesos se ejecutan concurrentemente pueden
  - Colaborar
  - Competir por recursos
- En ambos casos es necesario introducir mecanismos de comunicación y sincronización
- Programación concurrente:
  - Permite especificar la ejecución concurrente de las acciones de un programa, así como las técnicas para resolver problemas inherentes a la ejecución concurrente → mecanismos de comunicación y sincronización
  - + compleja que la programación tradicional

# Beneficios de programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- **Beneficios de PC**
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes



- Mejor aprovechamiento de la CPU
- Velocidad de ejecución: cuando hay mas de 1 procesador podemos tener cada proceso en un procesador
  - E.g. programas cálculo numérico
- Solución de problemas inherentemente concurrentes:
  - Sistemas de control
  - Tecnologías web: servidores web, chat, servidores correo, navegadores.
  - Aplicaciones basadas en interfaces de usuario (e.g. juegos)
  - Simulación de objetos físicos
  - SGBD: la PC permite aplicar políticas adecuadas para mantener la integridad de los datos.



# Concurrencia y arquitecturas hardware



## Índice Tema 1

- Concepto de PC
  - **Beneficios de PC**
  - Especificación de ejecución concurrente
  - Problemas inherentes a la PC
  - Corrección de programas concurrentes
- 
- 

- Cuando hablamos de hardware nos referimos al número de procesadores del sistema:
  - Sistemas monoprocesador: 1 solo procesador
  - Sistemas multiprocesador: más de un procesador
- La PC presenta beneficios tanto en arquitecturas hw monoprocesador (comunicación mediante variables compartidas) como en arquitecturas hw multiprocesador



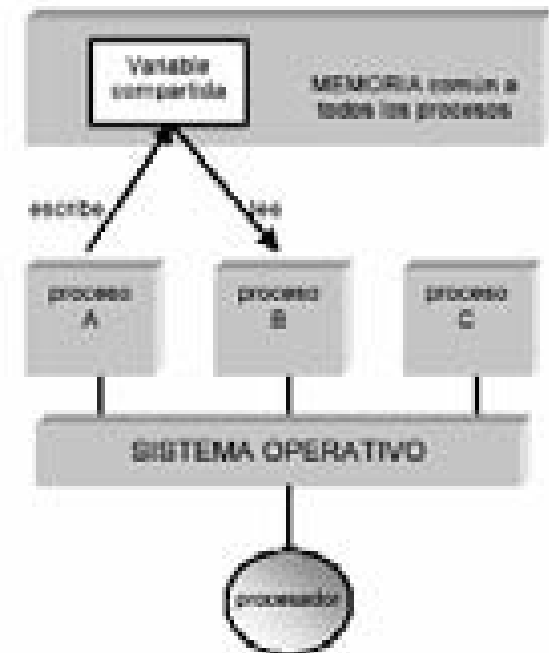
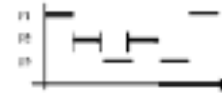
# Concurrencia y arquitecturas hardware

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- **Beneficios de PC**
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

### ■ Arquitecturas hw monoprocesador:

- También es posible tener ejecución concurrente de procesos
- No todos los procesos se ejecutan al mismo tiempo, sólo uno de ellos los estará haciendo, pero la sensación del usuario es de estar ejecutándose al mismo tiempo
- El SO va alternando el tiempo de procesador entre los distintos procesos → MULTIPROGRAMACION
- Todos los procesos comparten la misma memoria. La forma de sincronizar y comunicar es mediante el uso de variables compartidas.

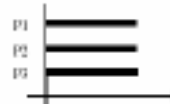


# Concurrencia y arquitecturas hardware

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- **Beneficios de PC**
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Arquitecturas hw multiprocesador: Permite que exista el paralelismo real, aunque la realidad es que siempre haya más procesos que procesadores.



- Las clasificamos en:
  - Fuertemente acopladas
  - Débilmente acopladas

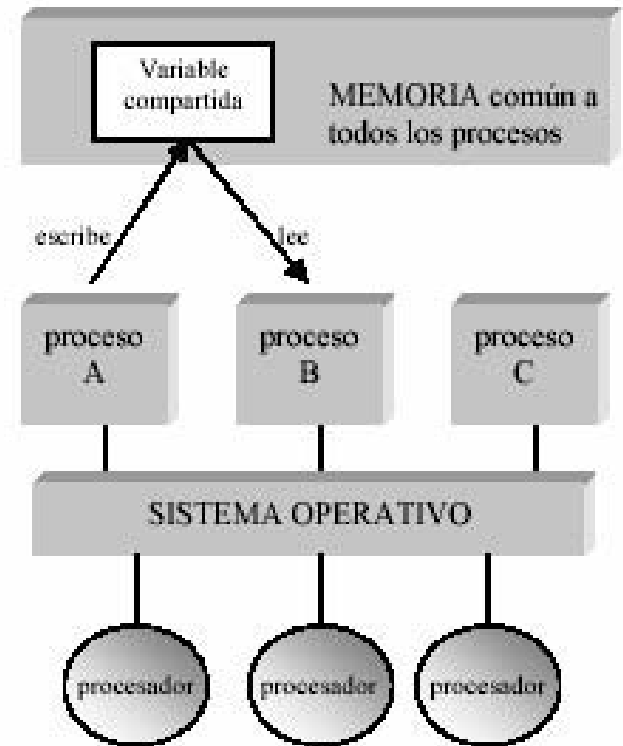
# Concurrencia y arquitecturas hardware

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- **Beneficios de PC**
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Fuertemente acopladas: se comunican mediante variables en memoria compartida, ya que los procesadores y otros dispositivos están conectados a un bus.

## MULTIPROCESO

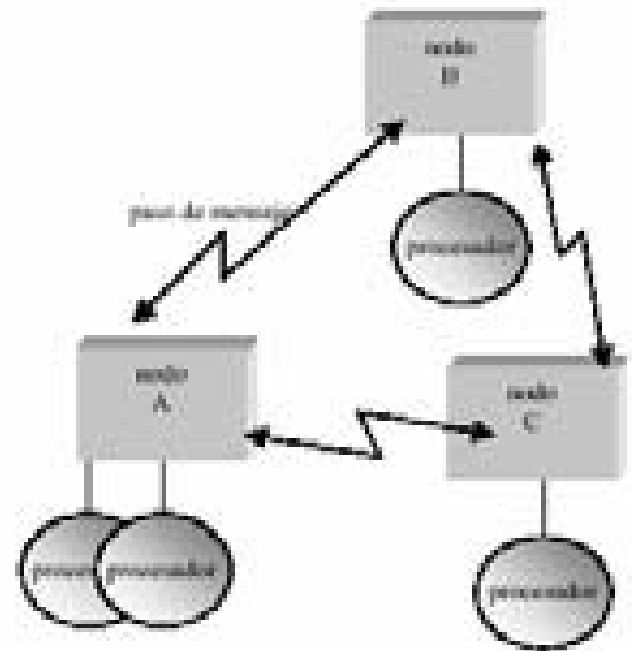


# Concurrencia y arquitecturas hardware

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- **Beneficios de PC**
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Débilmente acopladas: no existe memoria compartida por los procesadores, cada procesador tiene su memoria local.  
**PROCESAMIENTO DISTRIBUIDO.**  
Mecanismo de comunicación más común es el paso de mensajes.



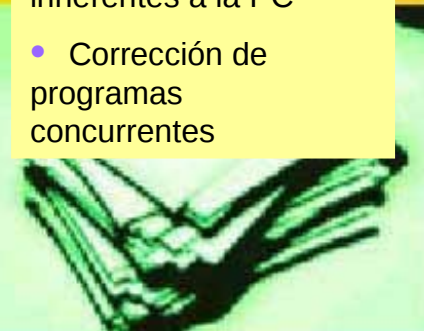





# Concurrencia y arquitecturas hardware



## Índice Tema 1

- Concepto de PC
  - **Beneficios de PC**
  - Especificación de ejecución concurrente
  - Problemas inherentes a la PC
  - Corrección de programas concurrentes
- 

- El paso de mensajes también se puede aplicar en sistemas de multiproceso y de multiprogramación. La unión del paso de mensajes y la PC ha llevado a la Programación Concurrente orientada a Objetos. E.g. JAVA
- 

# Concurrencia y arquitecturas hardware (Cuadro resumen)

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- **Beneficios de PC**
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Programa Concurrente
  - cjo acciones que pueden ser ejecutadas simultáneamente
- Programa Paralelo
  - Programa concurrente para sistema multiprocesador
- Programa Distribuido
  - Programa paralelo para sistemas sin memoria compartida

Mc P	Sí	No
1	Multiprogr.	-
n	Multiproceso	Programación Distribuida

# Especificación de ejecución concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- ¿Qué se puede ejecutar concurrentemente?
  - No todas las partes de un programa se pueden ejecutar concurrentemente:

$x := x + 1;$	$x := 1;$
$y := x + 2;$	$y := 2;$
$z := y + 1;$	$z := 3;$

# Especificación de ejecución concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Condiciones de Bernstein: Para poder determinar si 2 conjuntos de instrucciones se puede ejecutar concurrentemente.
  - $L(S_k) = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  conjunto de lectura, formado por todas las variables cuyos valores son referenciados (se leen) durante la ejecución de las instrucciones  $S_k$
  - $E(S_k) = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$  conjunto de escritura, formado por todas las variables cuyos valores son actualizados durante la ejecución



# Especificación de ejecución concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Para que se puedan ejecutar concurrentemente dos conjuntos de instrucciones  $S_i$  y  $S_j$  se debe cumplir que ninguno escriba lo que el otro lee o escribe:

1.  $L(S_i) \cap E(S_j) = \emptyset$
2.  $E(S_i) \cap L(S_j) = \emptyset$
3.  $E(S_i) \cap E(S_j) = \emptyset$

# Especificación de ejecución concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

$S1 \rightarrow a := x + y$   
 $S2 \rightarrow b := z - 1$   
 $S3 \rightarrow c := a - b$   
 $S4 \rightarrow w := c + 1$

¿Qué sentencias se pueden ejecutar de manera concurrente?

1. Calculamos los conjuntos de lectura y escritura
2. Aplicamos las condiciones a cada par de sentencias:
  - Entre S1 y S2
  - Entre S1 y S3
  - Entre S1 y S4
  - Entre S2 y S3
  - Entre S2 y S4
  - Entre S3 y S4

# Especificación de ejecución concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

$S1 \rightarrow a := x + y$

$S2 \rightarrow b := z - 1$

$S3 \rightarrow c := a - b$

$S4 \rightarrow w := c + 1$

**SOLUCION!!!**

	S1	S2	S3	S4
S1	-	S	N	S
S2	-	-	N	S
S3	-	-	-	N
S4	-	-	-	-



# Ejercicio

- Usando las condiciones de Bernstein, construir una table como la anterior para el siguiente código:

```
S1: cuad := x*x;  
S2: m1 := a*cuad;  
S3: m2 := b*x;  
S4: z := m1+m2;  
S5: y := z+c;
```



# Especificación de ejecución concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

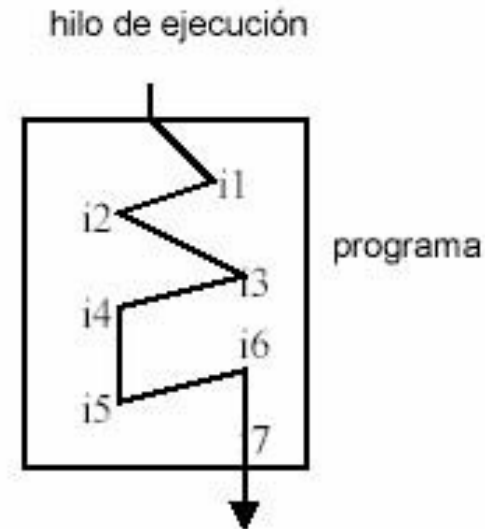
- La ejecución concurrente tiene dos características:
  - Orden parcial
  - Indeterminismo (causado por el orden parcial)
    - EL INDETERMINISMO ESTÁ EN LA RAÍZ DE LOS PROBLEMAS DE LA PROGRAMACIÓN CONCURRENTES

# Orden de ejecución de las instrucciones

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Programas secuenciales: **orden total**, ante un conjunto de datos de entrada siempre se sabe el flujo del programa

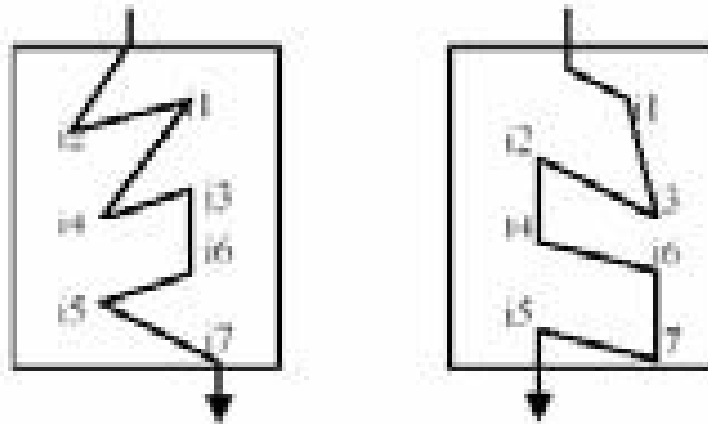


# Orden de ejecución de las instrucciones

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- **Especificación de ejecución concurrente**
- Problemas inherentes a la PC
- Corrección de programas concurrentes

- Programas concurrentes: **orden parcial**, ante el mismo conjunto de datos no se puede saber cual será el flujo de ejecución. En cada ejecución el flujo puede ir por un sitio distinto.

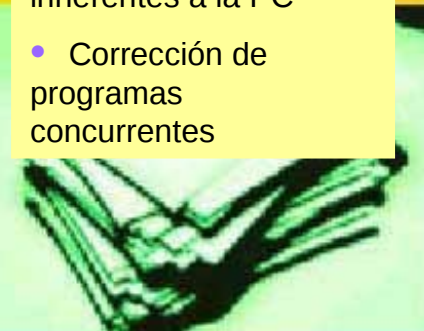





# Indeterminismo



## Índice Tema 1

- Concepto de PC
  - Beneficios de PC
  - **Especificación de ejecución concurrente**
  - Problemas inherentes a la PC
  - Corrección de programas concurrentes
- 
- 

- El orden parcial lleva a los programas a un comportamiento indeterminista → arrojar diferentes resultados cuando se ejecuta el programa repetidamente con los mismos datos de entrada

# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

- Exclusión mutua:
  - Situación en la que un recurso sólo puede ser accedido por un proceso (recurso crítico)
    - Ojo! Lo que realmente se ejecuta concurrentemente son las líneas de código generadas por el compilador. Cada línea es atómica o indivisible.
    - E.g.  $x := x + 1 \rightarrow$ 
      - LOAD X R1;
      - ADD R1 1;
      - STORE R1 X
    - Este programa no podría lanzar dos procesos concurrentes salvo que la línea de código se defina como SECCIÓN CRÍTICA

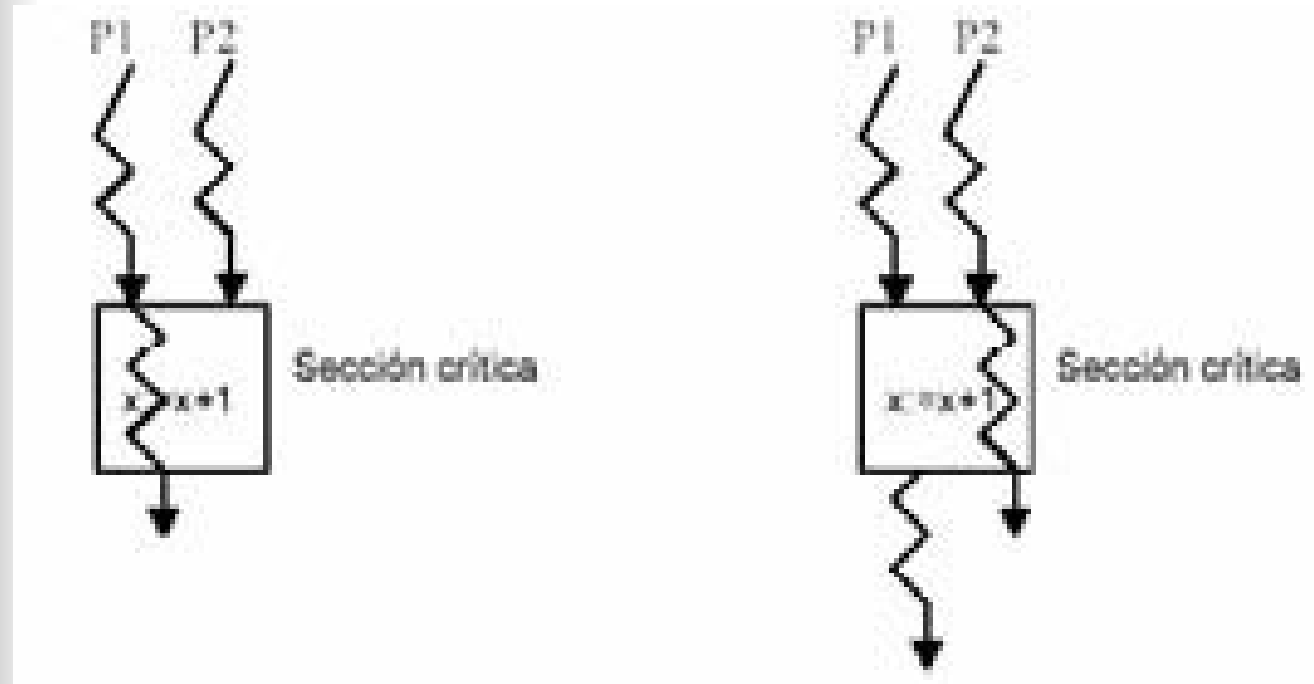


# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

## ■ Exclusión mutua:



# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

- Condición de sincronización:
  - Situaciones en las que un recurso compartido por varios procesos se encuentra en un estado en el que un proceso no puede hacer una determinada acción con él hasta que no cambie su estado: Ejemplo lector, gestor, impresor
- La PC debe permitirnos bloquear procesos a la espera de un evento y desbloquearlos cuando el evento haya ocurrido

# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

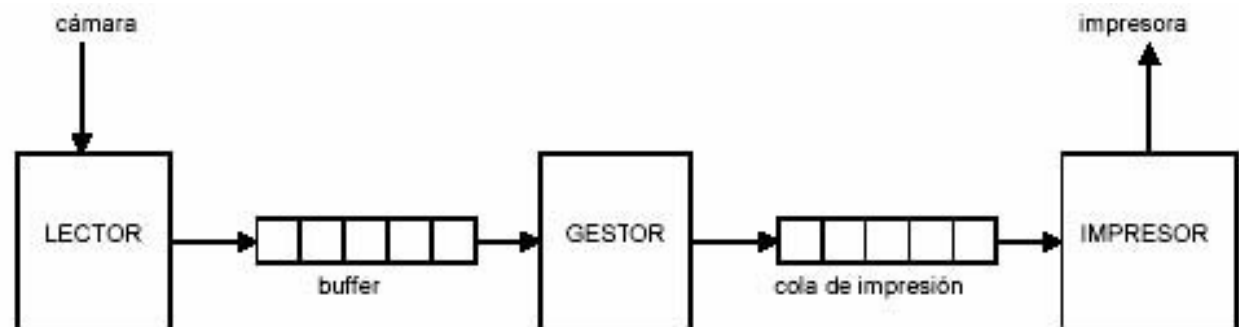
- Condición de sincronización:
  - Supongamos el siguiente sistema:
    - *Lector*: va almacenando en el buffer las imágenes capturadas por una cámara
    - *Gestor*, recoge las imágenes del buffer, las trata y las deja en la cola de impresión
    - *Impresor*: va imprimiendo las imágenes de la cola de impresión

# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

## ■ Condición de sincronización:



# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

- Supongamos que las tres funciones se ejecutan de manera concurrente:

```
def lector():  
    while True:  
        captura imagen  
        almacena en buffer
```

```
def gestor():  
    while True:  
        coge imagen del buffer  
        trata imagen  
        almacena imagen en cola de impresion
```

```
def impresor():  
    while True:  
        coge imagen de cola de impresion  
        imprime imagen
```



# Problemas inherentes a la programación concurrente

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- **Problemas inherentes a la PC**
- Corrección de programas concurrentes

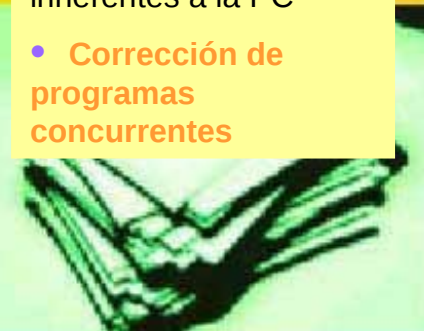
- Esta solución está incompleta:
  - ¿Qué ocurre cuando el proceso lector o el proceso gestor tratan de poner una imagen y el buffer o la cola están llenos?
  - ¿Qué ocurre cuando el proceso gestor o el proceso impresor tratan de coger una imagen y el buffer o la cola están vacíos?
- Necesario establecer condiciones de sincronización




# Corrección de programas concurrentes



## Índice Tema 1

- Concepto de PC
  - Beneficios de PC
  - Especificación de ejecución concurrente
  - Problemas inherentes a la PC
  - **Corrección de programas concurrentes**
- 

- Además de las especificaciones funcionales, un programa concurrente debe cumplir...
  - Propiedades de seguridad:
    - Son aquéllas que aseguran que nada malo va a pasar durante la ejecución del programa
  - Propiedades de viveza:
    - Son aquellas que aseguran que algo bueno pasará eventualmente durante la ejecución del programa
- 

# Corrección de programas concurrentes

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- **Corrección de programas concurrentes**

- **Propiedades de seguridad:**
  - Exclusión mutua
  - Condición de sincronización
  - Interbloqueo: se produce cuando todos los procesos están esperando que ocurra un evento que nunca se producirá. Se le denomina también interbloqueo pasivo. (Deadlock o abrazo mortal)

# Corrección de programas concurrentes

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- **Corrección de programas concurrentes**

- **Propiedades de vivacidad:**
  - **Interbloqueo activo:** Se produce cuando un sistema ejecuta una serie de instrucciones sin hacer ningún progreso (livelock)
  - **Inanición:** Existen un grupo de procesos que nunca progresan pues no se les otorga tiempo de procesador para avanzar

# Corrección de programas concurrentes

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- **Corrección de programas concurrentes**

- Ejemplo: supongamos que una variable se actualiza con dos funciones que se ejecutan concurrentemente, ¿qué valor tendría  $x$  al acabar el programa?

$x = 0$

```
def incrementa_5_A():
```

```
    i = 0
```

```
    while i < 5:
```

```
        i = i + 1
```

```
        x = x + 1
```

```
def incrementa_5_B():
```

```
    i = 0
```

```
    while i < 5:
```

```
        i = i + 1
```

```
        x = x + 1
```



# Corrección de programas concurrentes

## Índice Tema 1

- Concepto de PC
- Beneficios de PC
- Especificación de ejecución concurrente
- Problemas inherentes a la PC
- **Corrección de programas concurrentes**

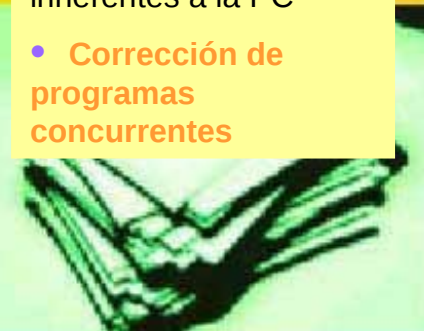
- **Ejercicio:** plantea una traza que haría que  $x$  valiese 5 al final de la ejecución. ¿Qué rango de valores crees que podría acabar teniendo  $x$  ?
- ¿De qué problemas de los nombrados en esta sesión adolece el programa?



# Cuestiones breves



## Índice Tema 1

- Concepto de PC
  - Beneficios de PC
  - Especificación de ejecución concurrente
  - Problemas inherentes a la PC
  - **Corrección de programas concurrentes**
- 

1. ¿Cuál es la ventaja de la concurrencia en los sistemas monoprocesador?
2. ¿Cuáles son las diferencias entre programación concurrente, paralela y distribuida?
3. ¿Cuáles son los dos problemas principales inherentes a la programación concurrente?
4. ¿Qué es una sección crítica?
5. ¿Cuáles son las características de un programa concurrente?
6. ¿Qué se entiende por un programa concurrente correcto?