Arquitectura de Sistemas

Sincronización

Gustavo Romero López

Updated: 14 de febrero de 2019

Arquitectura y Tecnología de Computadores

Índice

Lecturas recomendadas

J. Bacon	Operating Systems (9, 10, 11)
A. Silberschatz	Fundamentos de Sistemas Operativos (4, 6, 7)
W. Stallings	Sistemas Operativos (5, 6)
A. Tanuenbaum	Sistemas Operativos Modernos (2)

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.

Conceptos importantes

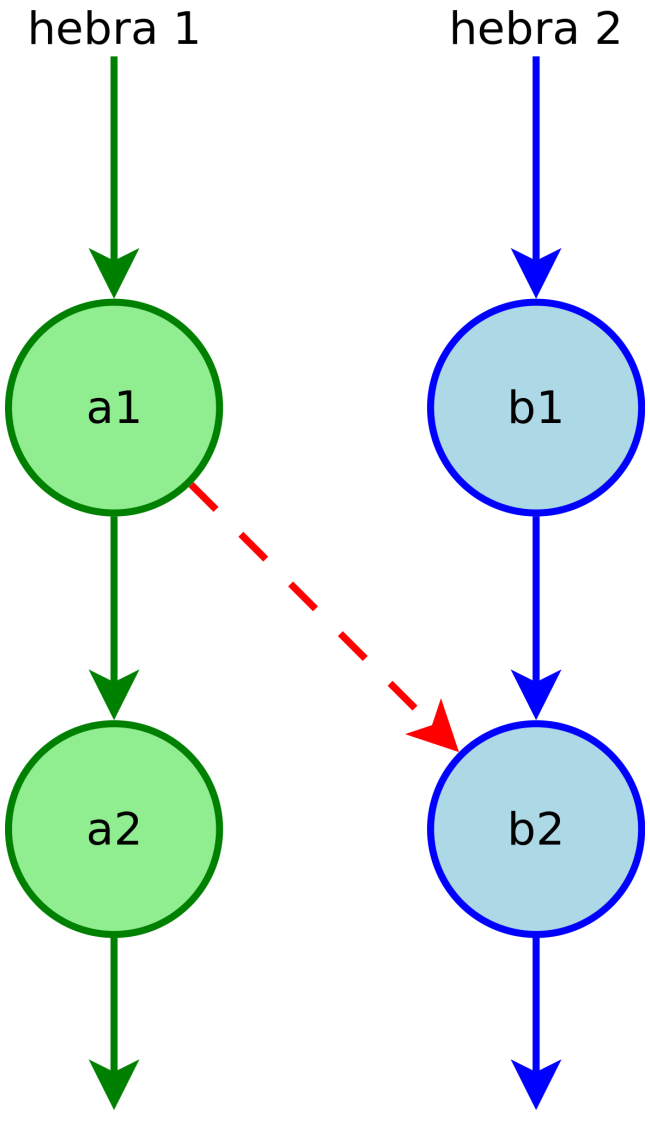
- **Condición de carrera**: el resultado de una operación depende de la velocidad relativa de ejecución entre varias hebras.
- **Sección crítica**: sección de código que no pueden ejecutar varias hebras de forma concurrente.
- **Exclusión mutua**: requisito de acceso exclusivo a recursos durante la ejecución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

¿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.
- ejemplos:
  - Navegador: a_i descarga, b_i renderiza.
  - Servidor web: a_i rellena caché, b_i responde petición.

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); saldo = saldo - cantidad;	

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

almacenar_saldo(cuenta, saldo); return saldo;	

saldo final: 900€

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.

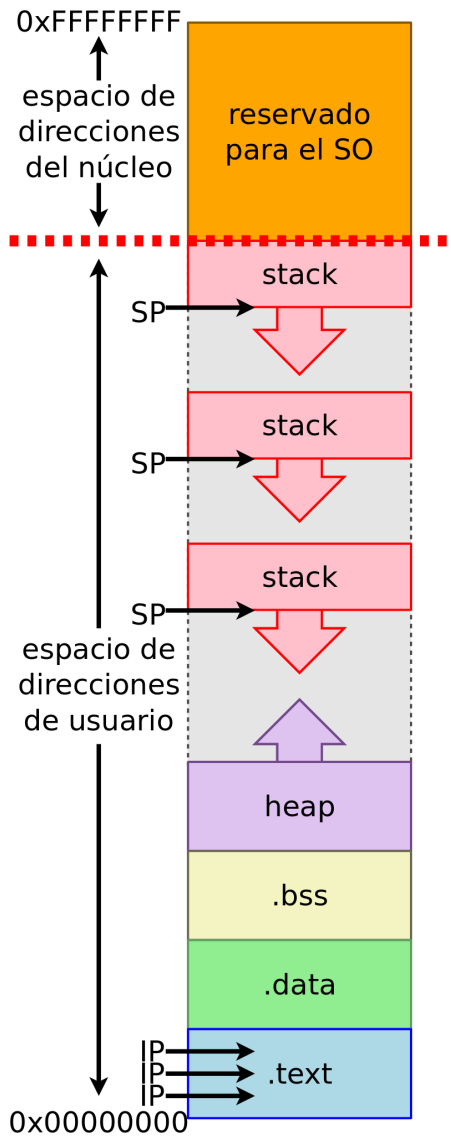
- Es la única forma de que podamos comprender el comportamiento de los programas.
- Necesitamos reintroducir el **determinismo** y la **reproducibilidad**.

Operaciones atómicas

- Para comprender un programa concurrente debemos conocer qué **operaciones** deberían ser **indivisibles**.
- **Operación atómica**: operación que siempre se ejecuta hasta completarse o que por el contrario no inicia su ejecución.
  - Indivisible: no puede ser detenida a mitad y luego continuar.
  - Son la base fundamental sobre la que se crean programas multihebra y sin las que no habría forma de hacer que funcionasen de manera correcta.
- En la mayoría de procesadores las operaciones de lectura y escritura de una palabra de memoria son atómicas.
- Sin embargo existen muchas instrucciones que no son atómicas:
  - El almacenamiento de reales grandes puede no serlo.
  - Las instrucciones de sobre cadenas y vectores.

¿Qué recursos son compartidos?

- Las variables **locales no** son compartidas.
  - Existen en la pila.
  - La pila es privada para cada hebra.
  - No "podemos" pasar un puntero a una variable local a otra hebra ¿Por qué?
- Las variables **globales** son compartidas.
  - Se almacenan en la zona de datos.
  - Son accesibles por todas las hebras.
- Los datos alojados **dinámicamente** son compartidos:
  - Se almacenan en el montículo ("*heap*").
  - Accesibles por todas las hebras.
- ¿Compartir objetos es problemático? ↔ ¿Ubicación? / ¿Tiempo de vida?



Ejemplo: recursos compartidos

- ¿Qué pasará al ejecutar este código en dos hebras?

```
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.

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)

- Problema: **condición de carrera** en el acceso a **variables compartidas**.
- Solución: el acceso a a y b debe ser una **sección crítica** que asegure la **exclusión mutua** entre las hebra en el accediendo a recursos compartidos.
- Mecanismos:
  - Eliminar la multitarea deshabilitando las interrupciones.
  - Mecanismos de barrera.
  - Instrucciones atómicas.

Ejemplo: datos compartidos (3)

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

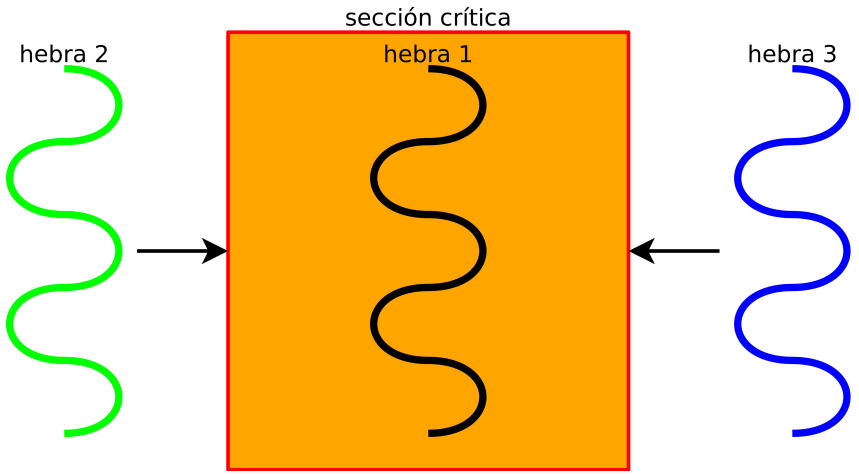
```
void *suma(void*) {
  while(true)
  {
     a = a + 1;
     b = b + 1;
  }
  return NULL;
}
```

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

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

Exclusión mutua

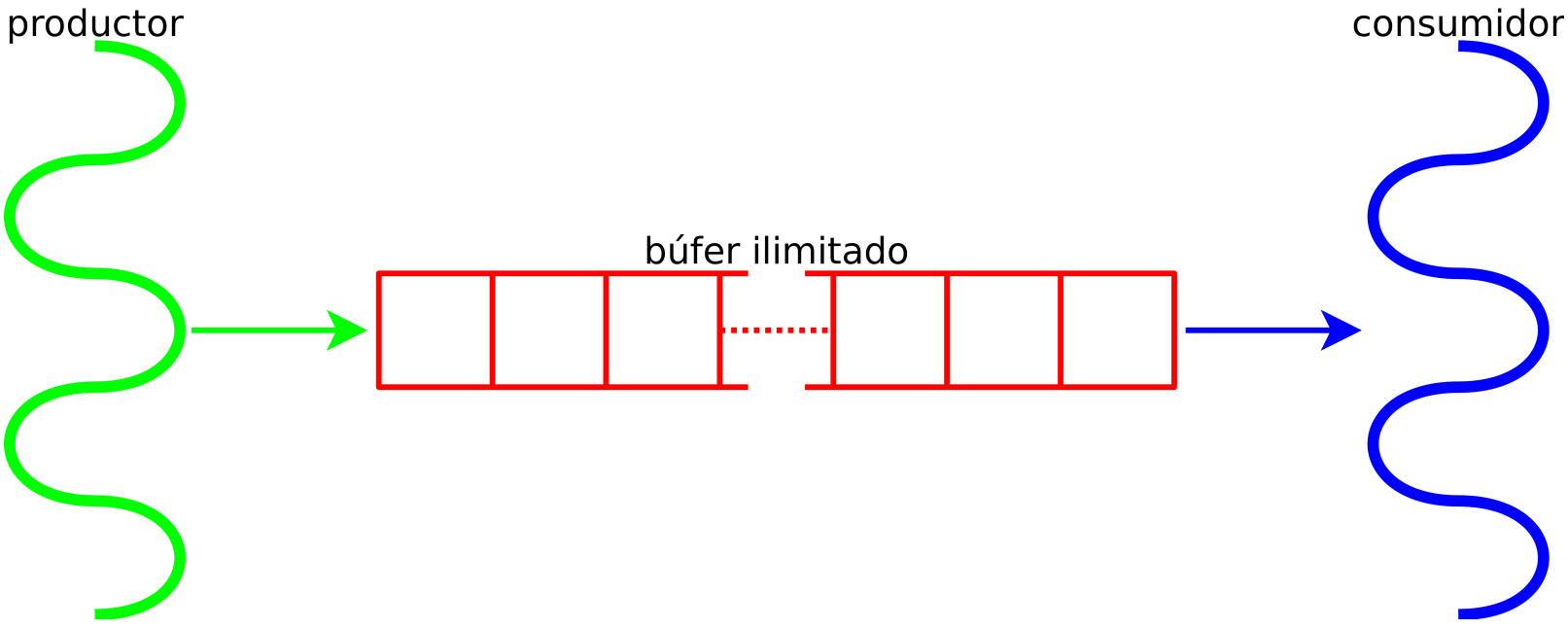
- Debemos utilizar **exclusión mutua** para sincronizar el acceso a los recursos compartidos, por ejemplo, **serializando** el acceso.
- Cualquier código que utilice exclusión mutua para sincronizar su ejecución es denominado **sección crítica**.
  - Sólo una hebra puede ejecutar su sección crítica.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



Interacción entre hebras

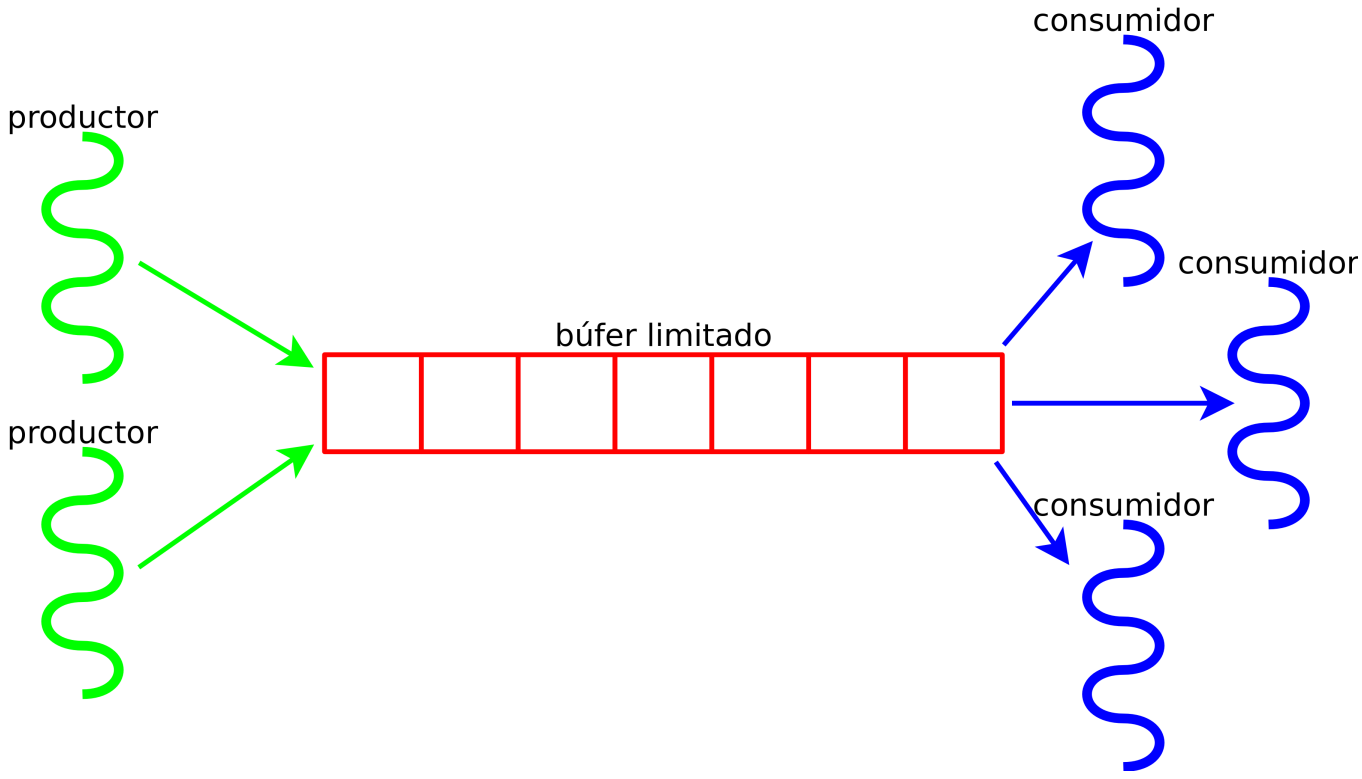
percepción	relación	influencia	problemas
se desconocen	competencia	resultados independientes, temporización afectable	interbloqueo, inanición
percepción indirecta (recursos compartidos)	cooperación por compartición	resultados dependientes, temporización afectable	exclusión mutua, interbloqueo, inanición,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

Productor/consumidor con buffer **ilimitado**



- Dos procesos repiten indefinidamente su trabajo: el productor genera datos que introduce en un búfer. El consumidor recuperar los datos y hace algo con ellos.
- ¿Hay un problema de concurrencia? $\Longrightarrow$ si, el consumidor no puede consumir desde un búfer vacío.

Productor/consumidor con buffer **limitado**

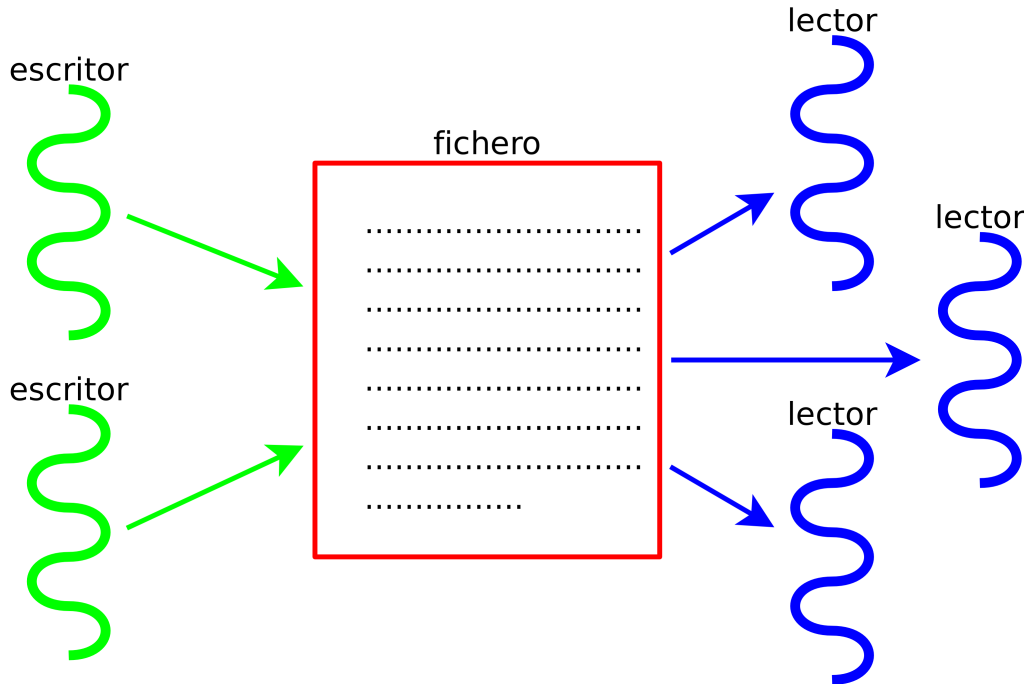


- ¿Aparecen nuevos problemas si el buffer no es infinito? $\Longrightarrow$ si, el productor no puede introducir datos en un buffer lleno.
- Si hay más de un productor y/o consumidor $\Longrightarrow$ Deben competir por el uso del buffer con sus iguales.

El problema del barbero durmiente

- En una barbería trabaja un barbero que tiene un único sillón de trabajo y varias sillas para esperar. Cuando no hay clientes, el barbero se sienta en una silla y se duerme. Cuando llega un nuevo cliente, éste o bien despierta al barbero o, si el barbero está afeitando a otro cliente, se sienta en una silla. Si todas las sillas están ocupadas por clientes esperando se va.

El problema de los lectores/escritores

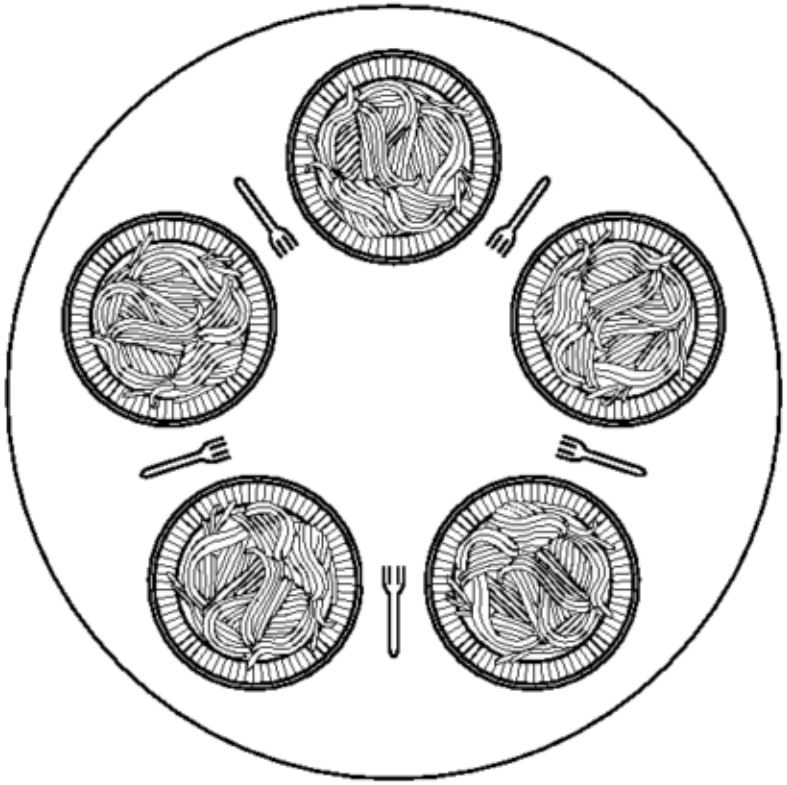


- Cierto número de hebras acceden a memoria, unas para leer y otras para escribir. Mientras una escriba ninguna otra podrá acceder. Sí se permite a varias hebras leer simultáneamente.
- ¿Problemas? → Inconsistencia y competición.
- 3 versiones: prioridad lectores, prioridad escritores y justa.

El problema de la cena de los filósofos

Vida de un filósofo

```
while(true)
{
    pensar();
    coger_tenedores();
    comer();
}
```



- Requisitos:
  - Evitar el interbloqueo.
  - Evitar la inanición.

Niveles de sincronización

	procesos/hebras
software	cerrojos, semáforos, monitores, paso de mensajes
hardware	load/store, deshabilitar interrupciones, test&set, compare&swap

A continuación veremos cómo implementar varias primitivas de sincronización de alto nivel:

- Si las únicas operaciones atómicas disponibles son la carga y el almacenamiento será más complicado.
- Necesitamos primitivas útiles a nivel de usuario.

Primero las señales, después la exclusión mutua

- Los dos mecanismos se diferencian sólo ligeramente.
- Debemos intentar no mezclarlos.
- El uso habitual de las señales es...
  - Una hebra desea informar a...
    - otra hebra
    - cualquier hebra
    - conjunto de ellas
  - de que ha alcanzado cierto punto de su código (`IP = valor`).
- Ejemplo: un jefe de estación tocando el silbato.

Señales

Definición: mensaje entre hebras que puede provocar la ejecución de un procedimiento en el receptor.

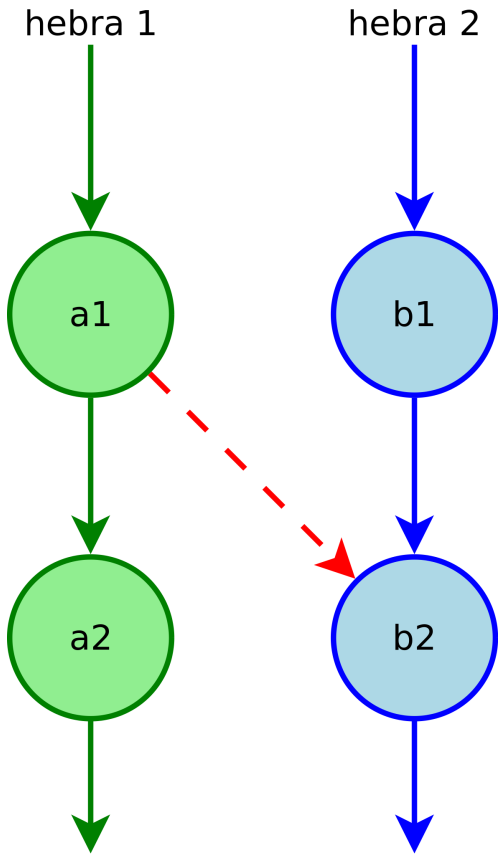
Tipos:

- Bandera:
  - Valor binario: 0/1, si/no,...
  - El significado de la bandera debe ser acordado entre las hebras en comunicación.
- Contador:
  - Cada valor puede tener un significado diferente o reflejar el número de señales pendientes.

¿Cúando es una bandera suficiente? ¿Cuándo necesitamos un contador? $\Longrightarrow$ Depende de para que usemos la bandera.

Relación de precedencia (1)

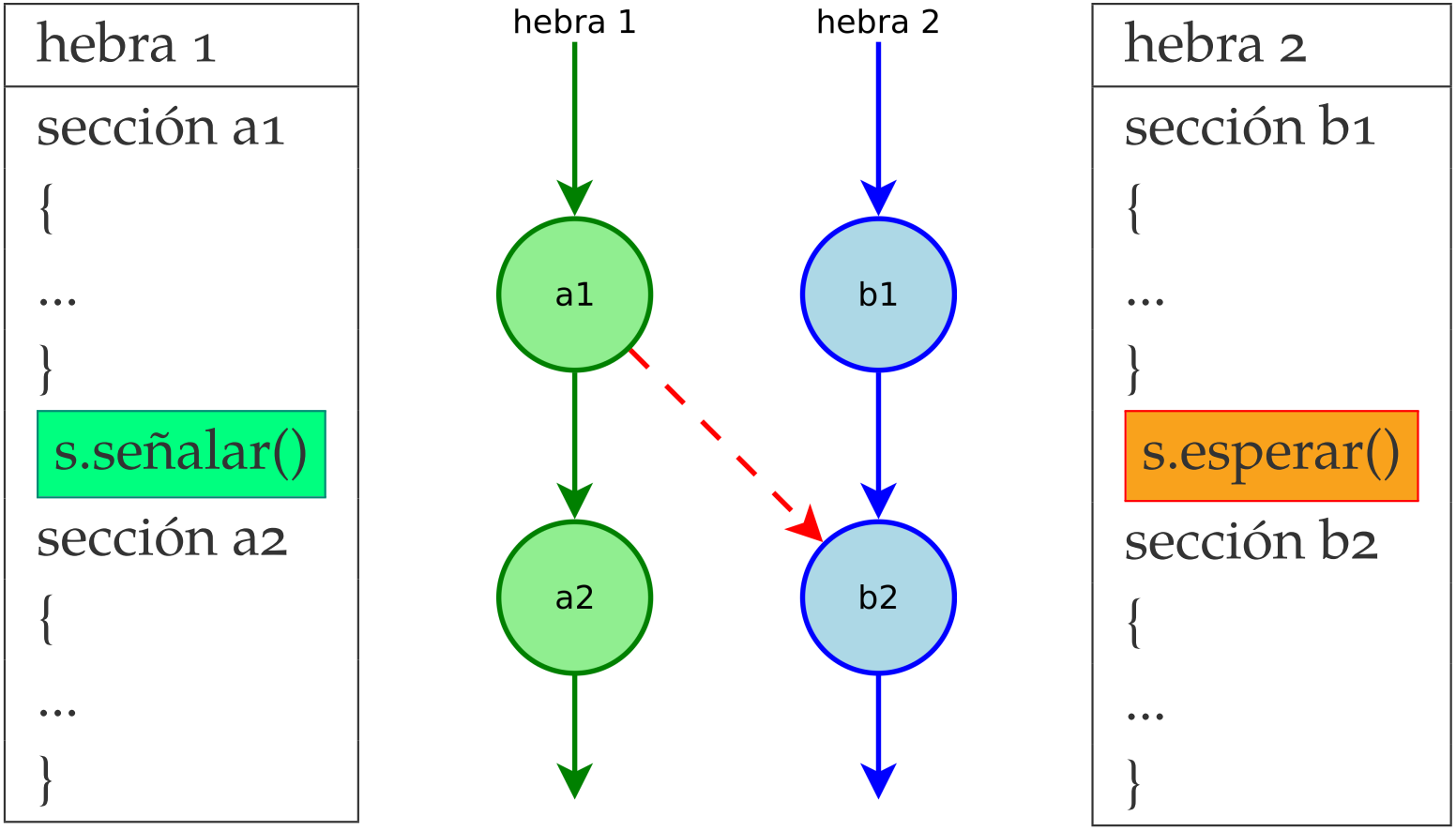
hebra 1
sección a1
{
...
}
sección a2
{
...
}



hebra 2
sección b1
{
...
}
sección b2
{
...
}

¿Cómo asegurar que la sección a1 se ejecuta antes que b2? → la sección b2 debe esperar hasta que a1 se haya ejecutado.

Relación de precedencia (2)



¿Cómo implementar este objeto señal 1:1 (emisor/receptor)?

Tipos de soluciones

- Soluciones a nivel de aplicación:
  - No requiere instrucciones especiales del procesador ni servicios del núcleo.
  - Implementado como funciones de biblioteca o dentro de la propia aplicación.
- Soluciones a nivel del núcleo:
  - Proporcionar llamadas al sistema que cumplan estas funciones.
- Soluciones hardware:
  - Instrucciones especiales del procesador.
  - Garantizan la ejecución atómica.
- La mayoría de los sistemas permiten usar varias de estas soluciones.

Señales en el problema productor/consumidor

Problemas que podremos resolver empleando señales:

- El productor debe **avisar** al consumidor para que pueda utilizar el objeto que acaba de introducir en el buffer.
- El consumidor debe **avisar** al productor de que ha consumido un objeto del buffer y por lo tanto ha quedado un hueco libre.
- El productor debe **esperar** cuando el buffer está lleno.
- El consumidor debe **esperar** cuando el buffer está vacío.

Solución al problema productor/consumidor (v1)

```
const int N = 10; // tamaño del buffer
int buffer[N];    // almacén de datos
int contador = 0; // posición a producir/consumir
```

```
void* productor(void*)
{
  while (true)
  {
    while (contador == N);
    buffer[contador] = producir();
    contador = contador + 1;
  }
}
```

```
void* consumidor(void*)
{
  while (true)
  {
    while (contador == 0);
    contador = contador - 1;
    consumir(buffer[contador]);
  }
}
```

- ¿Funciona? → No, condición de carrera en la variable compartida contador.

Solución al problema productor/consumidor (v2)

```
const int N = 10; // número de elementos
int buffer[N];    // almacén de datos
int entra = 0;    // posición para introducir
int sale  = 0;    // posición para sacar
```

```
void* productor(void*)
{
  while (true)
  {
    while ((entra + 1) % N == sale);
    buffer[entra] = producir();
    entra = (entra + 1) % N;
  }
}
```

```
void* consumidor(void*)
{
  while (true)
  {
    while (entra == sale);
    consumir(buffer[sale]);
    sale = (sale + 1) % N;
  }
}
```

- ¿Funciona? ¿es eficiente? ¿es escalable?
- ¿Podemos utilizar todos los elementos del buffer? → No, sólo $N - 1$.

Escalabilidad

¿Cuándo se dice que una solución del problema productor/consumidor es escalable?

- Cuando funciona de forma efectiva para:
  - $p \geq 1$ productores.
  - $c \geq 1$ consumidores.
  - un buffer de $0 < N < MAXINT$ elementos.
- La solución anterior no es escalable porque...
  - Sólo parcialmente correcto para $p = 1$ y $c = 1$.
  - Incorrecto para $N = 1$.

Eficiencia

¿Cuándo se dice que una solución del problema productor/consumidor es eficiente?

- Cuando funciona de forma rápida y con poca sobrecarga.
- La solución anterior no es eficiente porque...
  - La sincronización mediante **espera ocupada** desperdicia el tiempo del procesador.
  - El planificador puede prevenir la ineficiente espera ocupada.
  - Sólo es útil si conocemos que la espera ocupada va a ser corta.
- ¿Cómo mejorar esta solución?
  - Utilizar la API del núcleo para evitar la espera ocupada.

Interfaz del núcleo para evitar la espera ocupada

- **block()**
  - `sleep()` → bloquear/dormir de UNIX.
- **unblock()**
  - `wakeup()` → desbloquear/despertar de UNIX.
- **yield()**
  - `pthread_yield()` → ceder el procesador para hebras.
  - `sched_yield()` → ceder el procesador para procesos.

block() → bloquear() del núcleo

```
bloquear(hebra_actual)
{
    hebra_actual.estado = bloqueado;
    siguiente_hebra = planificador();
    hebra_actual = cambio_de_hebra(siguiente_hebra);
    hebra_actual.estado = ejecutando;
}

desbloquear(una_hebra)
{
    if (una_hebra.estado == bloqueado)
        una_hebra.estado = preparado;
}
```

- Solución para el modelo de 3 estados.
- ¿Cómo implementaría `yield`? ⟶ modificando bloquear...

API del núcleo aplicada al problema productor/consumidor

```
const int N = 100; // tamaño del buffer
int buffer[N];     // almacén
int contador = 0;  // número de elementos en el buffer
```

```
void* productor(void*)
{
  while (true)
  {
    if (contador == N)
        bloquear(productor);
    buffer[contador++] = producir();
    desbloquear(consumidor);
  }
}
```

```
void* consumidor(void*)
{
  while (true)
  {
    if (contador == 0)
        bloquear(consumidor);
    consumir(buffer[--contador]);
    desbloquear(productor);
  }
}
```

- Mejora la eficiencia: deja de utilizar espera ocupada, pero...
- Problemas: condición de carrera (`contador`) e interbloqueo [1].

[1] `contador == 0` + `if` del consumidor + `N` ejecuciones de productor

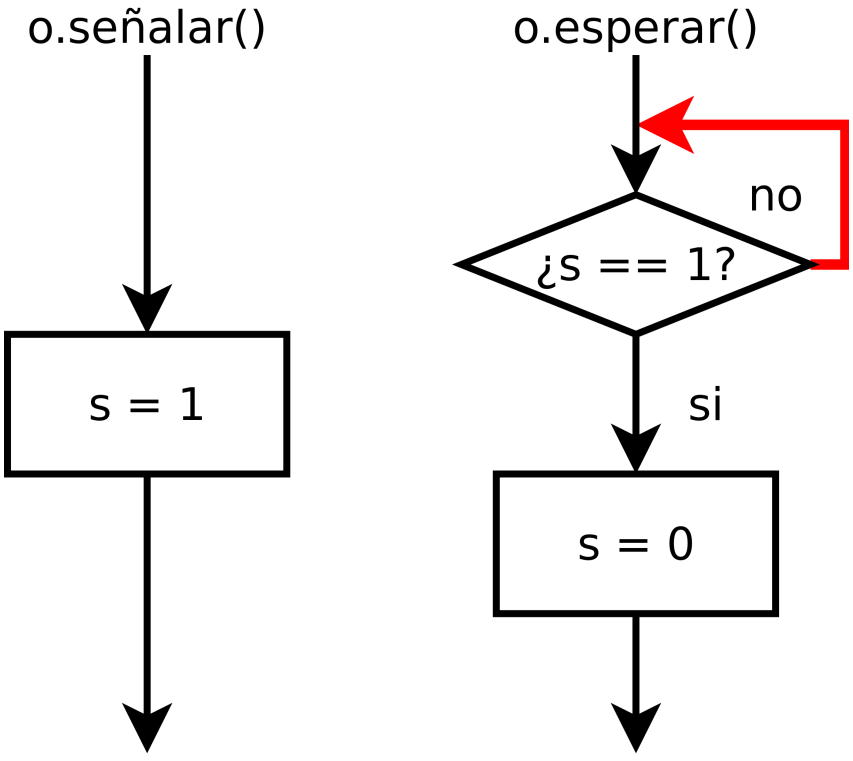
En resumen... la API del núcleo puede ser insuficiente

- El uso del API del núcleo puede ser **peligroso**.
  - Ver la condición de carrera del ejemplo anterior.

- Sería mejor utilizar objetos señal u objetos sincronización con métodos apropiados.

- Hasta ahora hemos intentado enviar señales **sin éxito** mediante...
  - **espera ocupada** a nivel de usuario.
  - **bloqueo** a nivel del núcleo.

Implementación que emplea una variable lógica **s** compartida entre hebras.



¿Qué podría suceder si `o.señalar()` es invocado varias veces antes que `o.esperar()`?

→ pierde señales.

¿Qué podría suceder si `o.esperar()` es invocado antes que `o.señalar()`?

→ espera ocupada, mejor liberar procesador.

- ¿Funcionaría en cualquier tipo de sistema? → no, exige memoria compartida.
- ¿Es eficiente y escalable?

Objeto señal: implementación a nivel usuario (v1)

- ¿Pierde señales?
- ¿Eficiente?
- ¿Escalable?

```
class señal
{
public:
  señal(): activa(false) {}

  void señalar() { activa = true; }

  void esperar()
  {
    while (activa == false);
    activa = false;
  }

private:
  bool activa;
};
```

Objeto señal: implementación a nivel usuario (v2)

- ¿Pierde señales?
- ¿Eficiente?
- ¿Escalable?
- Parecido a la espera ocupada.

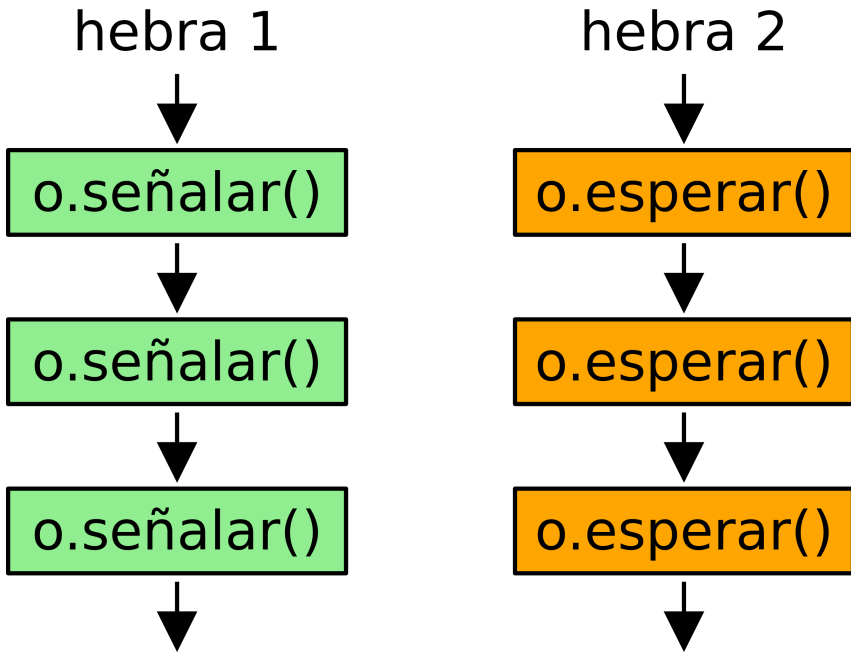
```
class señal
{
public:
  señal(): activa(false) {} // inicialización

  void señalar()
  {
    activa = true;
    yield();              // exige cooperación
  }

  void esperar()
  {
    while (activa == false)
      yield();          // evita espera ocupada
    activa = false;
  }

private:
  bool activa;
};
```

¿Son escalables estas soluciones? (1)

- ¿Puede más de una hebra `señalar` y/o `esperar`?
  - No, de otra forma ya no sería un objeto señal 1:1 sino n:m con $n > 1$, $m > 1$ o ambos.
- Múltiples usos de un mismo objeto señal dentro del un mismo par de hebras.
  - No es efectivo ni eficiente.
- Multiples objetos señal dentro del un mismo par de hebras.
  - No es eficiente.

¿Son escalables estas soluciones? (2)

- Múltiples usos de un mismo objeto señal dentro del un mismo par de hebras.
  - No es efectivo ni eficiente ↔ ¿por qué?[2]



[2]solución: o1, o2 y o3.

Objeto señal: implementación a nivel del núcleo (v3)

- ¿Pierde señales?
- ¿Eficiente?
- ¿Escalable?

```
class señal
{
public:
  señal(): bloqueada(ninguna) {}

  void señalar()
  {
    desbloquear(bloqueada);
  }

  void esperar()
  {
    bloqueada = esta;
    bloquear(bloqueada);
    bloqueada = ninguna; // ¿necesario?
  }

private:
  hebra bloqueada;
};
```

Objeto señal: implementación a nivel del núcleo (v4)

```
class señal
{
private:
  bool activa;
  hebra bloqueada;

public:
  señal():
    activa(false),
    bloqueada(ninguna) {}

  void señalar()
  {
    activa = true;
    if (bloqueada != ninguna)
      desbloquear(bloqueada);
2 }
```

```
  void esperar()
  {
    while(activa == false)
    {
1     bloqueada = esta;
3     bloquear(esta);
    }
    activa = false;
  }
};
```

- ¿Pierde señales?
- ¡Eficiente!
- ¡Escalable!
- **¡Condición de carrera!**

Resumen

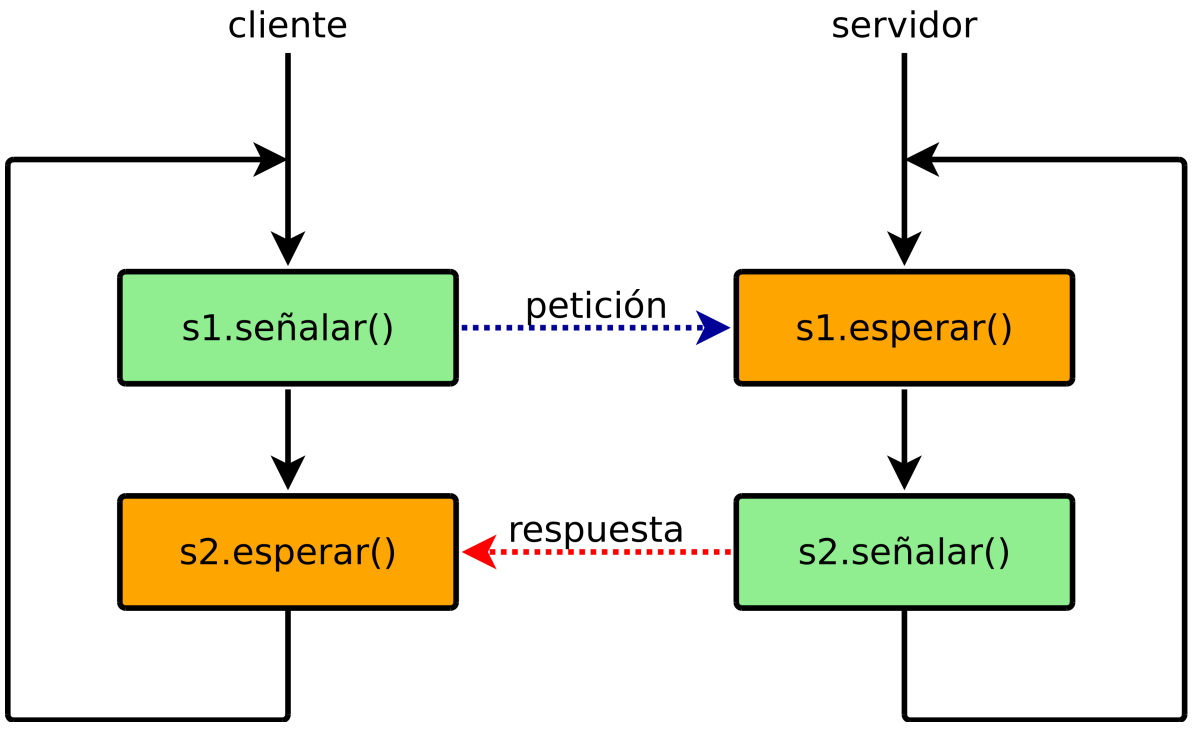
Problemas aún sin resolver:

- Las operaciones `señalar()` y `esperar()` deberían ser **atómicas**.
- Evitar la **espera ocupada** a nivel de usuario.

Sobre las soluciones vistas...

- Todas pueden perder señales.
  - Repetidas operaciones `señalar()` pueden sobreescribir señales todavía no consumidas.
- La operación `señalar()` es **asíncrona** (no bloqueante) en caso de que no haya otra hebra bloqueada mediante `esperar()`.
  - Existe el peligro de **desbordar** a otra hebra (servidor).

Reconocimiento para evitar el desbordamiento



Observaciones:

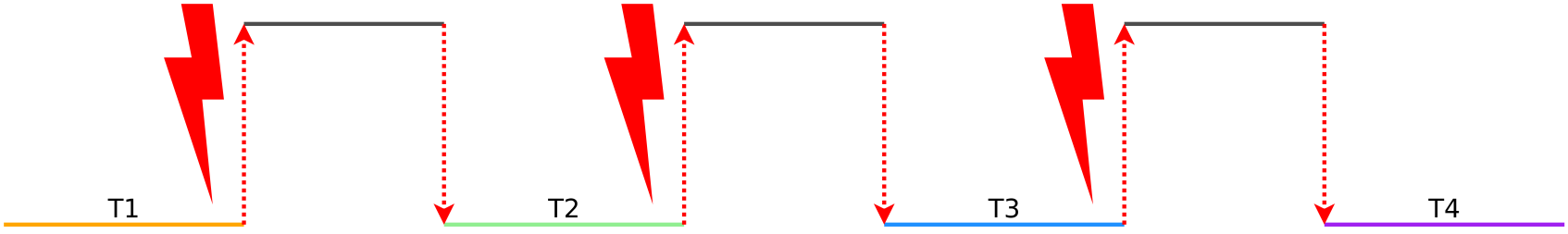
- `señalar()` es **asíncrono**.
- ¿Hay alguna solución más obvia? ⟶ sincronía.
- ¿Protege frente a clientes maliciosos? ⟶ no.

Objeto señal **síncrona**

```
class señal_síncrona
{
public:
  señal_síncrona():
    activa(false),
    señaladora(ninguna),
    esperadora(ninguna) {}

  void señalar()
  {
    activa = true;
    if (esperadora != ninguna)
      desbloquear(esperadora);
    else
    {
      señaladora = esta;
2     bloquear(señaladora);
      señaladora = ninguna;
    }
  }

  void esperar()
  {
    while(activa == false)
    {
1     esperadora = esta;
3     bloquear(esperadora);
      esperadora = ninguna;
    }
    activa = false;
    desbloquear(señaladora)
  }

private:
  bool activa;
  hebra señaladora;
  hebra esperadora;
};
```

¿Son las banderas superfluas? ... dado que existen otras soluciones

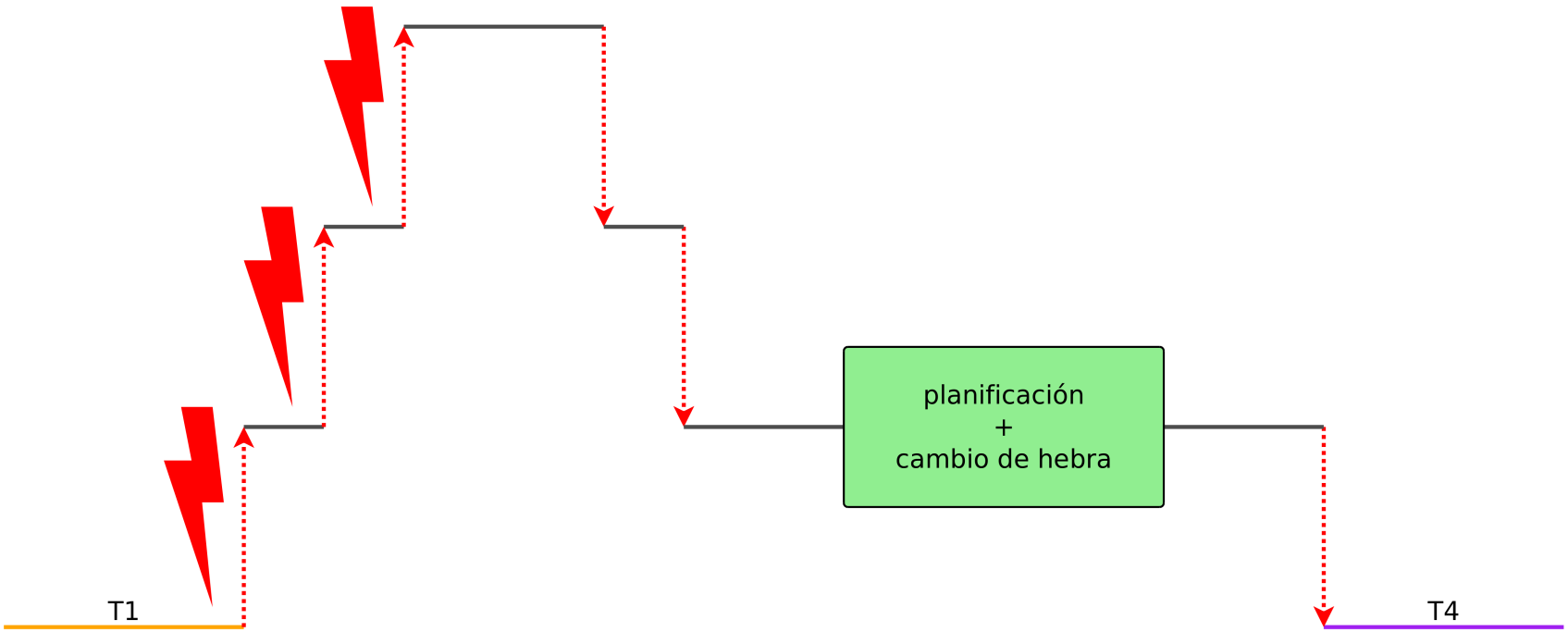
- **No**.
- Casi todos los sistemas utilizan banderas.
- Ejemplo: varias interrupciones sucesivas podría provocar varios cambios de hebra sucesivos.



- Supongamos un sistema en que las interrupciones se producen con mucha frecuencia y las prioridades pueden anidarse → ¿Cómo puede ser beneficioso utilizar banderas?

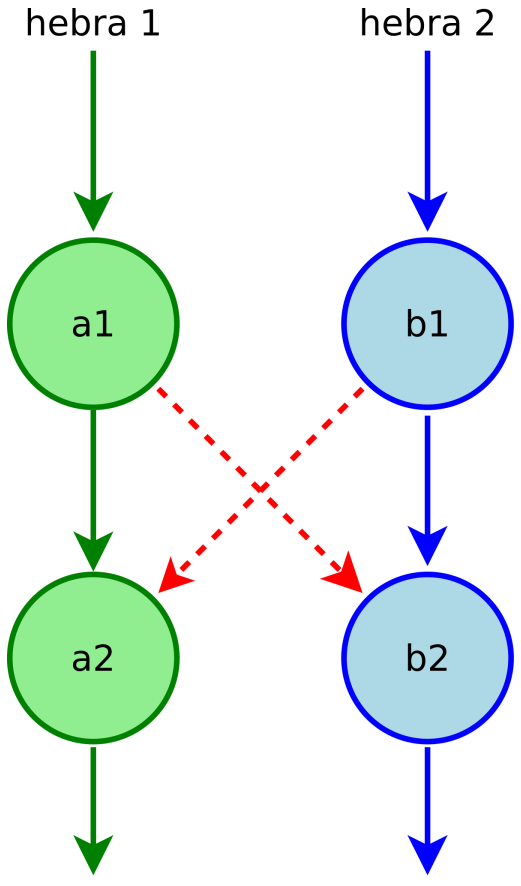
Ejemplo de uso de banderas

- Planificación perezosa y cambio de hebra: esperar hasta que haya que volver al espacio de usuario.
- Cada manejador de interrupción en el que pueda ser necesario planificar activa la bandera de planificación.



Relación de precedencia mútua (1)

hebra 1
...
sección a1
{
...
}
sección a2
{
...
}
...

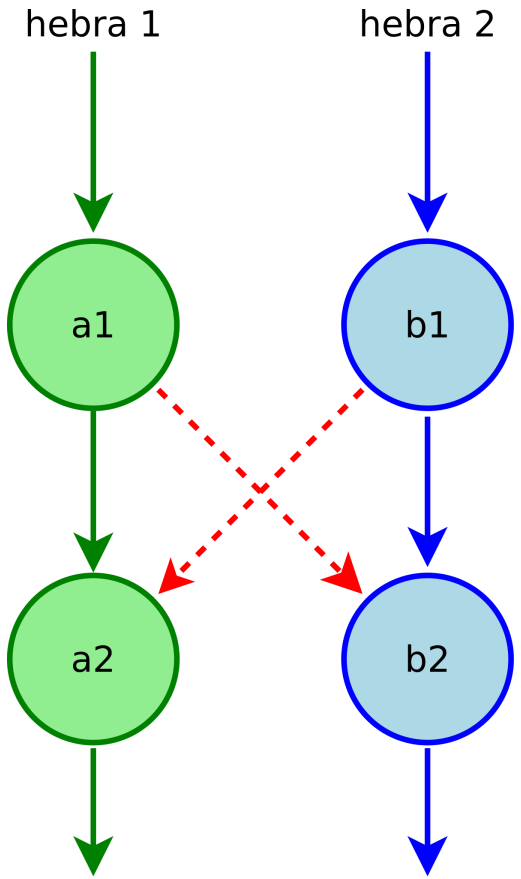


hebra 2
...
sección b1
{
...
}
sección b2
{
...
}
...

¿Cómo conseguir que a1 <* b2 y que b1 <* a2?

Relación de precedencia mútua (2)

```
hebra 1
...
sección a1
{
...
}
s1.señalar()
s2.esperar()
sección a2
{
...
}
...
```




```
hebra 2
...
sección b1
{
...
}
s2.señalar()
s1.esperar()
sección b2
{
...
}
...
```

¿Funciona? ¿Puede hacerse mucho mejor?

Relación de precedencia mútua (3)

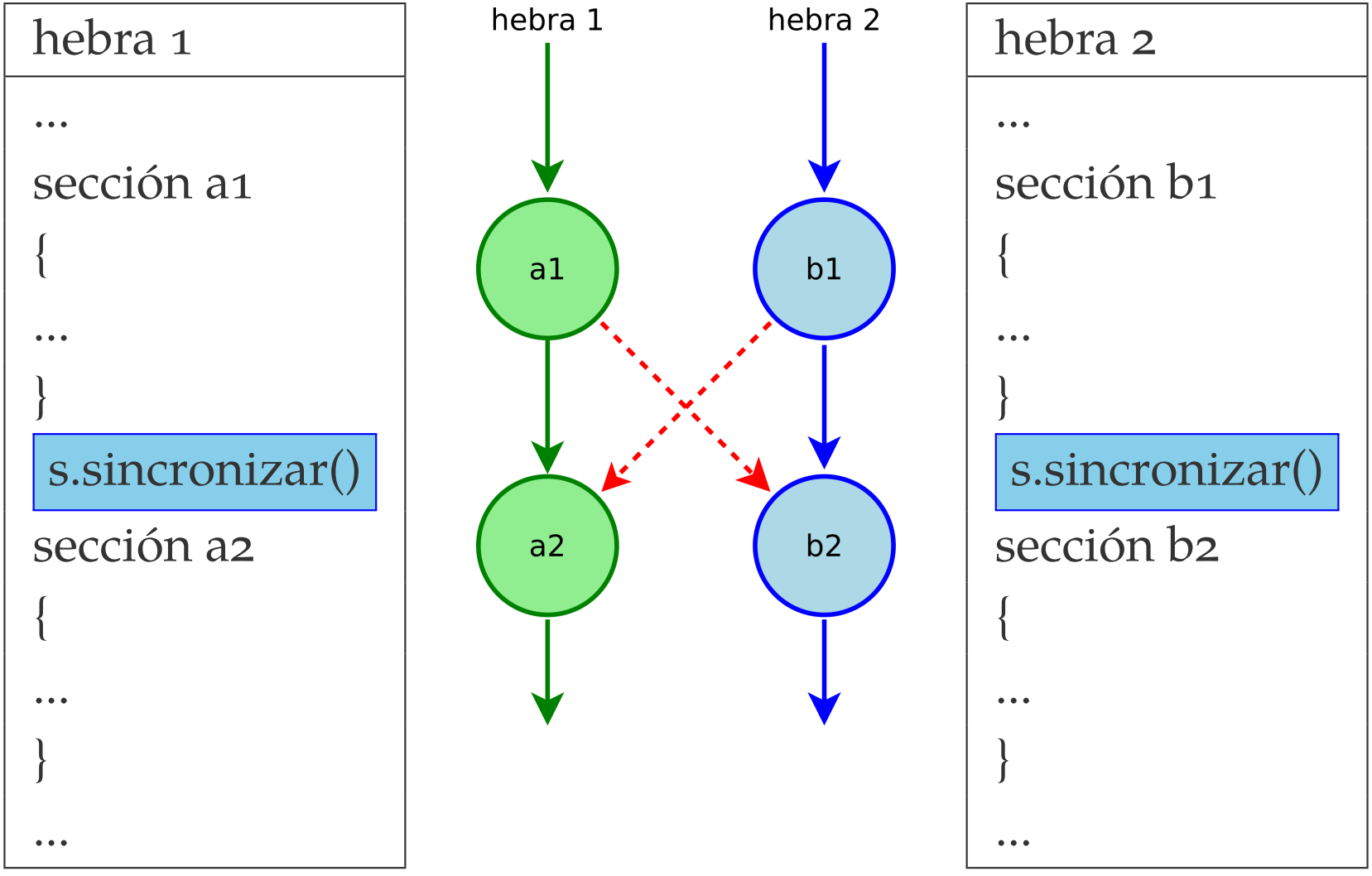
Ventajas:

- No necesitamos nuevos mecanismos para un problema parecido.

Inconvenientes:

- Complicado e ineficiente $\Longrightarrow$ **no es escalable**.
- Es muy fácil olvidar la sincronización con una nueva hebra $\Longrightarrow$ engorroso y **propenso a errores**.
- Pobre rendimiento debido a que podríamos ahorrar llamadas al sistema $\Longrightarrow$ **no es eficiente**.

Sincronización “pura”



Problema: ¿Cómo implementar la sincronización de dos hebras?

Objeto sincronización para 2 hebras

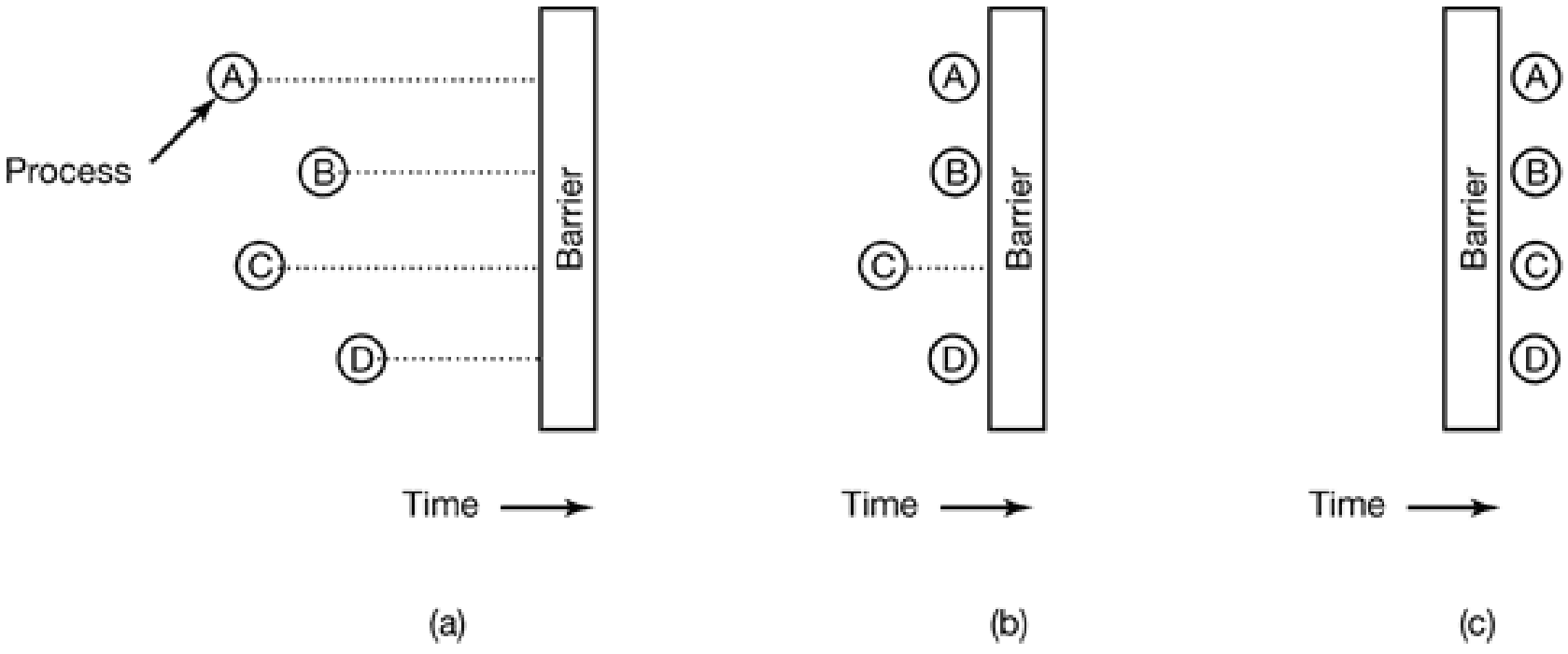
```
class sincronización
{
private:
  bool activo;
  hebra bloqueada;

public:
  sincronización():
    activo(false),
    bloqueada(ninguna)
  {
  }

  void sincronizar()
  {
    if (!activo)                  // soy el primero
    {
      activo = true;
      bloqueada = actual;
      bloquear(actual);           // esperar a la otra
    }
    else                          // soy el segundo
    {
      activo = false;             // reinicializar
      desbloquear(bloqueada);     // liberar a la otra
    }
  }
};
```

- ¿Es reutilizable?
- ¿Puede generalizase para más de dos hebras?

Ejemplo de sincronización entre n hebras (barrera)

```
// problema numérico resuelto
// mediante ecuaciones diferenciales
sincronización s;
for (int i = 0; i < N; ++i)
  for (int j = 0; j < N; ++j)
    {
      temp[i, j] = matriz[i - 1, j] + matriz[i + 1, j];
    }
s.sincronizar();
for (int i = 0; i < N; ++i)
  for (int j = 0; j < N; ++j)
    {
      matriz[i, j] = temp[i, j];
    }
s.sincronizar();
```

Barrera



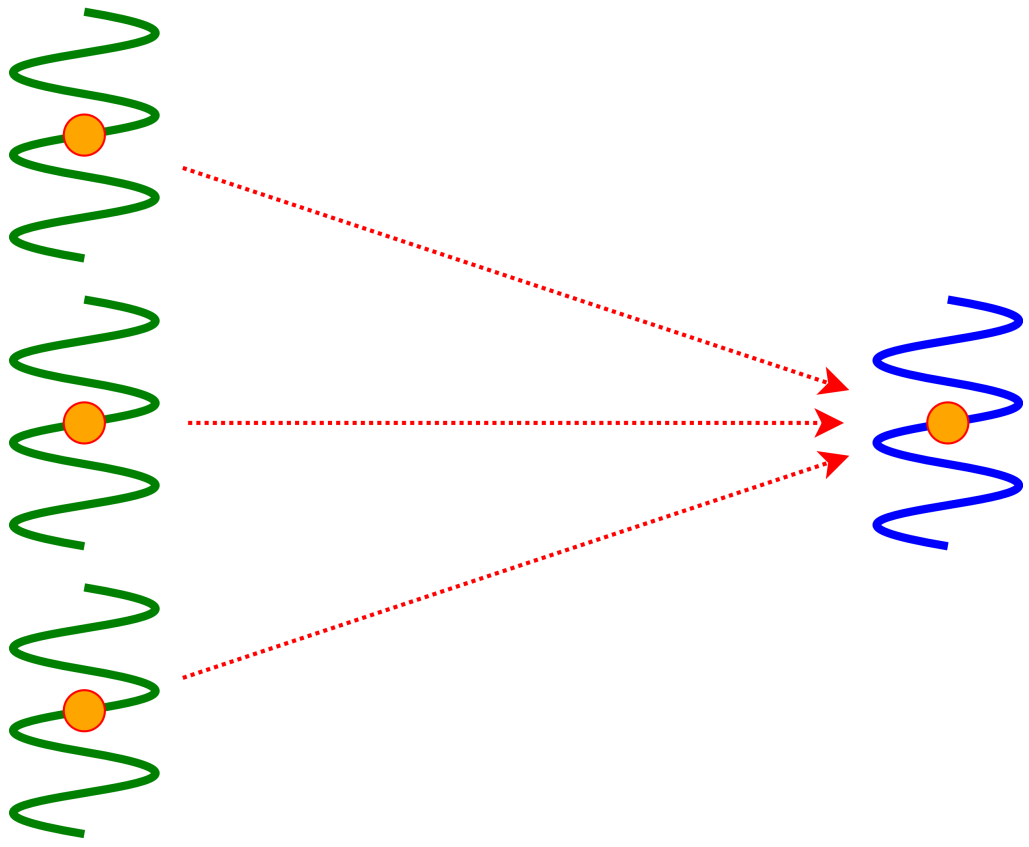
Uso de una barrera:

(a) Las hebras se aproximan a la barrera.

(b) Al llegar a la barrera las hebras se bloquean.

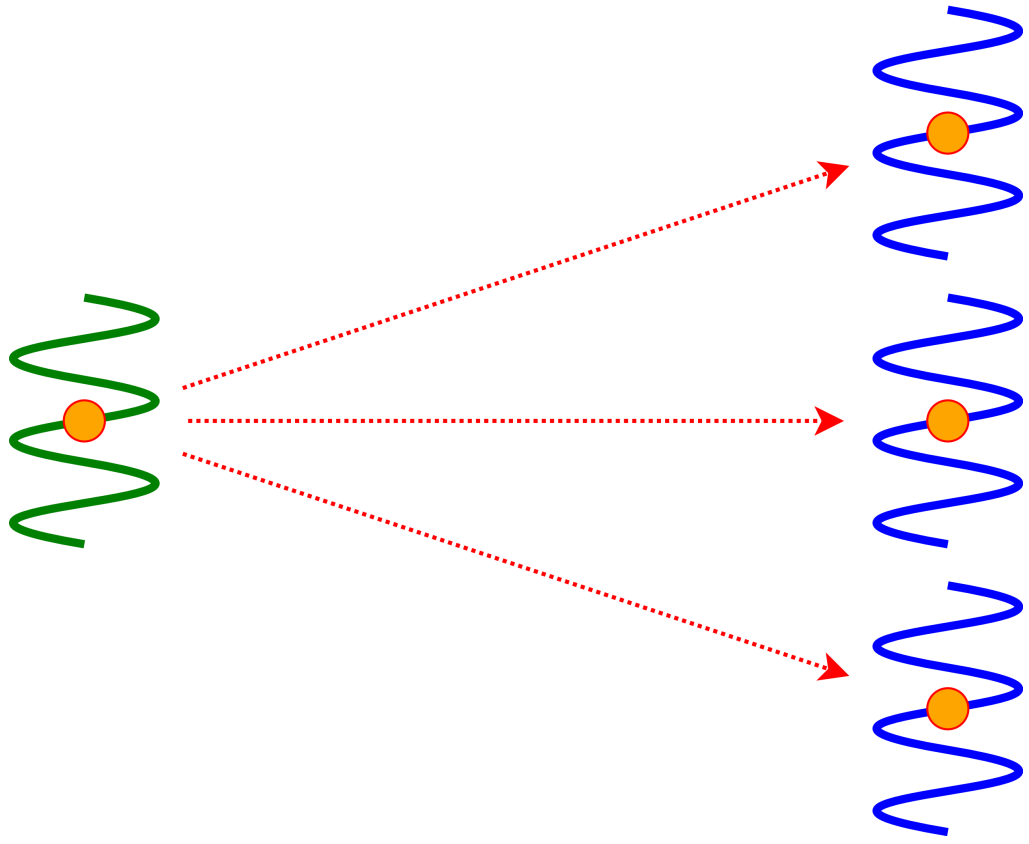
(c) La última hebra llega y provoca el desbloqueo de todas.

Patrones de señalización: muchos a uno



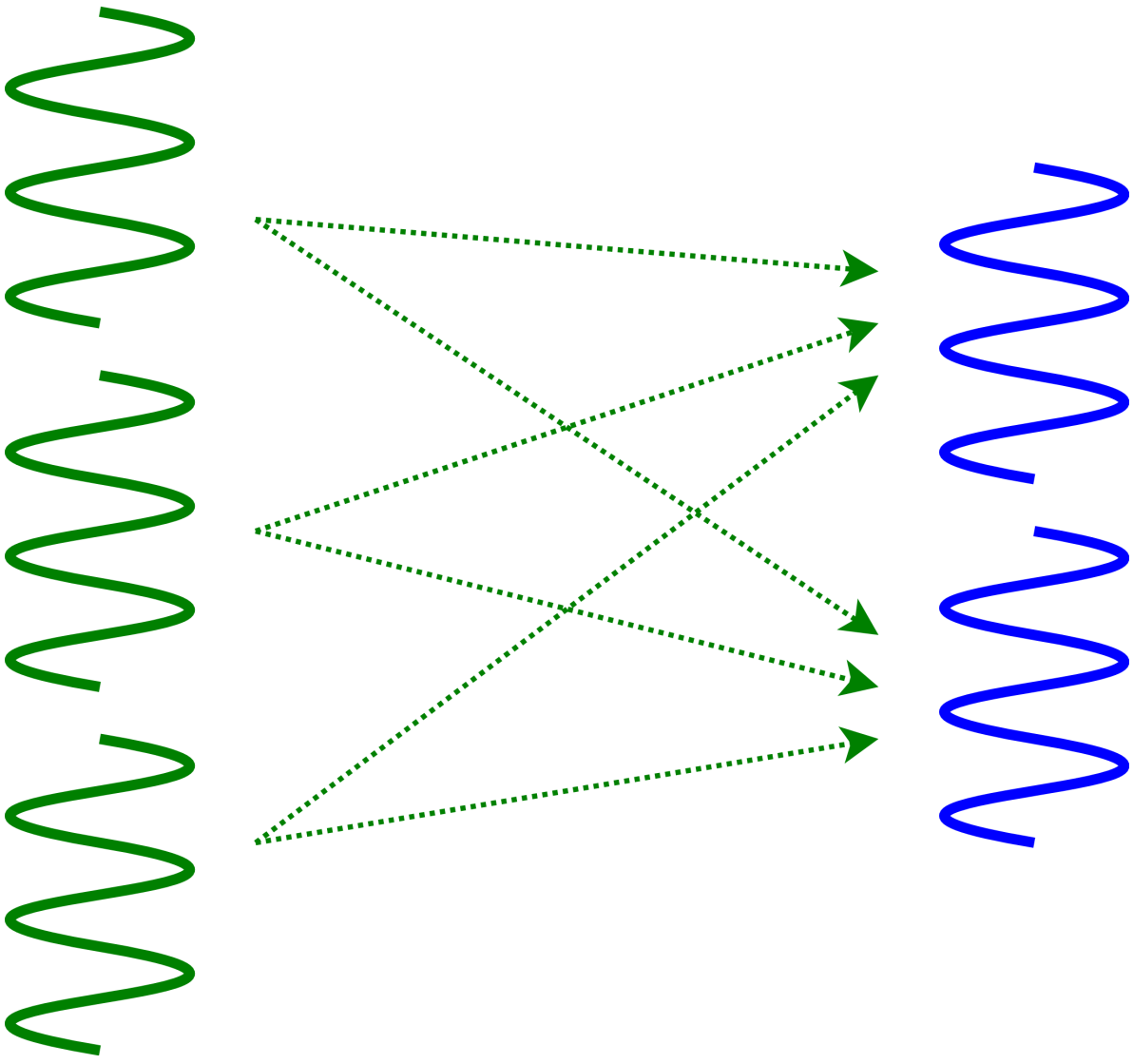
- Significado: la hebra azul sólo puede puede continuar tras un punto de espera si las tres hebras verdes han alcanzado cierto punto específico de su código.

Patrones de señalización: uno a muchos

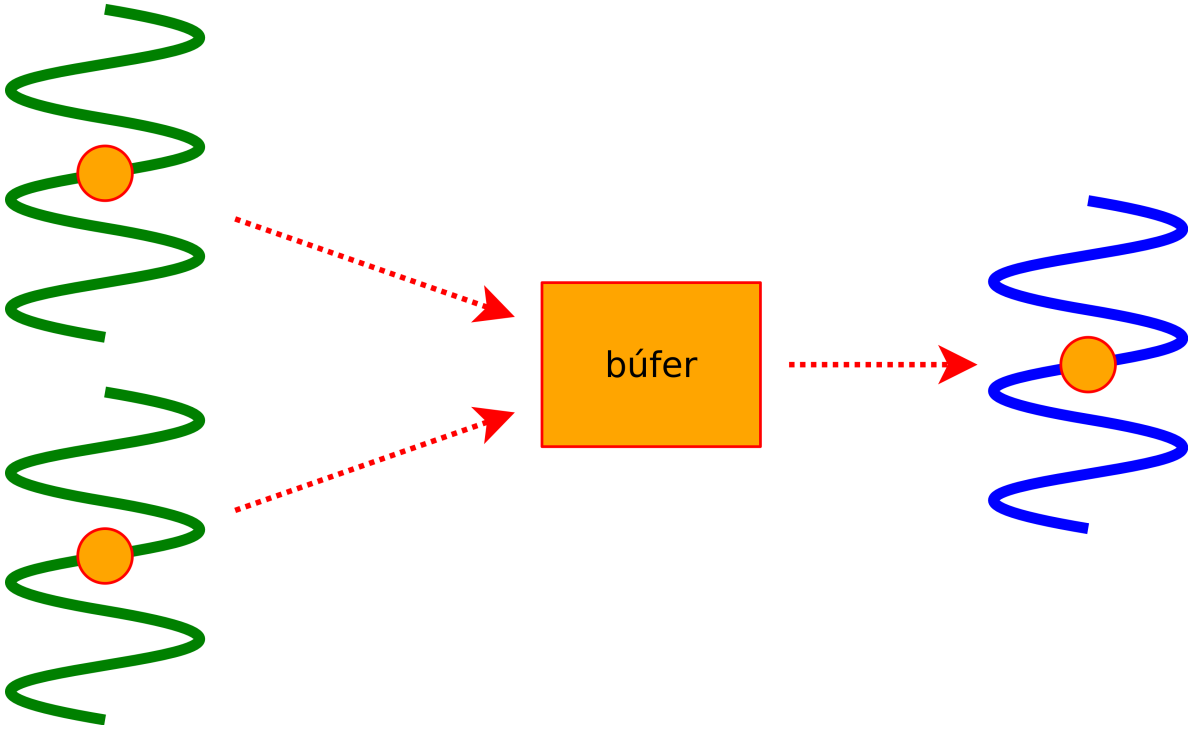


- Significado: las hebras azules sólo puede puede continuar si la hebra verde han alcanzado cierto punto de su código.

Patrones de señalización: muchos a muchos



Otros patrones de señalización



- La hebra azul sólo puede continuar si alguna de las dos hebras verdes alcanza cierto punto de su código.
- Problema: ¿Cómo y dónde almacenar temporalmente las señales?

Almacenamiento temporal de señales

Una nueva señal **sobreescribe** a las anteriores: banderas o semáforos binarios.

- Ventaja: se reacciona sólo a la señal más nueva.
- Inconveniente: podríamos perder señales necesarias.

Cada nueva señal es **almacenada temporalmente** hasta que pueda ser consumida: semáforos con contador.

- Ventaja: se reacciona a toda señal.
- Inconveniente: una fuente de señales deficiente podría desbordar el sistema.

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

¿Cómo diseñar e implementar los semáforos con contador?

- Para evitar la **espera ocupada**...
- Cuando una hebra debe **esperar** ante un semáforo $\Longrightarrow$ poner a la hebra llamadora en una **cola de bloqueados** en espera de un evento.
- La ocurrencia de un evento puede comunicarse mediante el **incremento** del valor del semáforo.

Semáforos con contador

Significado de los semáforos con contador:

- Un valor **positivo** indica el número señales emitidas.
- Un valor **negativo** indica el número de hebras que esperan por una señal $\longrightarrow$ longitud de la cola de hebras bloqueadas en espera de una señal.
- Si el contador es **cero** ni hay señales emitidas ni hay hebras esperando que se produzca una señal.

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;
};
```

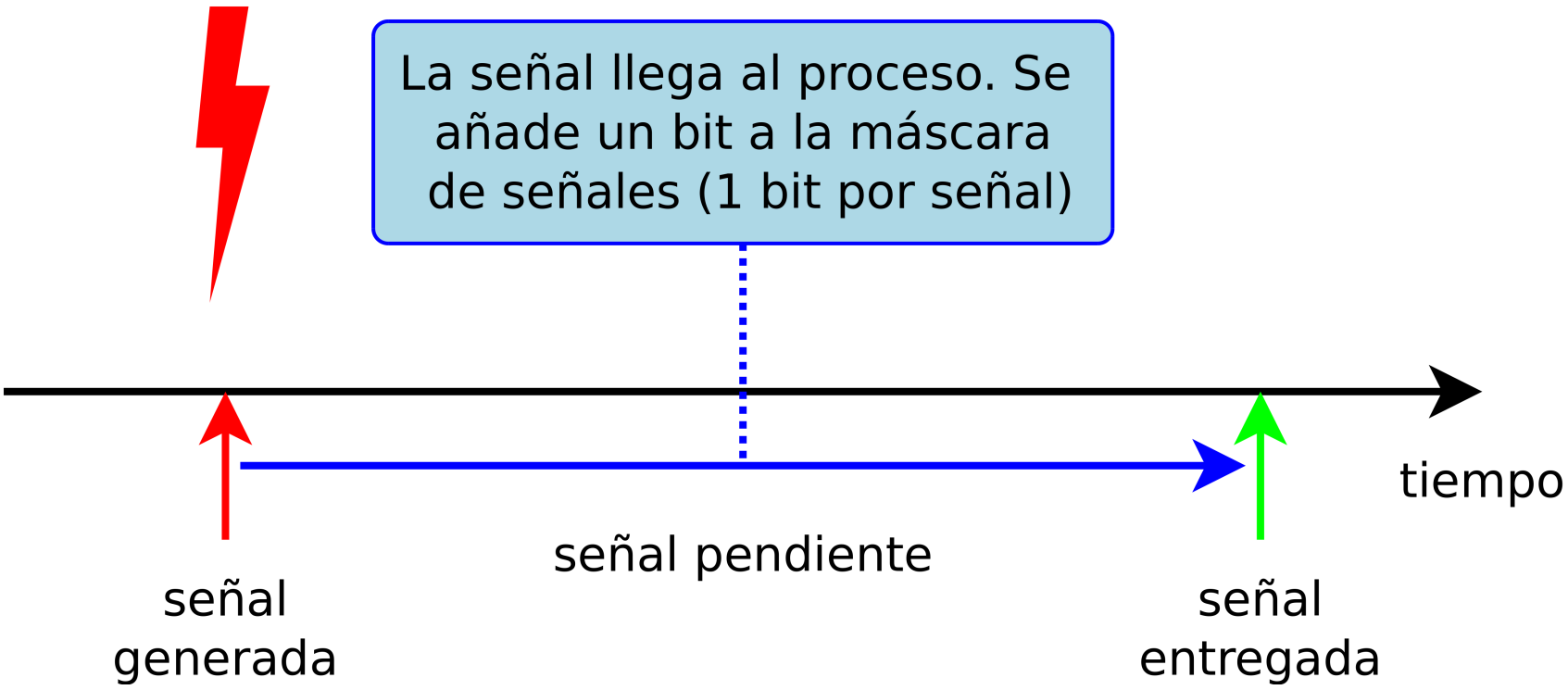
Señales UNIX

- Pueden lanzarse mediante la orden **kill** del intérprete de órdenes y la llamada al sistema **kill()**.
- No tienen un significado ni un interfaz común.
- Hay cuatro versiones diferentes:
  - System V unreliable
  - BSD
  - System V reliable
  - POSIX
- El uso de las señales puede conducir a condiciones de carrera.
- La programación con señales es engorrosa.

Lista de señales UNIX (POSIX.1)

Signal	Value	Action	Comment (Value = alpha/sparc,i386/ppc/sh,mips)
SIGHUP	1	Term	Hangup detected on controlling terminal or death of controlling process
SIGINT	2	Term	Interrupt from keyboard
SIGQUIT	3	Core	Quit from keyboard
SIGILL	4	Core	Illegal Instruction
SIGABRT	6	Core	Abort signal from abort(3)
SIGFPE	8	Core	Floating point exception
SIGKILL	9	Term	Kill signal
SIGSEGV	11	Core	Invalid memory reference
SIGPIPE	13	Term	Broken pipe: write to pipe with no readers
SIGALRM	14	Term	Timer signal from alarm(2)
SIGTERM	15	Term	Termination signal
SIGUSR1	30,10,16	Term	User-defined signal 1
SIGUSR2	31,12,17	Term	User-defined signal 2
SIGCHLD	20,17,18	Ign	Child stopped or terminated
SIGCONT	19,18,25		Continue if stopped
SIGSTOP	17,19,23	Stop	Stop process
SIGTSTP	18,20,24	Stop	Stop typed at tty
SIGTTIN	21,21,26	Stop	tty input for background process
SIGTTOU	22,22,27	Stop	tty output for background process

Reparto de señales en UNIX



Tipos de señales UNIX

- Las señales UNIX pueden recibirse...
  - síncrona

    o
  - asíncronamente
- Las señales síncronas suelen enviarlas la propia hebra/proceso:
  - violación del espacio de direcciones.
  - excepción de división entre cero.
  - reservadas al usuario.
- Las señales asíncronas suele enviarlas otras hebras/procesos:
  - órden `kill`
  - llamada al sistema `kill()`
  - `CTRL+C`: SIGINT $\longrightarrow$ terminar proceso
  - `CTRL+Z`: SIGSTOP $\longrightarrow$ suspender proceso
  - expira el tiempo del temporizador

API de las señales UNIX

```
#include <sys/types.h> // pid_t
#include <pthread.h>   // pthread_t
#include <unistd.h>    // getpid
#include <signal.h>    // kill pthread_kill raise signal

// instala la función ``manejador'' como manejador
// de señal para la señal ``signum''
typedef void (*sighandler_t)(int);
sighandler_t signal(int signum, sighandler_t manejador);

// envia la señal ``signum'' a el proceso ``pid''
int kill(pid_t pid, int signum);

// envía la señal ``signum'' a el proceso actual
// equivalente a kill(getpid(), signum)
int raise(int signum);

// envía la señal ``signum'' a la hebra ``hebra''
int pthread_kill(pthread_t hebra, int signum);
```

Manejadores de señal UNIX

- El manejador por defecto, ¿se ejecuta en modo usuario o modo núcleo? → depende de quien maneje el evento.
- Manejadores definidos por el usuario:
  - Implemente manejadores de señal cortos.
  - Tenga mucho cuidado al utilizar señales.
  - Muchos sistemas UNIX exigen reinstalar el manejador de señal para poder volver a utilizarlo por segunda vez.
    - ¿Detecta una posible condición de carrera?

alarma.c

```
int FRECUENCIA_ALARMA = 1; // segundos
void atrapar_alarma(int);  // declaración anticipada

//-------------------------------------------------------------------

void instalar_alarma() // instalador del manejador de señal y alarma
{
  signal(SIGALRM, atrapar_alarma); // establecer manejador de la señal
  alarm(FRECUENCIA_ALARMA);        // establecer alarma
}

//-------------------------------------------------------------------

void atrapar_alarma(int i) // manejador de señal
{
  instalar_alarma(); // reinstalar tras cada alarma
  printf("¡¡¡ALARMA!!!\n");
}

//-------------------------------------------------------------------

int main()
{
  instalar_alarma(); // instalar alarma por primera vez
  for(;;);           // bucle infinito
}
```