# Tema 4

Sincronización y Comunicación de Procesos

- Procesos independientes
- Procesos cooperantes
  - Cooperación directa: conocen a los otros procesos y colaboran
  - Cooperación indirecta: desconocen a los otros procesos, pero saben que acceden a recursos compartidos

## Interacción entre hebras

| percepción | relación | influencia | problemas |
|---|---|---|---|
| se desconocen | competencia | resultados independientes, temporización afectable | interbloqueo, inanición |
| percepción indirecta (recursos compartidos) | cooperación por compartición | resultados dependientes, temporización afectable | exclusión mutua, interbloqueo, inanición, coherencia de datos |
| percepción directa (comunicación) | cooperación por comunicación | resultados dependientes, temporización afectable | interbloqueo, inanición |

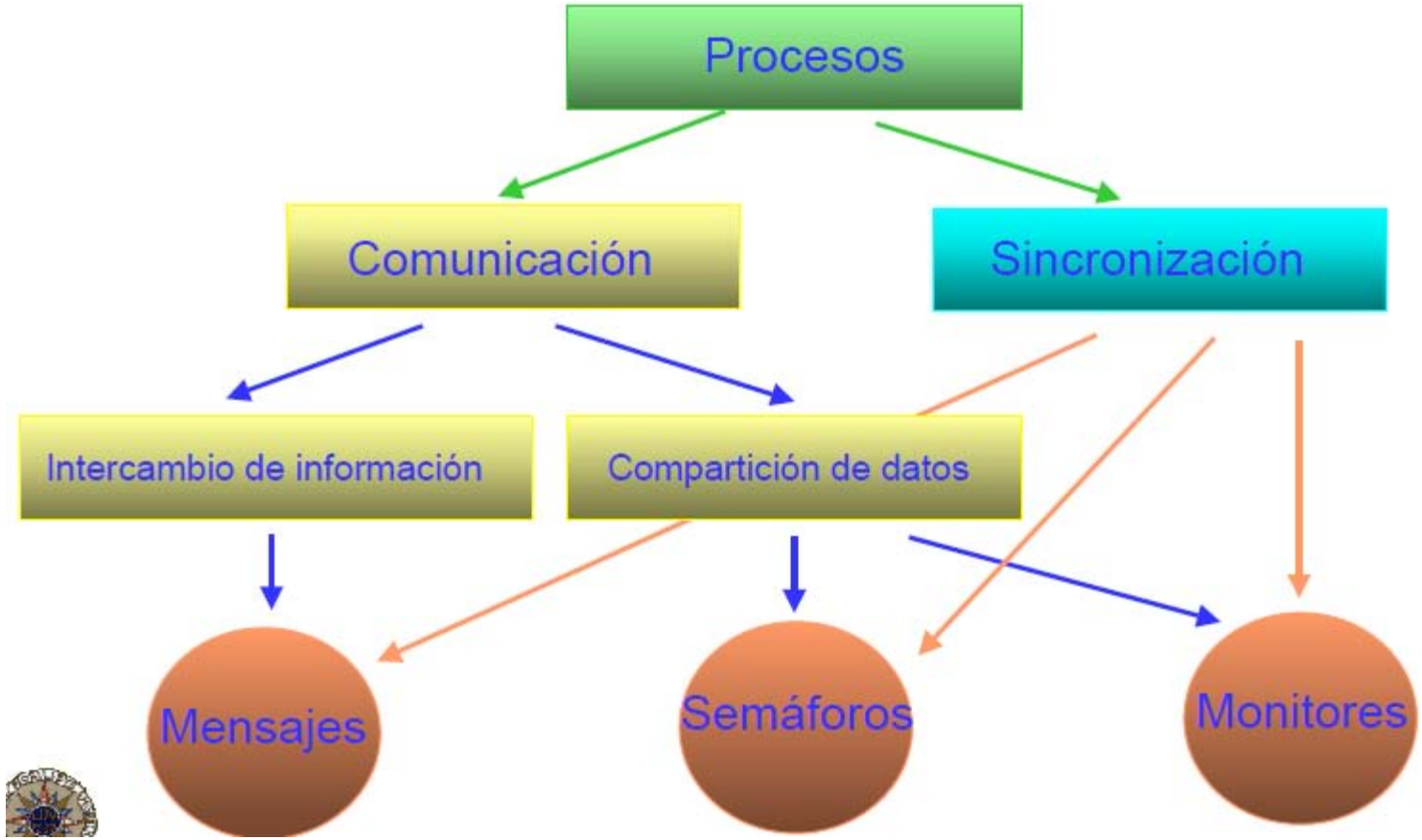
# Condiciones de carrera

El problema ocurre porque dos hebras acceden a un **recurso compartido** sin **sincronizar** su uso.

- Las condiciones de carrera producen resultados **impredecibles**.
- Dependen de cuándo se ejecutan las hebras, durante cuánto tiempo y de cuándo se produce el cambio entre ellas, y por supuesto, de lo que estén haciendo.

El acceso concurrente a recursos compartidos debe ser controlado.

- Es la única forma de que podamos comprender el comportamiento de los programas.
- Necesitamos reintroducir el **determinismo** y la **predecibilidad**.

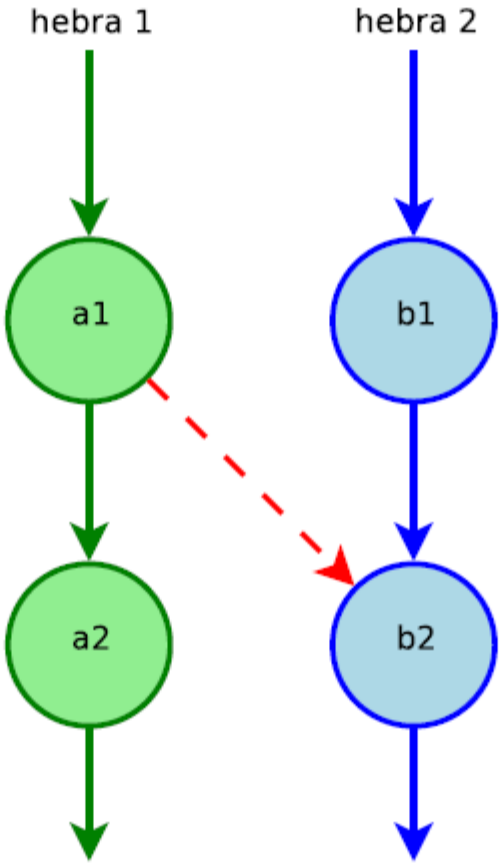

Procesos
Comunicación
Sincronización
Intercambio de información
Compartición de datos
Mensajes
Semáforos
Monitores

# ¿Por qué sincronizar?

Las hebras **cooperan** porque...

- Necesitan **coordinar** su ejecución.
  - El botón de detener del navegador cancela la descarga de una página web.
  - La hebra del interfaz del navegador necesita avisar a la hebra encargada de descargar la página web.
- Necesitan acceder a **recursos compartidos**.
  - Varias hebras de un servidor web pueden acceder a una caché común en memoria para ahorrar espacio y tiempo.

# Coordinación




b2 tiene que esperar hasta que a1 haya completado su ejecución.

# Recursos compartidos

- Problema básico:
  - 2 hebras acceden a una variable compartida.
  - Si la variable compartida es **leida y escrita** por ambas hebras tendremos que coordinar el acceso.
- En los próximos 2 temas estudiaremos...
  - Mecanismos para controlar el acceso a recursos compartidos:
    - Bajo nivel: cerrojos.
    - Alto nivel: semáforos, monitores, variables condición.
  - Protocolos para coordinar el acceso a recursos compartidos.
- La gestión de la concurrencia es complicada y propensa a errores.
  - En Informática se dedica una asignatura completa a su estudio.
  - Incluso las soluciones de algunos libros de texto son erróneas.

# Ejemplo: cuenta bancaria (1)

**procedimiento para retirar fondos de una cuenta bancaria**

```
int retirar(CCC_t cuenta, int cantidad)
{
    int saldo = conseguir_saldo(cuenta);
    saldo = saldo - cantidad;
    almacenar_saldo(cuenta, saldo);
    return saldo;
}
```

**procedimiento para ingresar fondos en una cuenta bancaria**

```
int ingresar(CCC_t cuenta, int cantidad)
{
    int saldo = conseguir_saldo(cuenta);
    saldo = saldo + cantidad;
    almacenar_saldo(cuenta, saldo);
    return saldo;
}
```

# Ejemplo: cuenta bancaria (2)

- Supongamos un saldo inicial de 1.000€.
- Estudiaremos el caso en que dos personas intentan retirar 100€ a la vez de la misma cuenta desde dos cajeros automáticos.
- Imaginemos que cada procedimiento se ejecuta como una hebra diferente.
- La ejecución de las 2 hebras podría entrelazarse debido a la planificación del sistema operativo.
- ¿Existe algún problema?
- ¿Cuál será el saldo de la cuenta tras retirar fondos?

# Ejemplo: cuenta bancaria (3)

| hebra 1 | hebra 2 |
| --- | --- |
| saldo = conseguir_saldo(cuenta); | |
| saldo = saldo - cantidad; | |
| almacenar_saldo(cuenta, saldo); | |
| return saldo; | |
| | saldo = conseguir_saldo(cuenta); |
| | saldo = saldo - cantidad; |
| | almacenar_saldo(cuenta, saldo); |
| | return saldo; |

**saldo final: 800€**

# Ejemplo: cuenta bancaria (4)

| hebra 1 | hebra 2 |
|---|---|
| saldo = conseguir_saldo(cuenta);<br>saldo = saldo - cantidad; | |
| almacenar_saldo(cuenta, saldo);<br>return saldo; | saldo = conseguir_saldo(cuenta);<br>saldo = saldo - cantidad;<br>almacenar_saldo(cuenta, saldo);<br>return saldo; |

**saldo final: 900€**

# Ejemplo: datos compartidos (1)

```
int a = 0, b = 0; // variables compartidas
```

```
void *suma(void*)
{
  while(true)
  {
    a = a + 1;
    b = b + 1;
  }
  return NULL;
}
```

```
void *resta(void*)
{
  while(true)
  {
    a = a - 1;
    b = b - 1;
  }
  return NULL;
}
```

- Tras un tiempo... ¿seguirán a y b siendo iguales?

# Ejemplo: datos compartidos (2)

```
int a = 0, b = 0; // variables compartidas
```

```
void *suma(void*)
{
  while(true)
  {
    a = a + 1;
    b = b + 1;
  }
  return NULL;
}
```

```
void *resta(void*)
{
  while(true)
  {
    a = a - 1;
    b = b - 1;
  }
  return NULL;
}
```

- El código que accede a variables compartidas son **secciones críticas** $\rightarrow$ tras cierto tiempo $a \neq b$
- Compartir datos y recursos induce problemas similares.
- Problemas: ¿`CFLAGS = -O3`? ¿`volatile`?

# Ejemplo: recursos compartidos

- ¿Qué pasará al ejecutar dos copias de esta hebra?

```
void* saludo(void*)
{
  while(true)
   cout << ``hola, soy `` << pthread_self() << endl;
  return NULL;
}
```

- esto...

```
hola, soy 918374512
hola, soy 649128354
```

- o esto...

```
hola, soy hola, soy 918374512

649128354
```

- Condición de carrera: ambas hebras acceden al terminal que es un recurso compartido.

# Concurrencia (1)

- Niveles:
  - **Multiprogramación**: gestión de multiples procesos.
  - **Multiprocesamiento**: gestión de múltiples hebras dentro de un proceso.
  - **Procesamiento distribuido**: gestión de múltiples procesos sobre múltiples máquinas (sin memoria compartida).
- Contexto:
  - Entre aplicaciones: originalmente ideada con este fin.
  - Dentro de una aplicación: conveniente en ciertos tipos de aplicaciones.
  - Sistema operativo: las mismas ventajas que aporta a las aplicaciones son deseables aquí.
- Tipos:
  - **Monoprocesador**: los procesos se **entrelazan** en el tiempo para ofrecer la apariencia de ejecución simultánea.
  - **Multiprocesador**: la ejecución de múltiples procesos se **solapa** en el tiempo.

# Concurrencia (2)

- No puede predecirse la velocidad relativa de ejecución:
  - Eventos.
  - Políticas del sistema operativo.
- Problemas:
  - La **compartición** de recursos está plagada de peligros.
  - La **gestión** óptima de los recursos es complicada.
  - La localización de **errores** de programación es muy complicada debido a su naturaleza no determinista y no reproducible.
- Todos los sistemas comparten este tipo de problemas aunque algunos pueden verse agravados en máquinas con más de un procesador.

# Sección crítica (1)

- Cuando una hebra/proceso accede a un recurso compartido diremos que está ejecutando una **sección crítica**.
- Una hebra puede tener **más de una** sección crítica.
- Las secciones críticas puede **anidarse**.
- La ejecución de una sección crítica debe ser **mutuamente excluyente**:
  - En cualquier instante de tiempo **sólo a una** hebra se le permite ejecutar su sección crítica.
  - Toda hebra debe **pedir permiso para entrar** en una sección crítica.
  - Al abandonar la sección crítica la hebra debe **asegurarse** de que otra hebra que lo necesite pueda entrar $\longrightarrow$ **avisar** de que ha **salido**.
  - Es necesario que toda hebra cumpla con este **protocolo**.

# Uso de secciones críticas (1)

¿Cómo resolver el problema de las secciones críticas?

- Establecer un **protocolo** de **serialización** o **exclusión mutua**.
- El resultado de las hebras involucradas no dependerán del entrelazado no determinista de sus instrucciones.

Protocolo:

- El código que desee entrar en una sección_crítica debe solicitarlo mediante `entrar_sección_crítica`.
- Una vez ejecutada la sección crítica esta debe finalizarse con `salir_sección_crítica`.
- Al resto del código fuera de la sección crítica lo denominaremos `sección_no_crítica`.

# Uso de secciones críticas (2)

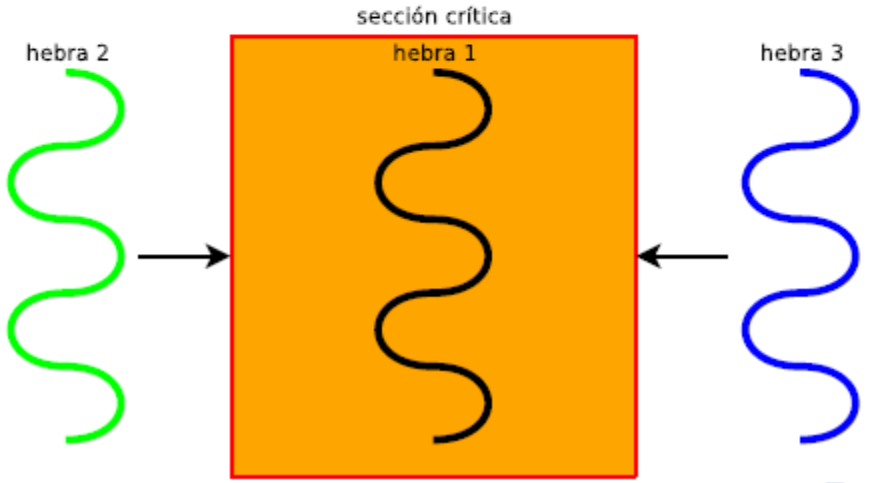
```
// patrón de comportamiento
// habitual de una hebra que
// ejecuta una sección crítica

while(true)
{
    entrar_sección_crítica
    sección_crítica
    salir_sección_crítica
    sección_no_crítica
}
```

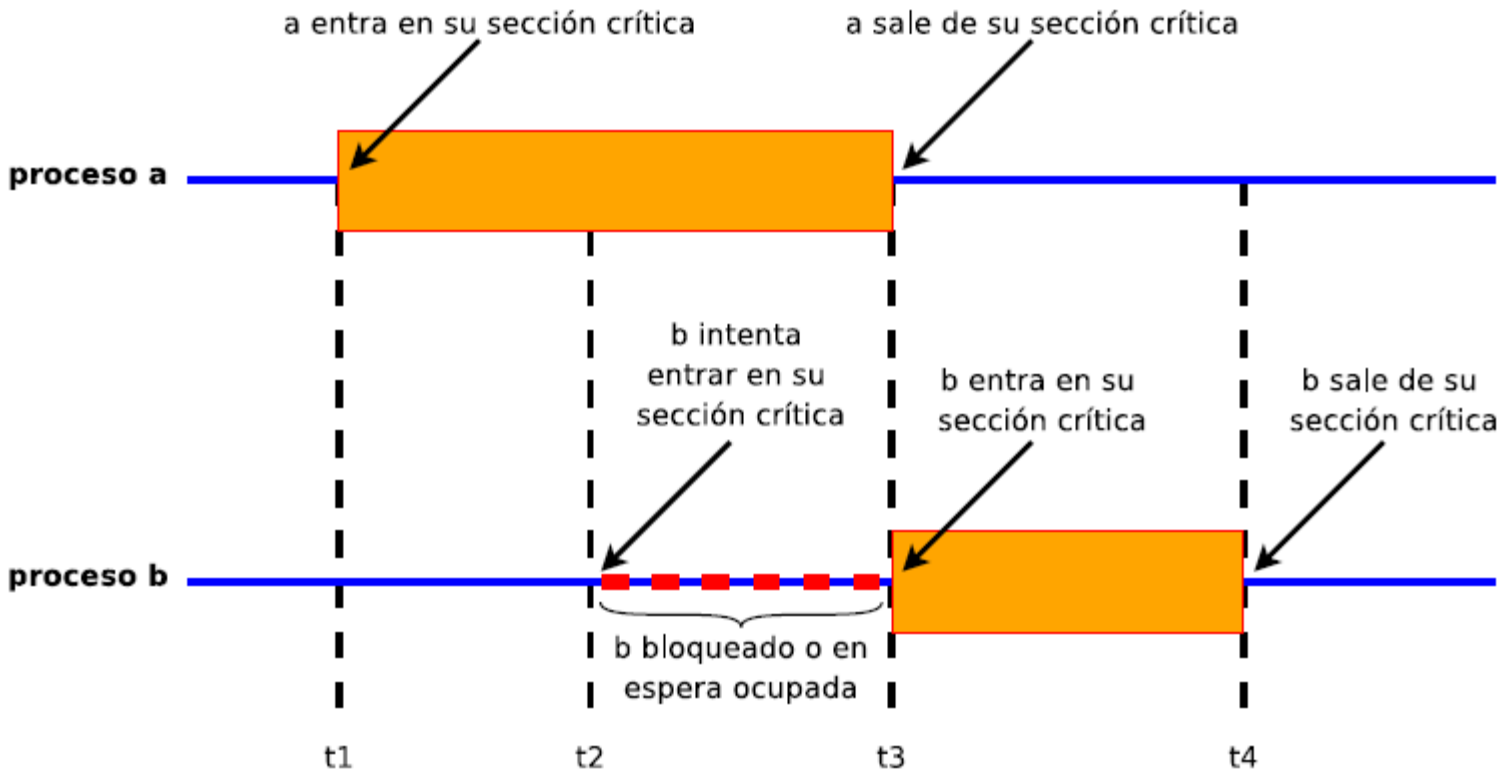
- Cada hebra se ejecuta a una **velocidad no cero** pero no podemos hacer ninguna suposición acerca de su velocidad relativa de ejecución.
- Aunque dispongamos de más de un procesador la gestión de **memoria** previene el acceso simultáneo a la misma localización.

# Exclusión mutua

- Debemos utilizar **exclusión mutua** para sincronizar el acceso a los recursos compartidos, por ejemplo, **serializando** el acceso.
- Cualquier código que utilice exclusión mutua para sincronizar su ejecución es denominado **sección crítica**.
  - Sólo una hebra puede ejecutar su sección crítica.
  - El resto de hebras son forzadas a esperar a la entrada.
  - Cuando una hebra abandona su sección crítica otra puede entrar.



# Protocolo de exclusión mutua




Ejecución de **secciones críticas** mediante **exclusión mutua**.

# Conceptos importantes

- **Condición de carrera**: situación en la que el resultado de una operación depende del orden de ejecución de varias hebras.
- **Sección crítica**: sección de código que no pueden ejecutar varias hebras de forma concurrente.
- **Exclusión mutua**: requisito de acceso exclusivo a recursos durante la ejecución de una sección crítica.
- **Interbloqueo** ( *"deadlock"*): situación en la que varias hebras son incapaces de avanzar porque todas ellas están esperando que alguna de las otras haga algo.
- **Inanición**: situación en la que una hebra preparada es mantenida en dicho estado indefinidamente.
- **Circulo vicioso** ( *"livelock"*): situación en la que varias hebras cambian su estado pero sin llegar a realizar trabajo útil.

# El problema de la exclusión mutua

**1965**

- Dijkstra define el problema.
- Primera solución por Dekker.
- Solución general por Dijkstra.

**196x**

- Soluciones por Fischer, Knuth, Lynch, Rabin, Rivest...

**1974**

- Algoritmo de la panadería de Lamport.

**1981**

- Algoritmo de Peterson.

**2008**

- Cientos de soluciones publicadas.
- Muchos problemas relacionados.

# Soluciones para lograr exclusión mutua

Soluciones a nivel de **usuario**:

- Algoritmos no basados en el uso de instrucciones especiales del procesador ni de características del núcleo $\longrightarrow$ espera ocupada.

Soluciones **hardware**:

- Instrucciones especiales del procesador.

Soluciones a nivel del **núcleo**:

- Bajo nivel: cerrojos y semáforos binarios.
- Alto nivel: semáforos y monitores.


La solución adecuada dependerá del modelo de procesamiento.

# Requisitos necesarios de una sección crítica (1)

1. Exclusividad:
   - Como máximo una hebra puede entrar en su sección crítica.
2. Progreso:
   - Ninguna hebra fuera de su sección crítica puede impedir que otra entre en la suya.
3. Espera acotada (no inanición):
   - El tiempo de espera ante una sección crítica debe ser limitado.
4. Portabilidad:
   - El funcionamiento correcto no puede basarse en...
     - la velocidad de ejecución.
     - el número o tipo de los procesadores.
     - la política de planificación del SO.
   - No todos los autores dan importancia a este requisito.

# Requisitos necesarios de una sección crítica (2)

1. Exclusividad:
   - Si no se cumple la solución es **incorrecta**.
2. Progreso:
   - Los protocolos más sencillos a veces violan este requisito.
3. Espera acotada (no inanición):
   - La espera ocupada y las políticas de prioridad estáticas son típicos candidatos para violar este requisito.
4. Portabilidad:
   - Algunas soluciones dependen de...
     - el número o tipo de los procesadores.
     - la política de planificación del SO.

# Propiedades **deseables** de las secciones críticas

- Eficiencia:
  - La sobrecarga de entrar y salir de la sección crítica debería ser pequeña en comparación con el trabajo útil realizado en su interior.
  - En general suele ser buena idea evitar la espera ocupada.
- Justicia:
  - Si varias hebras esperan para entrar en su sección crítica deberíamos permitir que todas entrasen con parecida frecuencia.
- Escalabilidad:
  - Debe funcionar igual de bien para cualquier número de hebras.
- Simplicidad:
  - Deben ser fáciles de usar $\longrightarrow$ el esfuerzo de programación debe ser lo más pequeño posible.

# Soluciones a nivel usuario

- La sincronización se consigue a través de **variables globales**.
- Estas soluciones funcionan mediante **espera ocupada**:

```
while(condición != cierto); // sólo salta
```

- Simplificación:
  - Empezaremos resolviendo el problema para 2 procesos ó 2 hebras: $H_0$ y $H_1$.
  - Cuando hablemos de más de dos hebras $H_i$ y $H_j$ denotarán a dos hebras diferentes ($i \neq j$).
- Exclusión mutua para 2 hebras:
  - Algoritmos de Dekker.
  - Algoritmo de Petterson.
- Exclusión mutua para más de 2 hebras:
  - Algoritmo de la panadería (Lamport).

# Algoritmo 1: exclusión mutua mediante espera ocupada

**variables compartidas**

```
int turno = 0;
```

**Hebra 0**

```
while(true)
{
    while (turno != 0);
    sección_crítica();
    turno = 1;
    sección_no_crítica();
}
```

**Hebra 1**

```
while(true)
{
    while (turno != 1);
    sección_crítica();
    turno = 0;
    sección_no_crítica();
}
```

- Primera solución propuesta para el problema de la exclusión mutua en secciones críticas.
- Versión 1 del algoritmo de Dekker... ¡hay 5!.

# Análisis del algoritmo 1: ¿funciona? (1)

**variables compartidas**

```
turno = 0; // compartida
```

**Hebra i**

```
while (true)
{
   while (turno != i);
   sección_crítica();
   turno = j;
   sección_no_crítica();
}
```

- Debemos inicializar la variable `turno`.
- La hebra $H_i$ ejecuta su sección crítica si y sólo si `turno == i`.
- $H_i$ se mantiene en **espera ocupada** mientras $H_j$ está en su sección crítica $\longrightarrow$ **exclusividad satisfecha**.
- El requisito de **progreso no es satisfecho** porque estamos suponiendo la alternancia estricta de las 2 hebras.

progreso no satisfecho $\longrightarrow$ solución no válida

## Análisis del algoritmo 1: ¿es correcto? (2)

- Supongamos $SNC_0$ larga y $SNC_1$ corta.
- Si `turno == 0`, $H_0$ entrará en su $SC_0$, la abandonará haciendo `turno = 1` y comenzará a ejecutar su larga $SNC_0$.
- Ahora $H_1$ entrará en su $SC_1$, la abandona haciendo `turno = 0` y ejecuta su corta $SNC_1$.
- Si de nuevo $H_1$ intenta entrar en su $SC_1$, debe esperar hasta que $H_0$ finalice su larga $SNC_0$ y pase de nuevo por $SC_0$.

# Análisis del algoritmo 1

| **requisito** | **cumple** | **motivo** |
|---|---|---|
| exclusión mutua | si | debido a turno sólo una hebra entra en su sección crítica |
| progreso | no | alternancia estricta, además el tamaño de la sección_no_crítica afecta a la otra hebra |
| espera acotada | si | espera igual al tiempo de ejecución de la otra sección crítica |
| portabilidad | no | 1 procesador + prioridad estática = circulo vicioso |
| eficiencia | no | espera ocupada |
| escalabilidad | no | el problema se acentúa al aumentar el número de hebras |

# Algoritmo de Peterson

**variables compartidas**

```
bool bandera[2] = {false, false};
int turno = 0; // desempate
```

**$hebra_i$**

```
while (true)
{
  bandera[i] = true;
  turno = j;
  while (bandera[j] && turno == j);
  sección_crítica();
  bandera[i] = false;
  sección_no_crítica();
}
```

- La hebra *i* muestra su deseo de entrar en su sección crítica haciendo `bandera[i] = true`.
- Si ambas hebras intentan entrar a la vez en su sección crítica la variable `turno` decide quien va a pasar.
- En comparación con el algoritmo de Dekker es más eficiente, más simple y extensible a más de 2 hebras.

# Algoritmo de Peterson: ¿es correcto?

Exclusión mutua:

- $H_0$ y $H_1$ sólo pueden alcanzar su sección crítica si `bandera[0] == bandera[1] == true` y sólo si `turno == i` para cada hebra $H_i$, lo que es imposible.

Progreso y espera acotada:

- $H_i$ podría evitar que $H_j$ entre en su sección crítica sólo si está atrapado en `while (bandera[j] && turno == j);`.
- Si $H_j$ no está intentando entrar en su sección crítica `bandera[j] == false` y $H_i$ puede entrar en su sección crítica.
- Si $H_j$ ha hecho `bandera[j] == true` y está atrapado en el bucle `while` entonces `turno == i` o `turno = j`.
  - Si `turno == i` $H_i$ podrá entrar en su sección crítica.
  - Si `turno == j` $H_j$ entrará en su sección crítica y hará `bandera[j] = false` a la salida y permitirá a $H_i$ entrar.
- Si a $H_j$ le da tiempo a hacer `bandera[j] = true`, hará `turno = i`.
- Como $H_i$ no cambia el valor de `turno` mientras está esperando en el `while`, $H_i$ podrá entrar en su sección crítica tras como mucho una ejecución de la sección crítica de $H_j$.

# Análisis del algoritmo de Peterson

| **requisito** | **cumple** | **motivo** |
|---|---|---|
| exclusión mutua | si | |
| progreso | si | |
| espera acotada | si | |
| portabilidad | no | |
| eficiencia | no | espera ocupada |
| escalabilidad | si | pero requiere recodificación |

# Hardware

# Primera solución: un simple cerrojo (1)

- Un `cerrojo` es un **objeto en memoria principal** sobre el que podemos realizar dos operaciones:
  - `adquirir()`: antes de entrar en la sección crítica.
    - Puede requerir algún tiempo de espera a la entrada de la sección crítica.
  - `liberar()`: tras abandonar la sección crítica.
    - Permite a otra hebra acceder a la sección crítica.
- Tras cada `adquirir()` debe haber un `liberar()`:
  - Entre `adquirir()` y `liberar()` la hebra **posee** el cerrojo.
  - `adquirir()` sólo retorna cuando el llamador se ha convertido en el dueño del cerrojo... ¿Por qué?
- ¿Qué podría suceder si existieran llamadas a `adquirir()` sin su correspondiente `liberar()` emparejado?
- ¿Qué pasa si el propietario de un cerrojo trata de adquirirlo por segunda vez?

# Usando un cerrojo (1)

**retirar** fondos de una cuenta bancaria

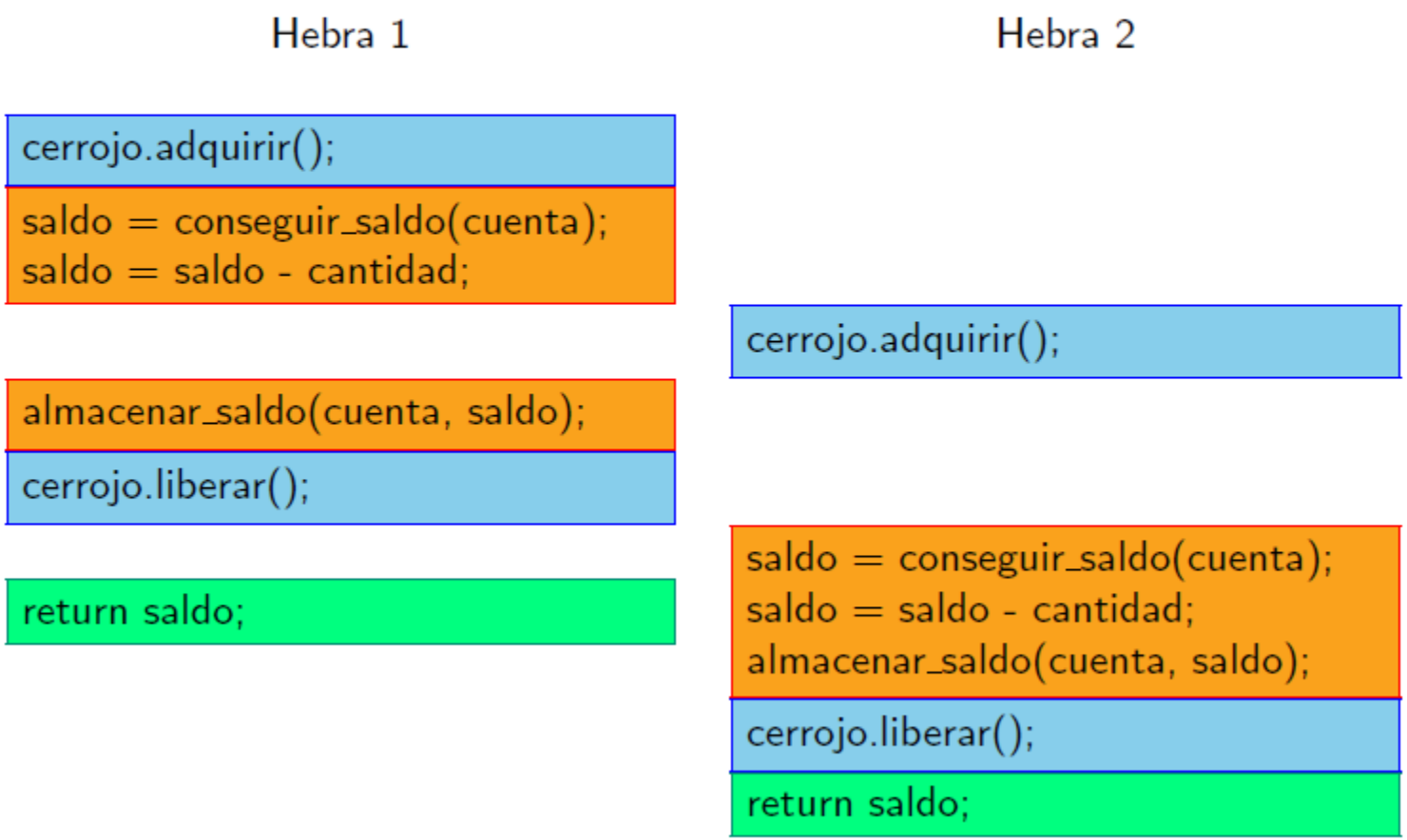
```
while (true)
{
    cerrojo.adquirir();

    saldo = conseguir_saldo(cuenta);
    saldo = saldo - cantidad;
    almacenar_saldo(cuenta, saldo);

    cerrojo.liberar();

    return saldo;
}
```

# Usando un cerrojo (2)



# Implementación de operaciones atómicas

El soporte hardware puede facilitar la tarea:

- **Deshabilitar las interrupciones**: `cli/sti`
  - ¿Por qué funciona?
  - ¿Por qué puede esta acción evitar el cambio de hebra?
  - ¿Funcionaría en cualquier tipo de sistema? → **no**, válido sólo en sistemas con un **único procesador**.

- **Instrucciones atómicas**:
  - Existen instrucciones para las que el **procesador** y el **bus** garantizan su ejecución atómica.

| | | |
|---|---|---|
| `TAS` | Test And Set: | `lock xchg %al,(%edx)` |
| `FAA` | Fetch And Add: | `lock xadd %eax,(%edx)` |
| `CAS` | Compare And Swap: | `lock cmpxchg %ecx,(%edx)` |
| `LL/SC` | Load Linked/Store Conditional: | `ldrex/strex` |

# Bloqueo mediante interrupciones

Mecanismo primitivo y sólo válido en sistemas monoprocesador.

- No cumple con el requisito de la portabilidad.
- Deshabilitar las interrupciones en un procesador no evita que en otro se ejecute la sección crítica.
- Sólo en el caso de secciones críticas **extremadamente cortas** dentro del **núcleo** y en sistemas **monoprocesador** será una solución válida.
- Si no podemos atender la interrupción del reloj no podremos cambiar de hebra tal y como hacen la mayoría de los sistemas de tiempo compartido.

Protocolo:

- Antes de que una hebra entre en su sección crítica deshabilita las interrupciones (`cli`).
- Al salir de la sección crítica se han de volver a habilitar las interrupciones (`sti`).

# Deshabilitar las interrupciones a nivel de usuario (1)

**monoprocesador**

*hebra$_i$*

```
while(true)
{
  deshabilitar_interrupciones();
  sección_crítica();
  habilitar_interrupciones();
  sección_no_crítica();
}
```

Se preserva la exclusión mutua pero se degrada la eficiencia del sistema: mientras está en la sección crítica no se atenderán interrupciones.

- No habrá tiempo compartido.
- El retraso en la atención de las interrupciones podría afectar al sistema completo. $\Longleftrightarrow$ ¿Por qué?
- Las aplicaciones podrían abusar o contener fallos $\Longrightarrow$ cuelgue del sistema.

# Deshabilitar las interrupciones a nivel de usuario (2)



**Multiprocesador:**

- No es efectivo en absoluto porque...
  - Aunque las deshabilitásemos en todos los procesadores no arregla nada porque...
  - Varios procesadores podría acceder a la vez a un mismo recurso $\longrightarrow$ no garantiza la exclusión mutua.

**En resumen:**

- Los efectos laterales son inaceptables en general.
- La buena noticia es que esta operación es **privilegiada** :)

# Semáforos con contador (Dijkstra)



**Definición:** un semáforo es una variable entera, que aparte de la inicialización, sólo puede ser modificada mediante dos operaciones atómicas y mutuamente excluyentes.

**p() / decrementar() / esperar()**

Operación que decrementa el valor del semáforo.

**v() / incrementar() / señalar()**

Operación que incrementa el valor del semáforo.

# Semáforos con contador

```
class semáforo
{
public:
  semáforo(int _valor = 0):
    valor(_valor),
    bloq(vacia) {}

  void p() // esperar()
  {
    valor = valor - 1;
    if (valor < 0)
    {
      bloq.añadir(esta);
      bloquear(esta);
    }
  }

  void v() // señalar()
  {
    hebra h;
    valor = valor + 1;
    h = bloq.borrar_primero();
    desbloquear(h);
  }

private:
  int valor;
  cola<hebra> bloq;
};
```

# *Versión general de semáforos*

- Sirve para proteger un conjunto de recursos similares
- Se inicializa con el número total de recursos disponibles, N
- “espera” y “señal” se diseñan para impedir el acceso al recurso cuando el semáforo es menor o igual a cero
- Cuando se solicita y obtiene un recurso el semáforo se decrementa
- Cuando se libera un recurso se incrementa
- La ejecución de las operaciones son indivisibles

# Operaciones sobre semáforos generales

## Operación de inicializar

**inicializa (S: SemaforoBinario; v: integer);**

Pone el valor del semáforo S al valor de v (n)
n_suspendidos :=0

## Operación de espera

**espera (S)**

```
if S>0 then S:=S-1
else
   n_suspendidos:= n_suspendidos+1;
   suspender la tarea que hace la
   llamada y ponerla en la cola de
   tareas
```

## Operación de señal

**señal (S)**

```
if n_suspendidos > 0 then
   n_suspendidos:= n_suspendidos -1;
   pasar al estado preparado un
    proceso suspendido
else
   S:=S+1
```

# *SEMÁFOROS*

- Los semáforos binarios fueron introducidos por Dijkstra en 1968
- Un semáforo binario es un indicador (S) de condición que registra si un recurso está disponible o no
- El semáforo binario toma dos valores:
  - S = 0 ⇒ El recurso no está disponible
  - S = 1 ⇒ El recurso está disponible
- Los semáforos se implementan con una cola a la cual se añaden los procesos que están en espera del recurso

# *Operaciones sobre semáforos*

## Operación de inicializar

**inicializa (S: SemaforoBinario; v: integer);**

Pone el valor del semáforo al valor de v (0 o 1)

## Operación de espera

```
espera (S)
   if S=1 then
      S:=0
   else
      suspender la tarea que
      hace la llamada y ponerla en
      la cola de tareas
```

## Operación de señal

```
señal (S)
   if la cola de tarea está vacía then
      S:=1
   else
      reanudar la primera tarea de la
      cola de tareas
```

## *SEMÁFOROS: implementación*

- Estas operaciones son procedimientos que se implementan como acciones indivisibles y por ello el cambio de valor del indicador se efectúa de manera real como una sola operación

- Para ello, en sistemas monoprocesador basta con inhibir las interrupciones durante la ejecución de estas operaciones

- En sistemas multiprocesador, es necesario utilizar instrucciones especiales hardware, o introducir soluciones software como las vistas anteriormente

# *Exclusión mutua con semáforos*

- Se usa “espera” como procedimiento de bloqueo antes de la sección crítica
- Se usa “señal” como procedimiento de desbloqueo

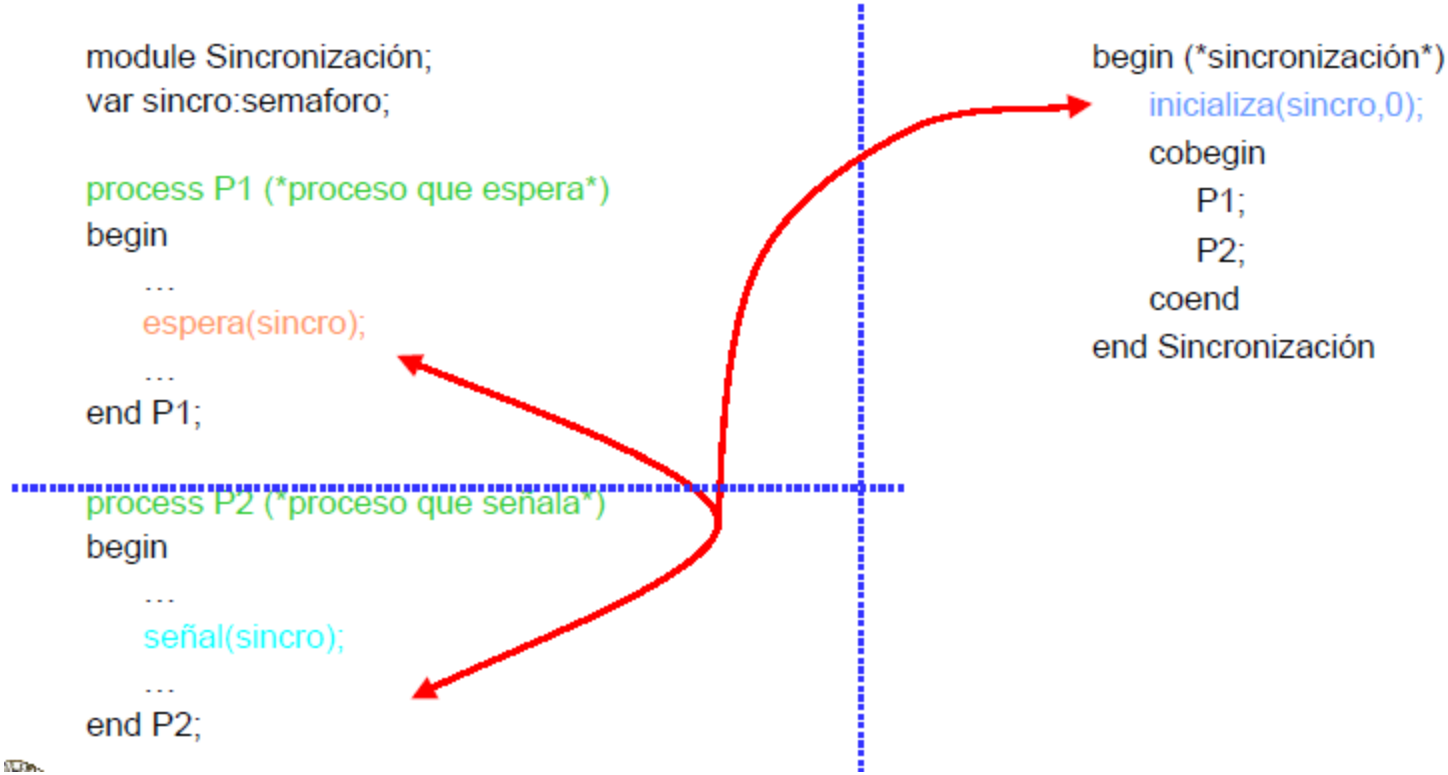
```
process P1
begin
    loop
        espera(S);
        Sección Crítica
        señal(S);
        (*resto del proceso*)
    end
end P1
```

  - Se emplearán tantos semáforos como clases de secciones críticas se establezcan

## *SINCRONIZACIÓN con semáforos (1/2)*

- El uso de semáforos permite la sincronización entre tareas
- Las operaciones de “espera” y “señal” no se utilizan dentro de un mismo proceso sino que se ejecutan en dos procesos separados
- El que ejecuta “espera” queda bloqueado hasta que el otro ejecuta la operación de “señal”

# SINCRONIZACIÓN con semáforos (2/2)



# Problema del productor-consumidor (1/3)

```
module Productor_consumidor;
var BufferComun:buffer;

process Productor;
    var x:dato;
    begin
        loop
            produce(x);
            while Lleno do
              (*espera*)
            end;
            Poner(x);
        end
    end Productor;

process Consumidor;
    var x:dato;
    begin
        loop
            while Vacio do
              (*espera*)
            end;
            Tomar(x);
            Consume(x);
        end
    end Consumidor;

begin
    cobegin
        Productor;
        Consumidor;
    coend
end Productor_consumidor;
```

## *Problema del productor-consumidor (2/3)*

- Esta solución no es satisfactoria:
  - Las funciones Poner(x) y Tomar(x) utilizan el mismo buffer lo que plantea el problema de la exclusión mutua
  - Ambos procesos utilizan una espera ocupada cuando no pueden acceder al buffer

- Soluciones a los dos problemas:
  - Utilización de un semáforo para proteger el acceso al buffer
  - Utilización de un semáforo para sincronizar la actividad de los dos procesos

# Problema del productor-consumidor (3/3)

```
module Productor_consumidor;
var BufferComun:buffer;
AccesoBuffer, Nolleno,
Novacio:semaforo;

begin
    inicializa(AccesoBuffer,1);
    inicializa(Nolleno,1);
    inicializa(Novacio,0);
    cobegin
        Productor;
        Consumidor;
    coend
end Productor_consumidor;
```

```
process Productor;
    var x:dato;
    begin
        loop
            produce(x);
            espera(AccesoBuffer);
            if Lleno then
                señal(AccesoBuffer);
                espera(Nolleno);
            espera(AccesoBuffer);
            end;
        Poner(x);
        señal(AccesoBuffer);
        señal(Novacio);
    end
end Productor;
```

```
process Consumidor;
var x:dato;
begin
    loop
        espera(AccesoBuffer);
        if Vacio then
            señal(AccesoBuffer);
            espera(Novacio);
        espera(AccesoBuffer);
        end Tomar(x);
        señal(AccesoBuffer);
        señal(Nolleno);
        Consume(x);
    end
end Consumidor;
```

# En resumen...

- Los semáforos son una herramienta de coordinación primitiva:
  - para garantizar la **exclusión mutua**.
  - para **sincronizar** hebras.
- Las llamadas a `esperar()` y `señalar()` suelen estar dispersas por varias hebras con lo que es difícil comprender todos sus efectos.
- El uso debe ser correcto en todas estas las hebras.
- Una hebra defectuosa o maliciosa puede estropear el funcionamiento del resto.

Algunos autores recomiendan evitar su uso $\Longrightarrow$ ¿Qué utilizar en su lugar? ¿Existen mejores métodos de sincronización?

# Monitores

- Construcciones de alto nivel de algunos lenguajes de programación.
  - Funcionamiento parecido al de los semáforos binarios.
  - Gestión automática por parte del lenguaje.
- Ofrecido en lenguajes de programación concurrente como Java, Modula-3, Pascal concurrente,...
- Internamente puede ser implementado mediante semáforos u otros mecanismos de sincronización.

# Definición de monitor

- Un módulo software (clase) que contiene:
  - Una interfaz con uno o más **procedimientos**.
  - Una secuencia de **inicialización**.
  - **Variables** de datos locales.
- Características:
  - Las variables locales sólo son accesibles mediante los procedimientos del monitor.
  - Una hebra entra en el monitor mediante la invocación de uno de sus procedimientos.
  - Sólo una hebra puede estar ejecutando algún procedimiento del monitor $\longrightarrow$ los monitores proporcionan **exclusión mutua** de forma automática.

# Características de los monitores

- Los monitores aseguran la **exclusión mutua** $\Longrightarrow$ **no** es necesario programar esta restricción **explícitamente**.
- Los **datos compartidos** son **protegidos automáticamente** si los colocamos dentro de un monitor.
- Los monitores **bloquean** sus datos cuando una hebra entra.
- **Sincronización** adicional puede conseguirse **dentro** de un monitor mediante el uso de **variables condición**.
- Una variable de condición representa una condición (evento) que tiene que cumplirse antes de que una hebra pueda **continuar** la ejecución de alguno de los procedimientos del monitor.

- Los monitores no proporcionan por si mismos un mecanismo para la sincronización de tareas, es necesario añadir variables llamadas de condición
  - A cada causa por la que un proceso deba esperar se asocia una variable de condición
  - Sobre ellas sólo pueden actuar dos procedimientos: espera (siempre suspende al proceso que la emite) y señal

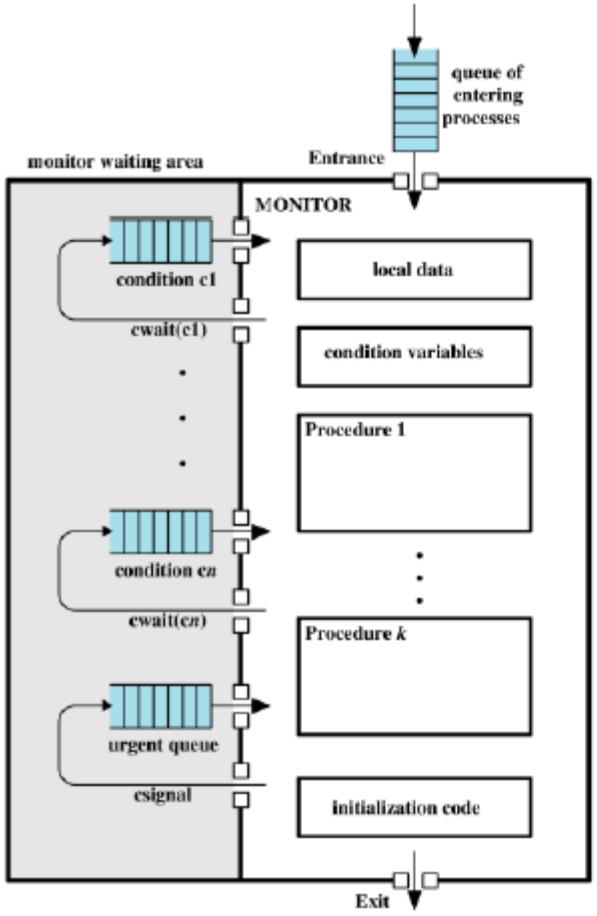
# Variables condición

- Variables locales al monitor y sólo **accesibles** desde su **interior** mediante las operaciones:

`esperar()`: Bloquea la ejecución de la hebra llamadora sobre la variable condición. La hebra bloqueada sólo puede continuar su ejecución si otra ejecuta `señalar()`.

`señalar()`: Reactiva la ejecución de alguna hebra bloqueada en la variable condición. Si hay varias podemos escoger una cualquiera. Si no hay ninguna no hace nada.

# Monitores y variables condición




- Las hebras pueden estar esperando en la cola de entrada o en la de alguna variable de condición.
- Una hebra se pone en la cola de espera al invocar `esperar()` sobre una variable de condición.
- `señalar()` permite a una hebra que estuviese bloqueada en la cola de una condición continuar.
- `señalar()` bloquea a la hebra llamadora y la pone en la cola urgente a menos que sea la última operación del procedimiento (¿?).

# *Sintaxis del monitor*

```
monitor  nombre_monitor;
    declaración de los tipos y procedimientos que se importan y exportan /*export*/
    declaración de las variables locales del monitor
    declaración de las variables de condición /*condición*/

    procedure Prc1 (...);
          begin ... end;
    ...
    procedure Prc2 (...);
          begin ... end;
    ...
    procedure Prcm (...);
          begin ... end;
    begin
          inicialización del monitor
    end
```

# Monitor: implementación de un semáforo

```
monitor:semaforo;

from condiciones import condicion, espera
export
    sespera, sseñal;
var
    ocupado: boolean;
        :condicion


procudere sseñal(var libre:condicion);
    begin
            ocupado:=false;
        señal(libre);
    end sseñal;
```

```
procedure sespera(var libre condicion);
begin
    if ocupado then
        espera(libre);
            ocupado:=true;
    end
end sepsera


begin
    ocupado:=false;
end
```

# Monitor: problema del productor-consumidor

```
monitor: productor-consumidor;

from condiciones import
     condicion,espera,señal;
export poner,tomar;
const tamaño=32;
var
   buff:array[0..tamaño-1] of dato;
   cima,base:0..tamaño-1;
   espacio,itemdisponible:condicion
   numeroenbuffer:integer;

   begin (*inicialización*)
     numeroenbuffer:=0;
     cima:=0;
     base:==0;
   end
```

```
procedure poner(item:dato);
  begin
    if numeroenbuffer=tamaño then
      espera(espacio)
    end;
    buff[cima]:=item;
    numeroenbuffer:=
          numeroenbuffer+1;
    cima:=(cima+1) mod tamaño;
    señal(itemdisponible);
end poner;
```

```
procedure tomar(var item:dato);
  begin
    if numeroenbuffer=0 then
      espera(itemdisponible);
    end;
    item:=buff[base];
    numeroenbuffer:=
          numeroenbuffer-1;
    base:=(base+1) mod tamaño;
    señal(espacio);
end tomar;
```

# Paso de mensajes

# Motivación

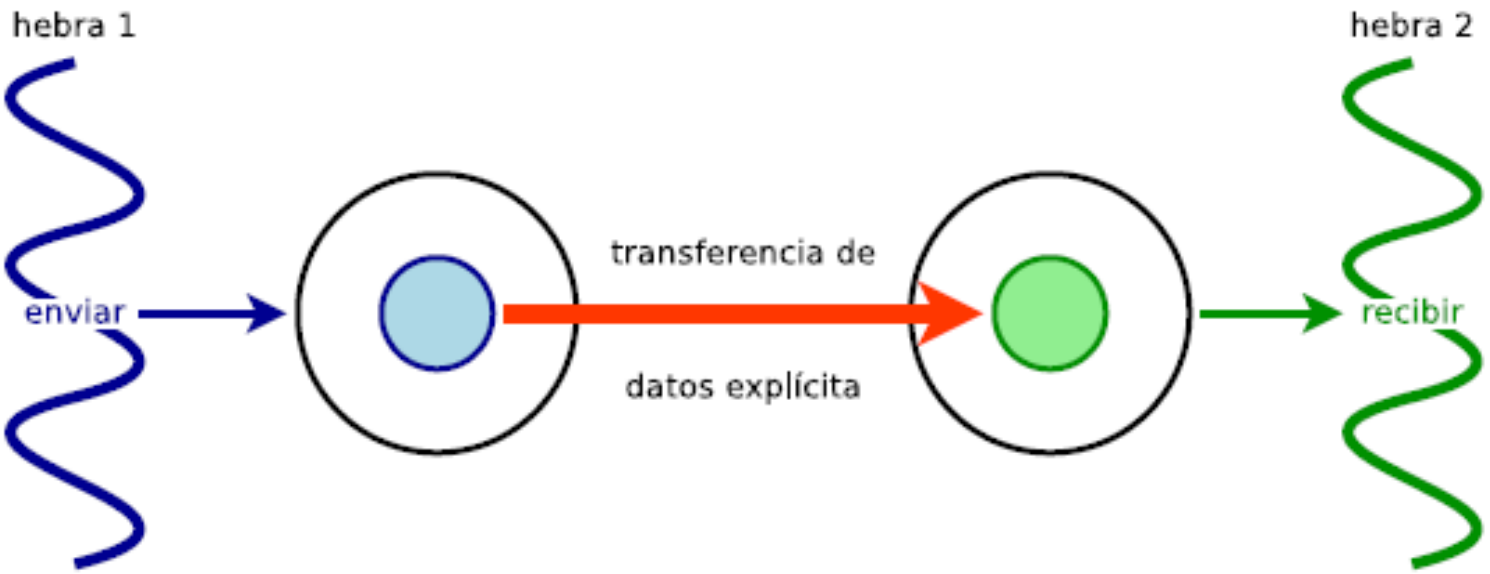
- ¿De verdad necesitamos otro mecanismo de interacción como el **paso de mensajes**?

- **Si**, por supuesto, porque...
  - Los mecanismos ya vistos requieren **memoria compartida** $\Longrightarrow$ estas soluciones no funcionarán en **sistemas distribuidos**.
  - Las hebras de diferentes aplicaciones necesitan **protección** $\Longrightarrow$ incluso en sistemas con memoria compartida no siempre querremos abrir nuestro espacio de direcciones a terceros en los que podríamos **no confiar**.
  - Para conseguir que el **núcleo** del sistema operativo sea **muy pequeño** algunos arquitectos de sistemas sólo ofrecen paso de mensajes como mecanismo de comunicación entre procesos.

# Paso de mensajes

- La comunicación entre procesos ("*Inter-Process Communication*" o IPC) se usa entre hebras dentro de...
  - un sistema distribuido.
  - un mismo ordenador.
  - un mismo espacio de direcciones.
- El motivo es poder realizar...
  - Intercambio de información.
  - Otra forma de sincronización y paso de señales.
- Requiere de al menos dos primitivas:
  - `enviar(receptor, mensaje)`
  - `recibir(emisor, mensaje)`
- ¿Cómo implementarlo?
  - ¿Llamada al sistema?
  - Pista: la hebras en comunicación pueden bloquearse.

# Principios básicos del paso de mensajes




- Las hebras de **un proceso** cooperan mediante **variables globales**, ej: el búfer en el problema productor/consumidor.
- Las hebras de **diferentes procesos** interaccionan mediante **paso de mensajes** si no pueden establecer regiones de **memoria compartida** o si no quieren compartir regiones de memoria.

# Problemas del paso de mensajes

La **inconsistencia** de datos sigue siendo un problema porque...

- Los mensajes pueden llegar **desordenados** $\Longrightarrow$ incluso aunque cada mensaje sea correcto, su concatenación es incorrecta.
- Los mensajes pueden estar **incompletos** porque el receptor no tenga suficiente espacio libre en el búfer de recepción.
- Los mensajes pueden **perderse**.
- Los mensajes pueden estar **desfasados**, ej: transcurrido cierto tiempo un mensaje puede dejar de reflejar el estado del emisor.
- Cada mensaje podría suponer un problema de **seguridad**: goteo de información, desbordamiento, DoS $\Longrightarrow$ por este motivo deberíamos poder controlar si los mensajes deben ser enviados o no.

# *MENSAJES*

- Permiten sincronización y comunicación entre procesos
- La comunicación entre mensajes necesita de un proceso emisor y de uno receptor y la información que debe intercambiarse
- Las operaciones básicas son:
  - **enviar**(mensaje)
  - **recibir**(mensaje)
- La comunicación por mensajes requiere que se establezca un enlace entre el receptor y el emisor

## Conexión: no orientados a conexión

`enviar(dirección_destino, mensaje)` envía `mensaje` a `dirección_destino`.

`recibir(dirección_origen, mensaje)` recibe `mensaje` desde `dirección_origen`.

Interacción típica de sistemas cliente/servidor:

- La dirección destino suele ser un servidor.
- La dirección origen suele ser un cliente.

# *Modos de nombrar los mensajes*

- Comunicación directa: nombran de forma explícita al proceso con el que se comunican
  - enviar(Q, mensaje) ⇒ Envía un mensaje al proceso Q
  - recibir(P, mensaje) ⇒ Recibe un mensaje del proceso P

- Comunicación indirecta los mensajes se envían y reciben a través de un **buzón o puerto**:
  - enviar(buzónA, mensaje) ⇒ Envía un mensaje al buzón A
  - recibir(buzónA, mensaje) ⇒ Recibe un mensaje del buzón A

## Tipos de direccionamiento

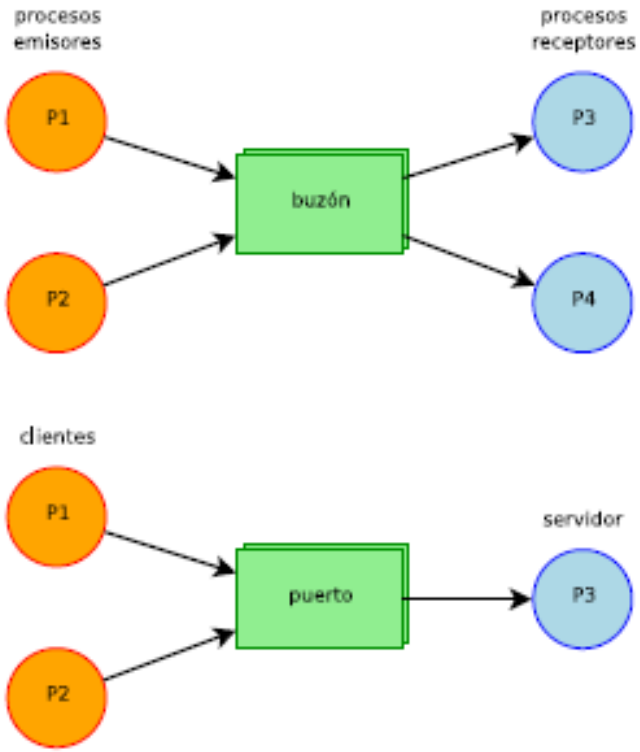
Direccionamiento **directo**:

- `enviar(hebra, mensaje)`
- `recibir(hebra, mensaje)`
- `enviar(filtro(hebra), mensaje)`
- `recibir(filtro(hebra), mensaje)`

Direccionamiento **indirecto**:

- `enviar(buzón, mensaje)`
- `recibir(buzón, mensaje)`
- `enviar(puerto, mensaje)`
- `recibir(puerto, mensaje)`

# Buzones/canales frente a puertos




- Un buzón puede ser privado a un par de emisores/receptores.
- El mismo **buzón** puede ser compartido por **múltiples emisores y receptores**.
- Algunos SO permiten distinguir los mensajes por su tipo (Unix).
- **Un puerto** en cambio es un buzón asociado exactamente a **un receptor** y a cualquier número de emisores.
- Los puertos suele emplearse en aplicaciones cliente/servidor en las que el único receptor es el servidor.

## *Modelos de sincronización (1/2)*

- Síncrona: El proceso que envía sólo prosigue su ejecución cuando el mensaje ha sido recibido
- Asíncrona: El proceso que envía sigue su ejecución sin preocuparse de si el mensaje se recibe o no
- Invocación remota: El proceso que envía el mensaje sólo prosigue su ejecución cuando ha recibido una respuesta del receptor

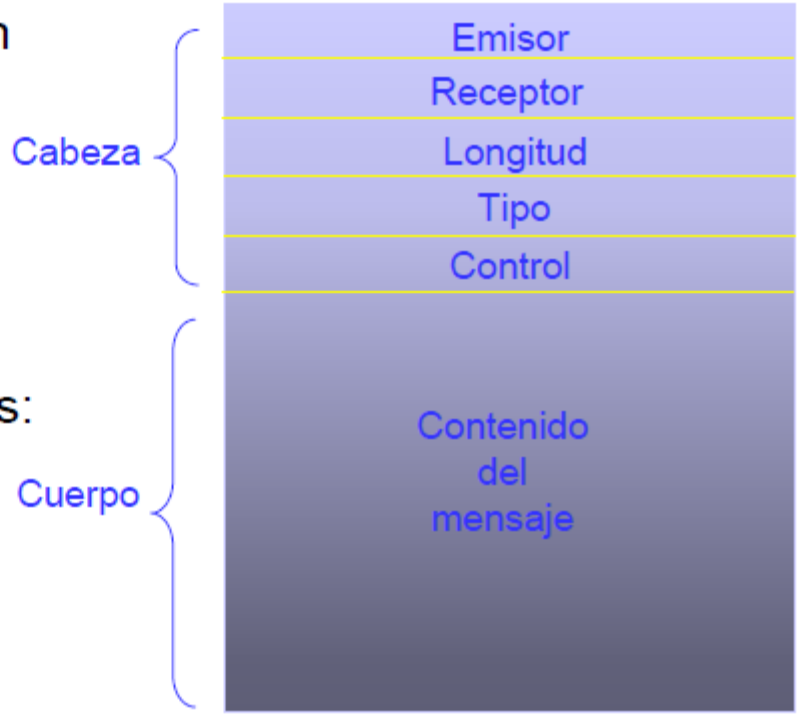
# *Modelos de sincronización (2/2)*

- En la operación de recibir si el mensaje no está presente
  - El proceso se suspende (bloqueo) o
  - El proceso devuelve un mensaje de error (sin bloqueo): Aceptar
  - Se especifica un tiempo máximo de espera, pasado ese tiempo el s.o. desbloquea al proceso suspendido y envía un mensaje de error

# *Estructura de los mensajes*

- El intercambio de información puede ser:
  - Por valor
  - Por referencia

- La estructura de los mensajes:
  - Longitud fija
  - Longitud variable
  - De tipo definido



# Mensaje: implementación de un semáforo

```
module semaforo;

type mensaje=…; (tipo del mensaje*)
const nulo=…; (*mensaje vacío*)

procedure espera(var S:semaforo);
  var temp:mensaje;
  begin
    recibir(Sbuzon,temp);
    S:=0;
  end espera;

procedure señal (var S:integer);
  begin
    enviar(Sbuzon,nulo);
  end señal;
```

```
procedure inicializa (varS:integer; valor:boolean);
  begin
    if valor=1 then
      enviar(Sbuzon,nulo);
    end
    S:=valor;
  end inicializa;

begin
  crear_buzon(Sbuzon);
end {semaforo}
```

# Mensajes: problema del productor-consumidor

```
module: productor-consumidor;

type  mensaje=…; (tipo del mensaje*)
const  nulo=…; (*mensaje vacío*)
     tamañoQ=...;(*tamaño de la cola
     de los buzones*)
var n: integer;
     begin (*inicialización*)
       crear_buzon(buzonP);
       crear_buzon(buzonC);
       for n:=1 to tamañoQ do
           enviar(buzonP, nulo)
       end
       cobegin
          Productor1;
          Consumidor1;
          ...
       coend
     end
```

```
process Productor1;
  var x: mensaje;
  begin
    loop
      recibir(buzonP,x);
      produce_datos_y_mensaje;
      enviar (buzonC,x);
      resto de operacionesP;
    end
  end Productor1;
```

```
process Consumidor1;
  var y: mensaje;
  begin
    loop
      recibir(buzonC,y);
      consume_datos_y_mensaje;
      enviar (buzonP,y);
      resto de operacionesC;
    end
  end Consumidor1;
```