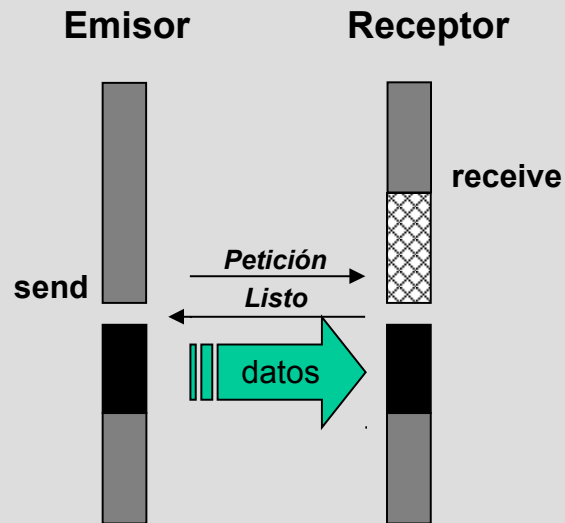


Tema 3: Sistemas basados en paso de mensajes

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

3.2. Paradigmas de Interacción de procesos en programas distribuidos

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

1. Introducción

2. Vista lógica arquitectura y modelo de ejecución

3. Primitivas básicas de paso de mensajes

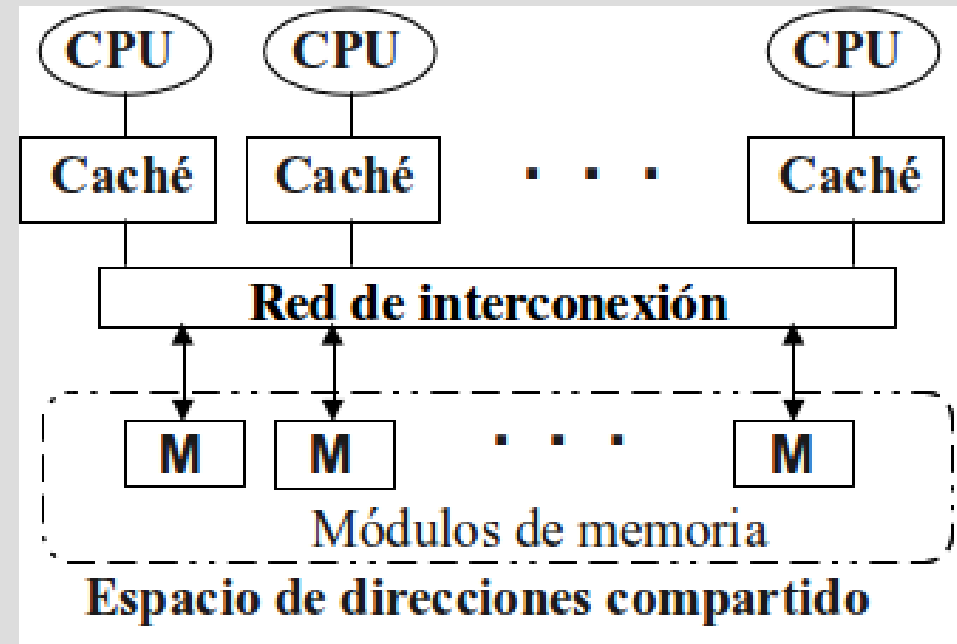
4. Espera selectiva

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Memoria compartida vs. Distribuida (1)

Hemos visto cómo programar sistemas **multiprocesador de memoria compartida**:

- **Más fácil programación (variables compartidas):** se usan mecanismos como cerrojos, semáforos y monitores.
- **Implementación más costosa y escalabilidad hardware limitada**
El acceso a memoria común supone un cuello de botella.

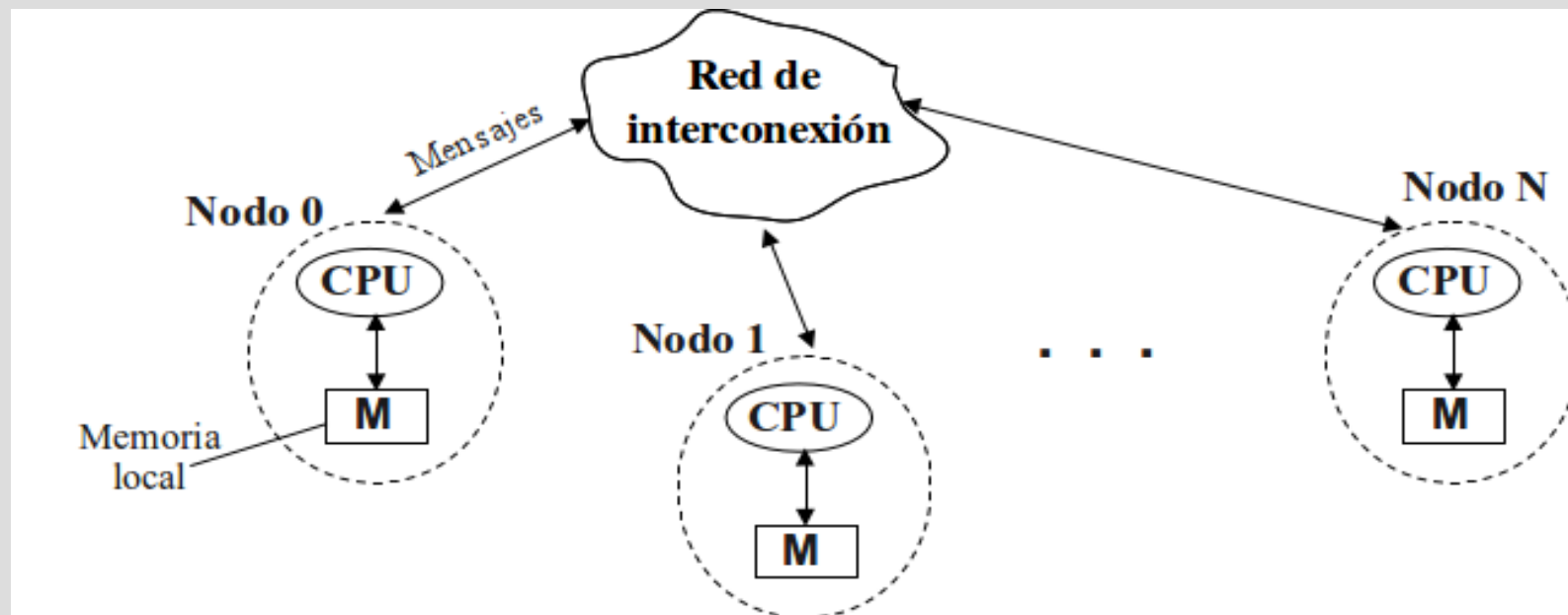


3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Memoria compartida vs. Distribuida (2)

Sistemas Distribuidos: Conjunto de procesos (en uno o varios ordenadores) que no comparten memoria, pero que se transmiten datos a través de una red:

- **Facilita distribución** de datos y recursos.
- **Soluciona** problema de la **escalabilidad y elevado coste**.
- **Mayor dificultad de programación:** no hay direcciones de memoria comunes y mecanismos como los monitores son inviables.



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Necesidad de una notación de programación distribuida

Lenguajes tradicionales (memoria común)

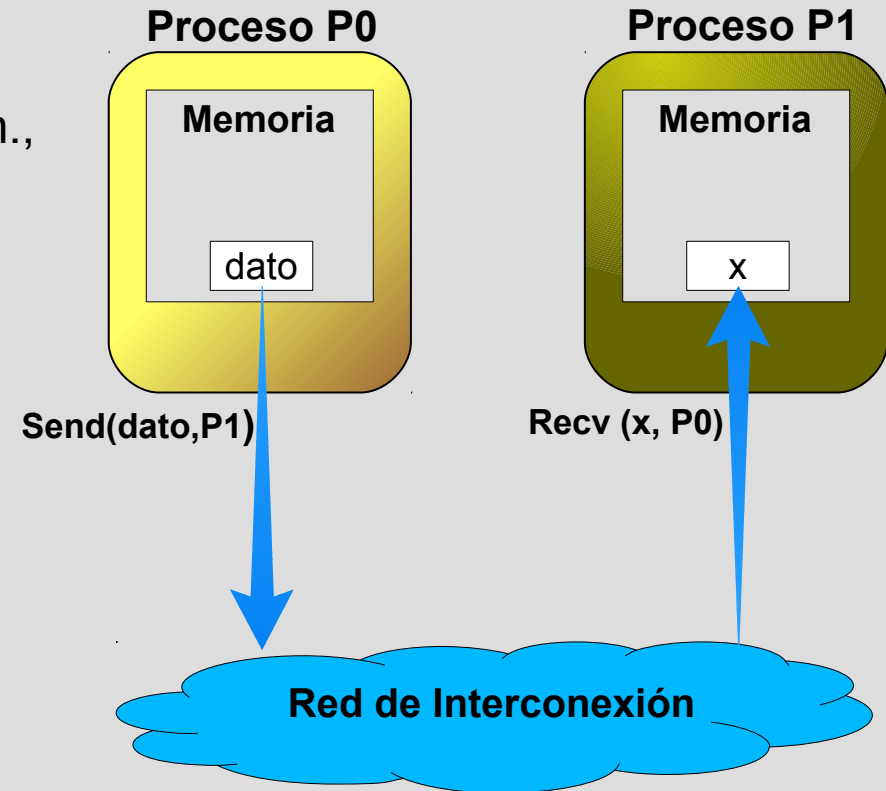
- **Asignación:** cambio estado interno máquina.
- **Estructuración:** secuencia, repetición, procedimiento, etc.

Extra añadido: Envío/Recepción \Rightarrow Afectan entorno externo.

- Tan importantes como asignación.
- Permiten **comunicar procs** en ejecución paralela.

Paso de mensajes

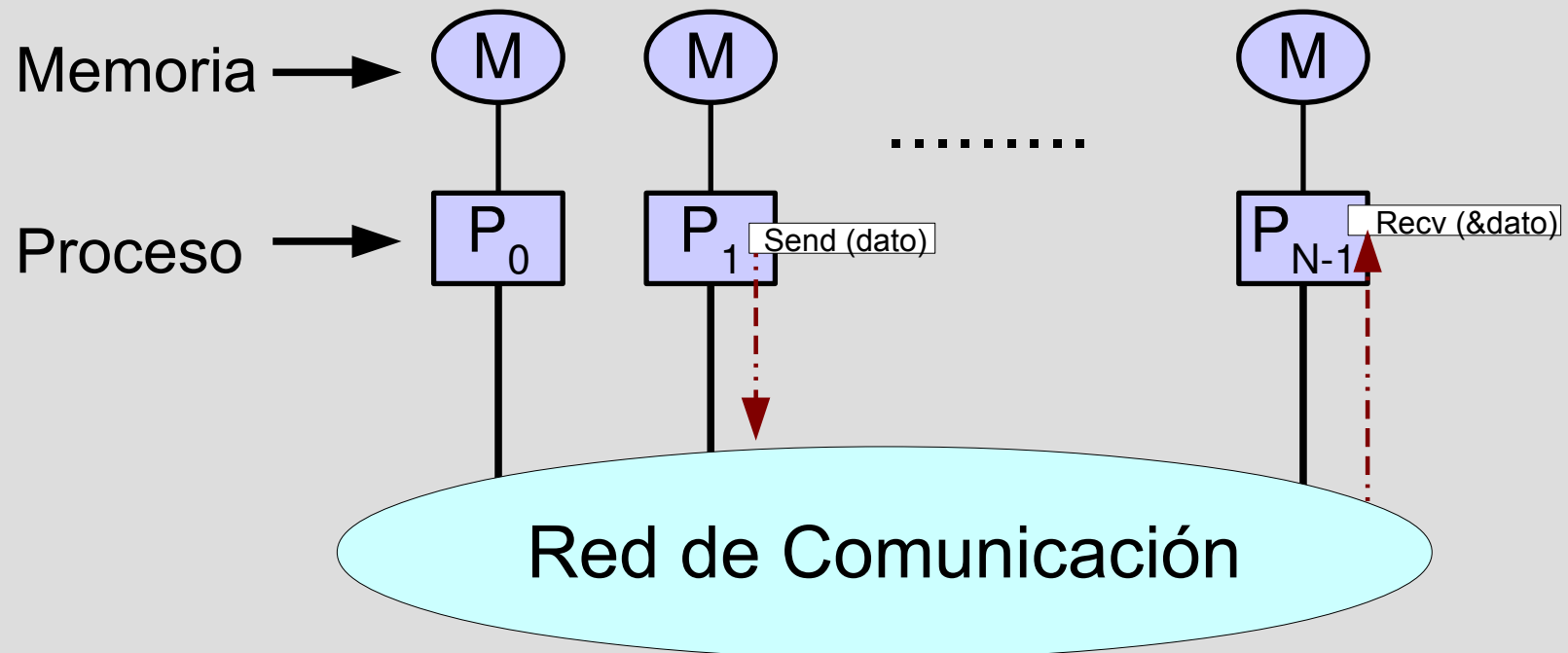
- **Abstracción:** oculta red de interconexión.
- **Portabilidad:** Implementable eficientemente en cualquier arquitectura (mem. Compartida o distribuida).
- **No requiere** mecanismos para asegurar **EM**.



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Vista Lógica de la Arquitectura

- Existen **N procesos**, cada uno con su **espacio de direcciones propio** (memoria). Los procesos se comunican mediante **envío y recepción de mensajes**.
- En un procesador pueden residir físicamente varios procesos aunque por eficiencia, **frecuentemente se aloja 1 proceso en cada procesador**.
- **Interacción requiere cooperación entre 2 procesos**: Propietario datos (emisor) debe intervenir aunque no haya conexión lógica con el evento tratado en Receptor.



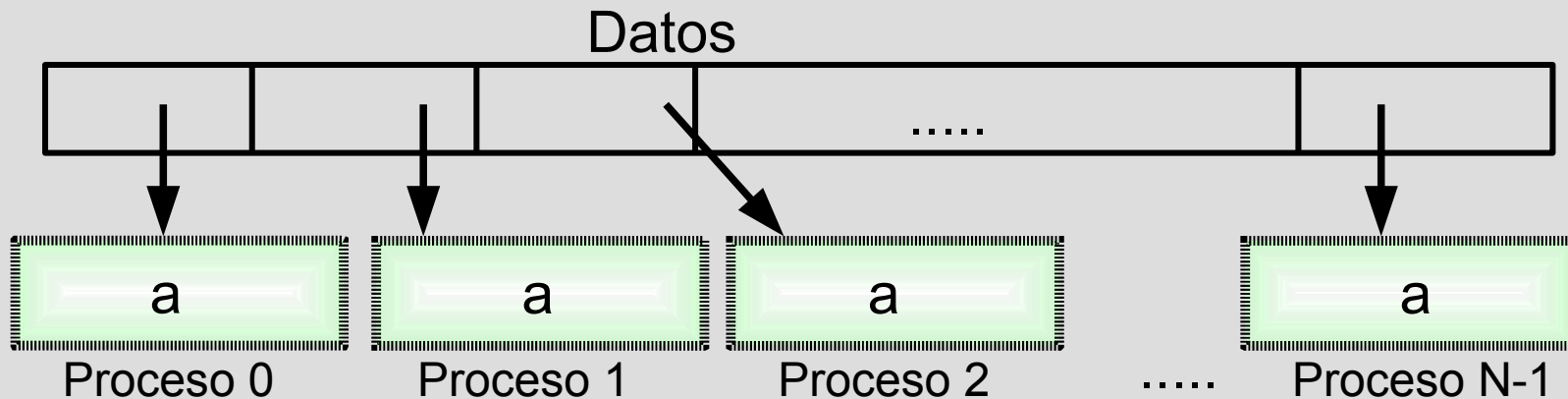
3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Estructura de un programa de paso de mensajes. SPMD

Diseñar un código diferente para cada proceso → **Complejo**.

- **Solución: Estilo SPMD (Single Program Multiple Data):**
- Todos los procesos ejecutan el **mismo código fuente**.
- Cada proceso puede procesar **datos distintos** y/o ejecutar **distintos flujos** de control.

```
process Proceso[ n_proc : 0..1 ];  
  var dato : integer ;  
begin  
  if n_proc == 0 then begin {si soy 0}  
    dato := Produce();  
    send( dato, Proceso[1]);  
  end else begin {si soy 1}  
    receive( dato, Proceso[0] );  
    Consume( dato );  
  end  
end
```

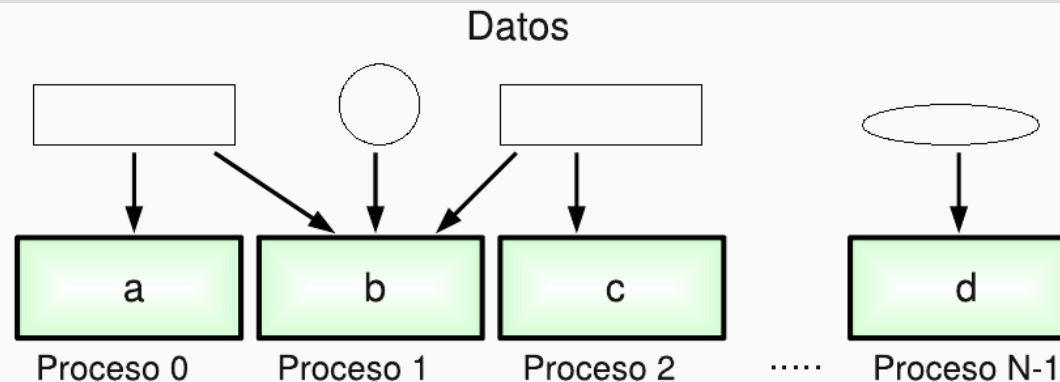


3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Estructura de un programa de paso de mensajes. MPMD

Otra opción es usar el **estilo MPMD (Multiple Program Multiple Data)**:

- Cada proceso ejecuta mismo o diferentes programas de un conjunto de ejecutables.
- Los diferentes procesos pueden usar datos diferentes.



```
process ProcesoA ;  
    var var_orig : integer ;  
begin  
    var_orig := Produce();  
    send( var_orig, ProcesoB );  
end
```

```
process ProcesoB ;  
    var var_dest : integer ;  
begin  
    receive( var_dest, ProcesoA );  
    Consume( var_dest );  
end
```


3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

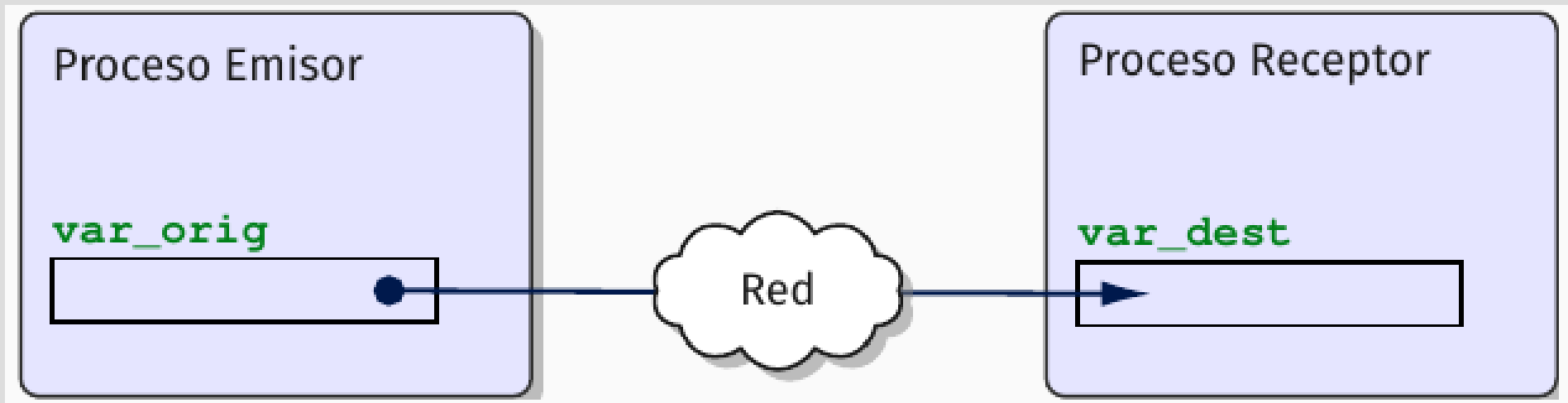
Transferencia de mensajes

Paso de un mensaje entre 2 procesos: transferencia de secuencia finita de bytes.

- Leídos de variable en Emisor (`var_orig`).
- Se transfieren a través de una red de interconexión.
- Se escriben en variable en Receptor (`var_dest`).

Sincronización: Bytes acaban de recibirse después de iniciar envío.

Efecto final: `var_dest := var_orig` (`var_dest` y `var_orig` son del mismo tipo).



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Primitivas básicas de paso de mensajes

Proc. emisor realiza envío invocando **send**, y Proc. receptor realiza recepción invocando **receive**. **Sintaxis:**

- **send** (variable_origen, identificador_destino)
- **receive**(variable_destino, identificador_origen)

Ejemplo. Transferencia de un valor entero: cada proceso nombra explícitamente al otro, indicando nombre proceso como identificador.

```
process P1 ; { Emisor (produce)}  
  var var_orig : integer ;  
begin  
  var_orig := Produce();  
  send( var_orig, P2 );  
end
```

```
process P2 ; { Receptor (consume)}  
  var var_dest : integer ;  
begin  
  receive( var_dest, P1 );  
  Consume( var_dest );  
end
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Esquemas de identificación de la comunicación

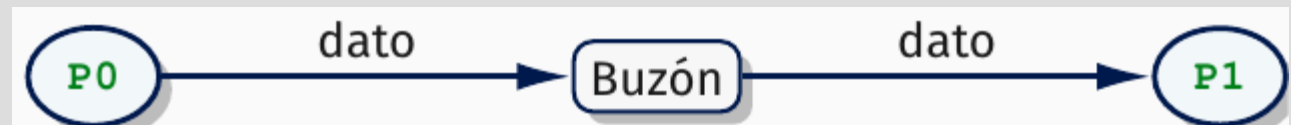
¿Cómo identifica el emisor al receptor del mensaje y viceversa? Dos posibilidades:

Denominación directa estática



- Emisor identifica explícitamente al receptor y viceversa, mediante **identificadores de procesos** (típicamente enteros asociados a los procesos en tiempo de compilación).

Denominación indirecta



- Los mensajes se depositan en **almacenes intermedios** accesibles desde todos los procesos (buzones).
- Emisor nombra buzón donde envía. Receptor nombra buzón donde recibirá.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Denominación directa estática

Ventajas

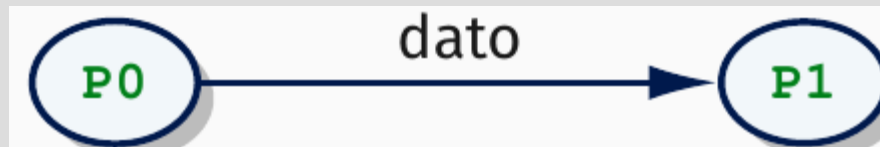
- **Sin retardo** para establecer identificación (P0 y P1 se traducen en enteros)

Inconvenientes

- Cambios en identificación \Rightarrow recompilar el código.
- Sólo **comunicación 1-1**.

```
process P0 ;  
  var var_orig : integer ;  
begin  
  var_orig := Produce();  
  send( var_orig, P1 );  
end
```

```
process P1 ;  
  var var_dest : integer ;  
begin  
  receive( var_dest, P0 );  
  Consume( var_dest );  
end
```



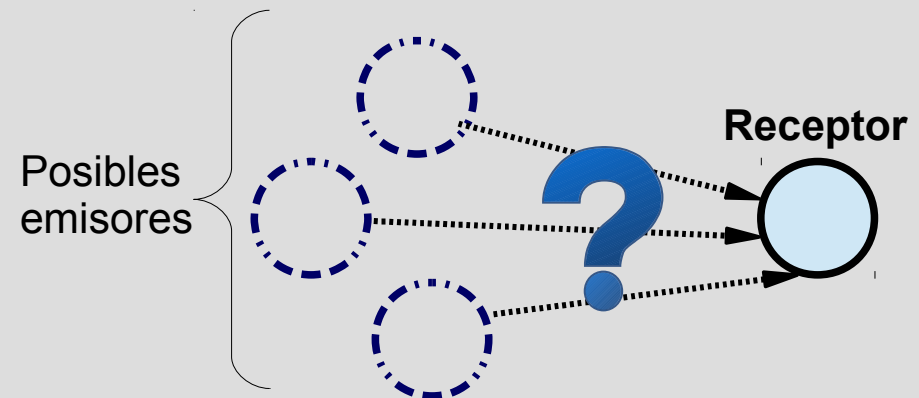
3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Denominación directa con identificación asimétrica

Existen **esquemas asimétricos**: Emisor identifica al Receptor, pero Receptor no indica Emisor.

- Receptor indica que acepta recibir el mensaje de cualquier posible Emisor.

```
Receive (var_destino, ANY)
```



Posibilidades para conocer identificación del Emisor tras recibir mensaje:

- Identificador forma parte de los metadatos del mensaje.
- Identificador puede ser un parámetro de salida de receive.

Otra alternativa: Especificar que el emisor debe pertenecer a un subconjunto de todos los posibles.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Denominación indirecta

Emisor y el receptor identifican un **buzón o canal intermedio** a través del cual se transmiten los mensajes.

- **Mayor flexibilidad:** permite comunicaciones entre múltiples receptores y emisores.

```
var buzón : channel of integer; { es accesible por ambos procesos }
```

```
process P1 ;  
  var var_orig : integer ;  
begin  
  var_orig := Produce();  
  send( var_orig, buzón );  
end
```

```
process P2 ;  
  var var_dest : integer ;  
begin  
  receive( var_dest, buzón );  
  Consume( var_dest );  
end
```



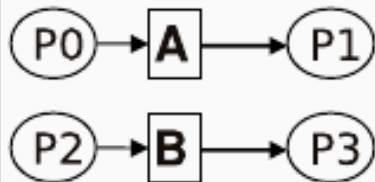
3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Denominación indirecta (2)

Tres **tipos de buzones**: **canales** (uno a uno), **puertos** (muchos a uno) y **buzones generales** (muchos a muchos).

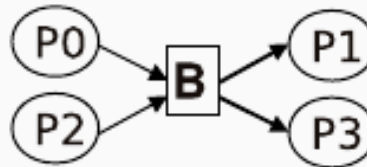
- Un mensaje enviado a un buzón general permanece en el buzón hasta que sea leído por todos los receptores potenciales (envío = difusión a todos).

Canales (1 a 1)



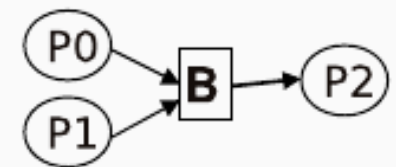
- Tipo fijo

Buzones generales (n a n)



- Destino: *send* de cualquier proc.
- Fuente: *receive* de cualquier proc.
- Implementación complicada.
 - Enviar mensaje y transmitir todos los lugares.
 - Recibir mensaje y notificar recepción a todos.

Puertos (n a 1)



- Destino: Un único proceso
- Fuente: Varios procesos
- Implementación más sencilla.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Declaración estática vs. dinámica

Los **identificadores de proceso** suelen ser valores enteros biunívocamente asociados a procesos del programa. Se pueden gestionar:

- **Estáticamente**: en código fuente se fija un entero a cada proceso.
 - **Ventaja**: **muy eficiente** en tiempo.
 - **Inconveniente**: **Rigidez**. cambios en la estructura del programa (num. procesos de cada tipo) requieren adaptar código fuente y recompilarlo.
- **Dinámicamente**: Identificadores de procesos se fijan en tiempo de ejecución.
 - **Inconveniente**: **menos eficiente** en tiempo.
 - **Ventaja**: **Flexibilidad**. Código sigue siendo válido aunque cambie la estructura (no hay que recompilar).

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Comportamiento de las operaciones de paso de mensajes

```
process Emisor ;  
  var var_orig : integer := 100 ;  
begin  
  send( var_orig, Receptor ) ;  
  var_orig := 0 ;  
end
```

```
process Receptor ;  
  var var_dest : integer := 1 ;  
begin  
  receive( var_dest, Emisor ) ;  
  imprime( var_dest );  
end
```

Comportamiento Esperado: valor recibido en **var_dest** será el que se tenía **var_orig** (100) justo antes de invocar send.

- Se garantiza siempre \Rightarrow **Comportamiento Seguro** (programa de paso de mensajes seguro).
- Si pudiera imprimirse 0 ó 1 en lugar de 100 \Rightarrow **Comportamiento NO Seguro**. No deseable, aunque existen situaciones en las que puede interesar usar operaciones que no garantizan seguridad (usadas adecuadamente).

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

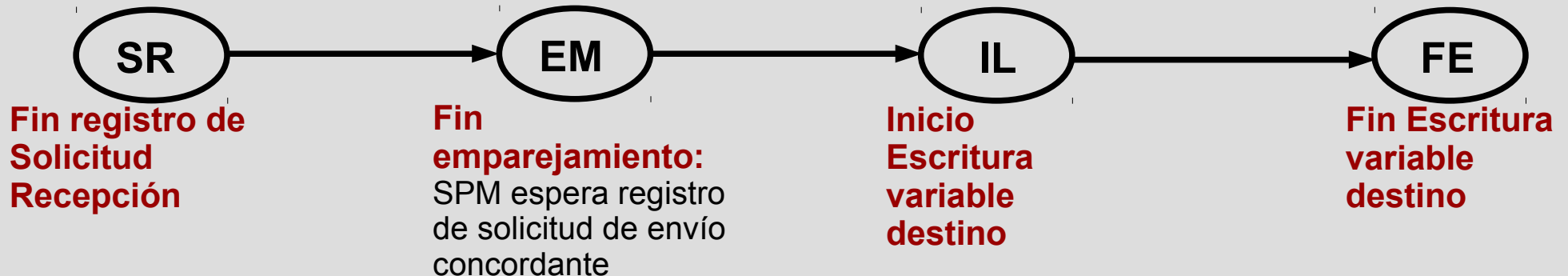
Instantes críticos en emisor y receptor

El **Sistema de Paso de mensajes** (SPM) debe realizar una **serie de pasos** en emisor y receptor para transmitir el mensaje:

send(var_orig, Receptor)



receive(var_dest, Emisor)



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Seguridad de las operaciones de paso de mensajes

```
process Emisor ;  
    var var_orig : integer := 100 ;  
begin  
    send( var_orig, Receptor ) ;  
    var_orig := 0 ;  
end
```

```
process Receptor ;  
    var var_dest : integer := 1 ;  
begin  
    receive( var_dest, Emisor ) ;  
    imprime( var_dest );  
end
```

- **Operación de envío-recepción segura:** Se garantiza que el valor de **var_orig** antes del envío coincidirá con el valor de **var_dest** tras la recepción.
- **Operaciones inseguras**
 - **Envío inseguro:** Es posible modificar el valor de **var_orig** entre SE y FL (podría enviarse un valor distinto del registrado en SE).
 - **Recepción insegura:** Es posible acceder a **var_dest** entre SR y FE.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Tipos de operaciones de paso de mensajes

Operaciones seguras

- **Devuelven el control cuando se garantiza la seguridad:** send no espera recepción, receive sí espera.
- **Dos mecanismos:**
 - Envío y recepción síncronos.
 - Envío asíncrono seguro.

Operaciones inseguras

- **Devuelven el control inmediatamente** tras la solicitud de envío o recepción, sin garantizar seguridad.
- **Programador debe asegurar** que no se alteran las variables mientras mensaje en tránsito.
- Existen **sentencias adicionales** para comprobar el estado operación.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Operaciones síncronas. Comportamiento

```
s_send ( variable_origen , ident_proceso_receptor ) ;
```

- Espera a que los datos se hayan leído en emisor y se produzca emparejamiento con receive en receptor.
- **No termina antes de FL y EM.** Posteriormente, se transferirán los datos.

```
receive( variable_destino , ident_proceso_emisor ) ;
```

- Espera hasta que emisor emita mensaje hacia receptor y que terminen de escribirse los datos en variable de destino.
- No termina antes de que ocurra FE.

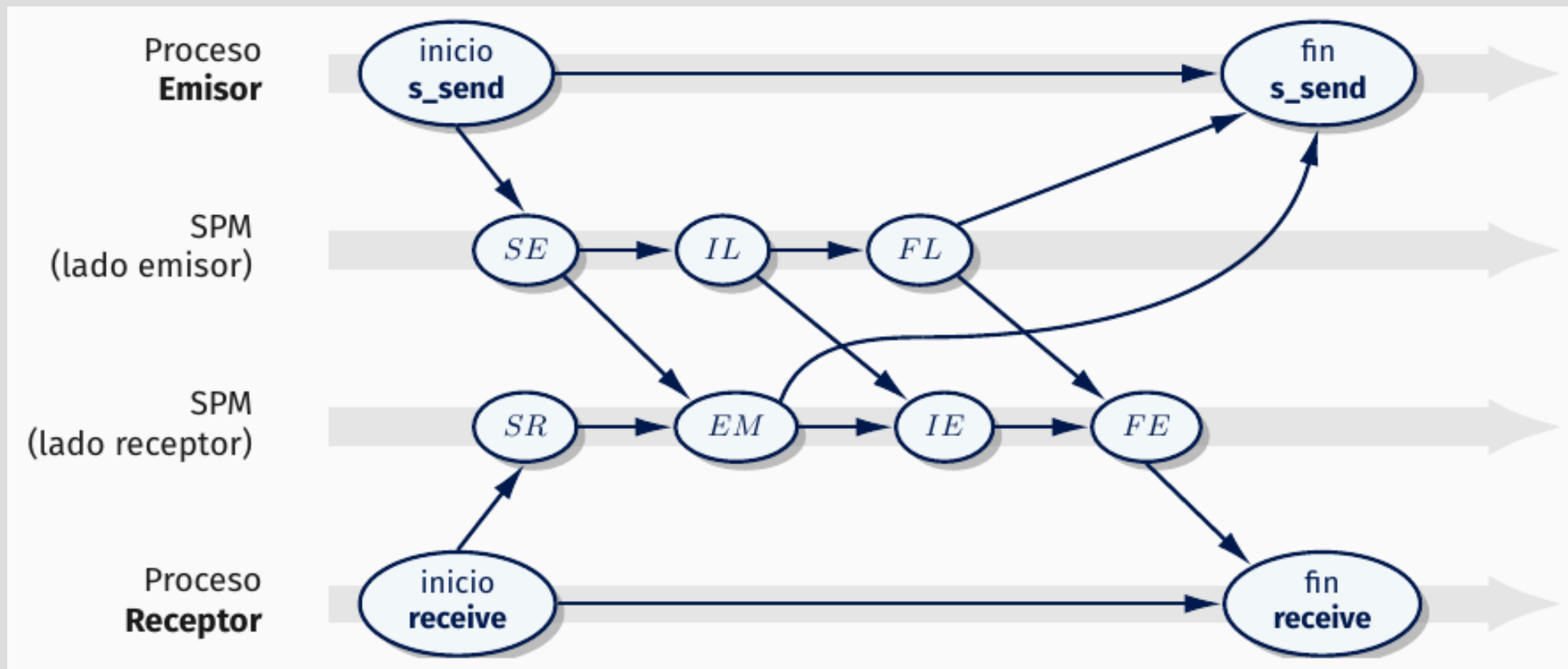
Sincronización entre emisor y receptor:

- Fin receive ocurre después inicio s_send.
- Fin s_send ocurre después inicio receive.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Operaciones síncronas. Grafo de dependencia

Uso de s_send en conjunción con receive

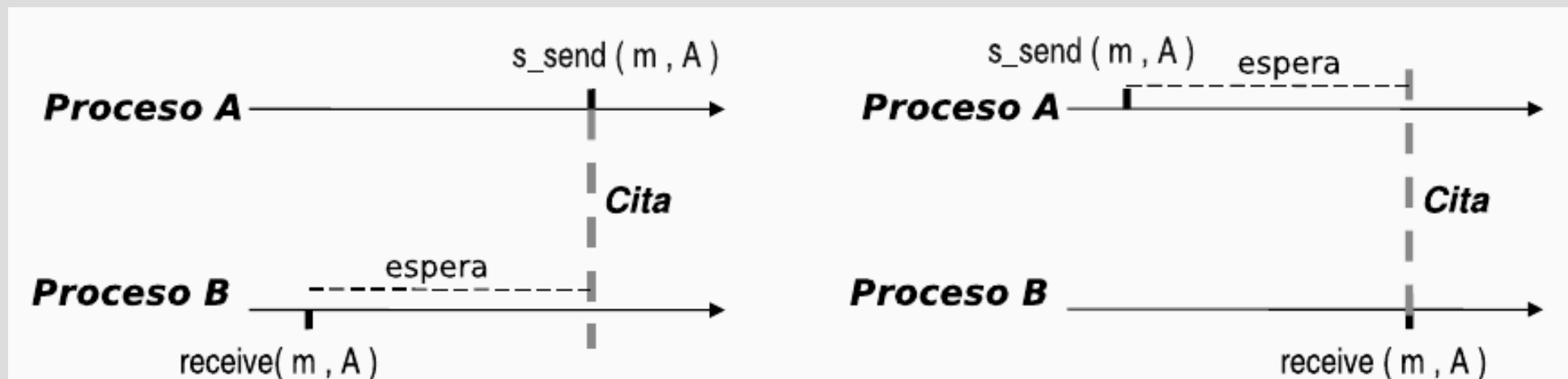


3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Operaciones síncronas. Cita

Cuando se usa `s_send` en conjunción con `receive`:

- Transferencia de mensaje constituye un **punto de sincronización** entre emisor y receptor.
- Emisor podrá hacer aserciones acerca del estado del receptor.
- **Análogo:** comunicación telefónica y chat.



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Operaciones síncronas. Desventajas

- **Fácil de implementar pero poco flexible.**
- **Sobrecarga por espera ociosa:** adecuado sólo cuando send/receive se inician aprox. mismo tiempo.
- **Interbloqueo:** es necesario alternar llamadas en intercambios (código menos legible).

Ejemplo de Interbloqueo

```
{ Proceso P1 }
```

```
s_send( enviado1, P2 );
```

```
receive( recibido1, P2 );
```

```
{ Proceso P2 }
```

```
s_send( enviado2, P1 );
```

```
receive( recibido2, P1 );
```

Corrección

```
{ Proceso P1 }
```

```
s_send( enviado1, P2 );
```

```
receive( recibido1, P2 );
```

```
{ Proceso P2 }
```

```
receive( recibido2, P1 );
```

```
s_send( enviado2, P1 );
```


3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

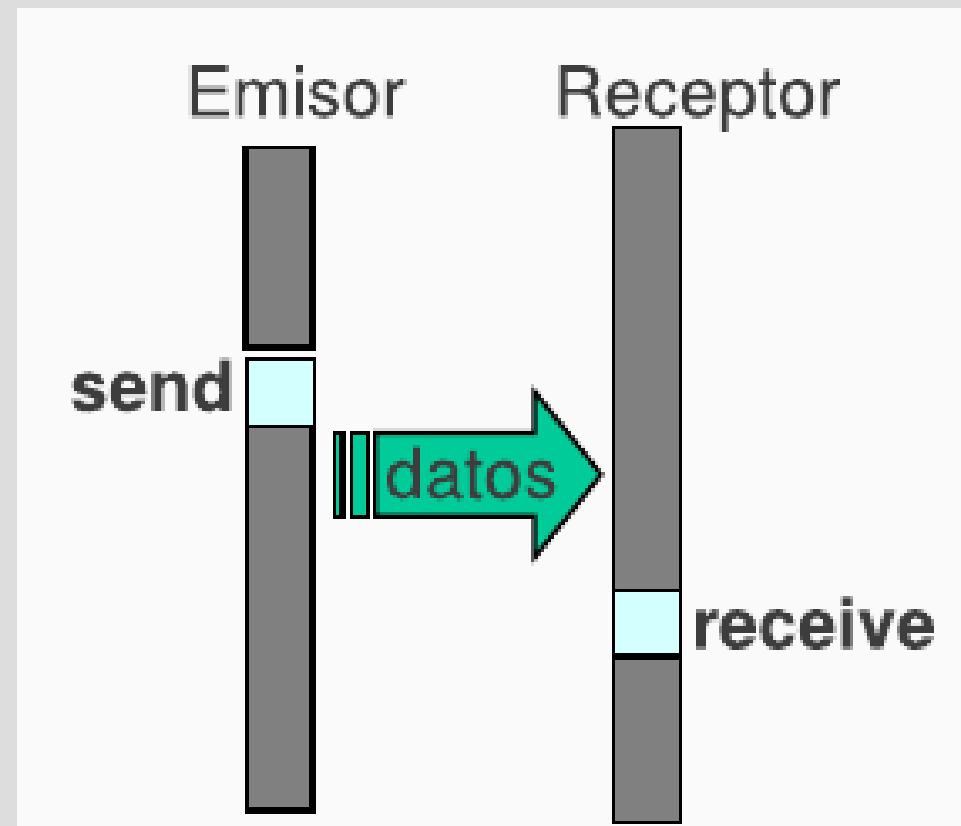
Envío asíncrono seguro

```
send ( variable_origen , ident_proceso_receptor ) ;
```

- Inicia envío datos y espera bloqueado hasta que se copien datos a lugar seguro. Tras copiar datos, devuelve control.
- Devuelve control después de FL.
- Se suele usar **junto con receive**.

Sincronización Emisor-Receptor:

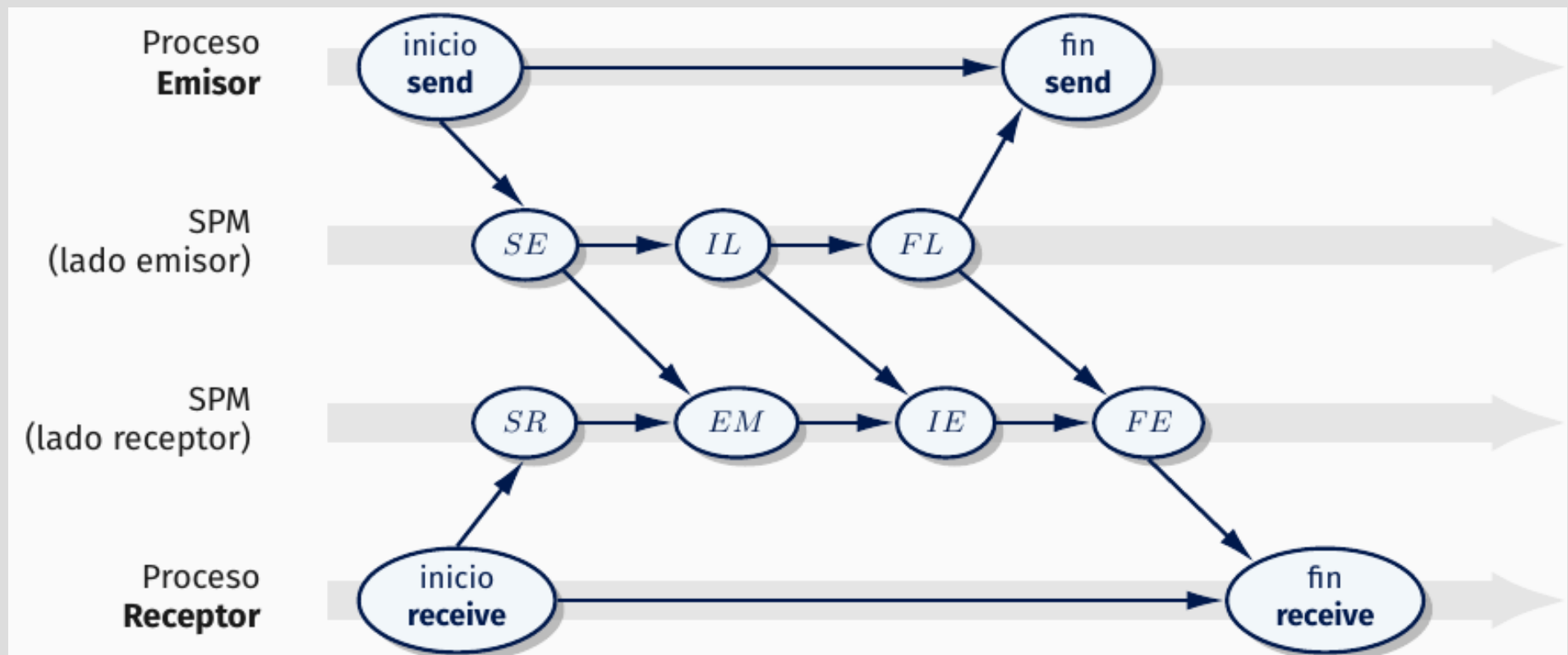
- Fin send no depende actividad receptor. Puede ocurrir antes, durante o después recepción.
- Fin de receive ocurre después inicio send.



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Envío asíncrono seguro. Grafo de dependencia

Uso de send en conjunción con receive



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Envío asíncrono seguro. Valoración

Ventaja:

- **Menores tiempos de espera** bloqueada que `s_send`.
- Generalmente más eficiente en tiempo y preferible cuando emisor no tiene que esperar la recepción.

Posible inconveniente:

- `send` **requiere memoria para almacenamiento temporal**, que podría crecer mucho.
- **SPM puede tener que retrasar IL** en emisor, cuando detecta que no hay memoria suficiente para copia y no se ha producido aún emparejamiento.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Envío asíncrono seguro. Memoria temporal creciente

```
Process Productor;  
  var var_orig : T ;  
begin  
  for i:= 1 to N do begin  
    var_orig := Produce() ;  
    send( var_orig, Consumidor ) ;  
  end  
end
```

```
Process Consumidor;  
  var var_dest : T ;  
begin  
  for i:= 1 to N do begin  
    receive( var_dest, Productor ) ;  
    Consume( var_dest );  
  end  
end
```

Si **Produce** tarda menos que **Consume**, y ocurre:

- Tamaño variable de tipo T es grande.
- Valor de N es grande.

Memoria para **almacenamiento temporal** puede agotarse \Rightarrow Comportamiento síncrono en send.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Situación de Interbloqueo con send/receive

```
process P1 ;  
  var a1, b1 : integer ;  
begin  
  a1 := .... ;  
  receive( b1, P1 );  
  send( a1, P1 );  
end
```

```
process P2 ;  
  var a2, b2 : integer ;  
begin  
  a2 := .... ;  
  receive( b2, P1 );  
  send( a2, P1 );  
end
```



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Operaciones inseguras

Operaciones Seguras: menos eficientes

- **en tiempo**, por esperas bloqueadas (s_send/receive).
- **en memoria**, por almacenamiento temporal (send/receive)

Alternativa: Operaciones de **inicio de envío o recepción**:

- Devuelven el control antes de que sea seguro modificar (en envío) o leer los datos (recepción).
- Deben existir **sentencias de chequeo de estado**: indican si los datos pueden alterarse o leerse sin comprometer seguridad.
- Iniciada la operación, el **usuario puede realizar cualquier cómputo que no dependa** de su finalización y, cuando sea necesario, chequeará su estado.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Paso asíncrono inseguro. Operaciones

```
i_send ( variable_origen , ident_proceso_receptor, var_resguardo ) ;
```

Indica al SPM que comience una operación de envío:

- Registra solicitud de envío (**SE**) y **acaba**.
- **No espera a FL.**
- **var_resguardo** permite consultar el estado después.

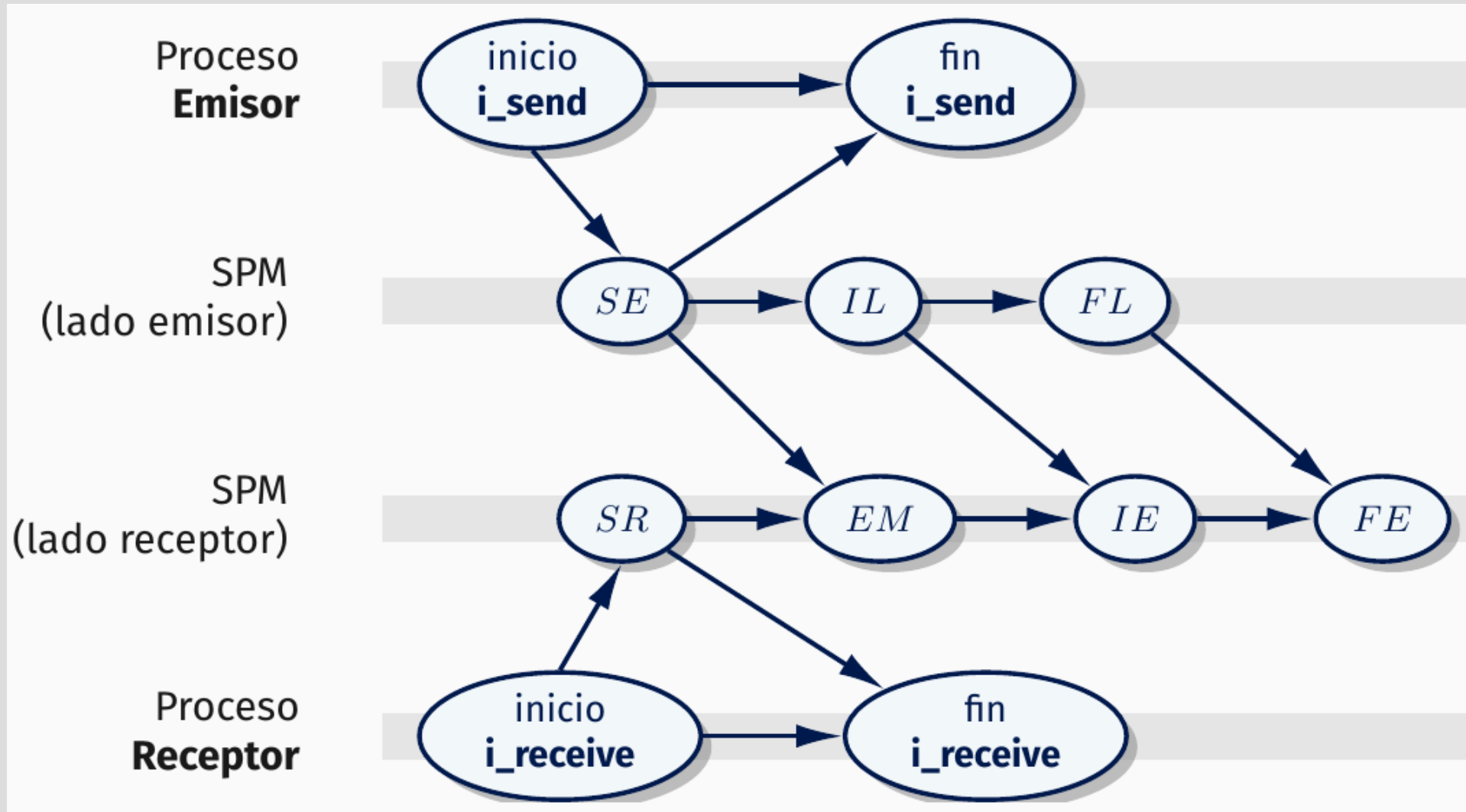
```
i_receive( variable_destino , ident_proceso_emisor, var_resguardo ) ;
```

Indica al SPM que se inicie una recepción:

- Se registra solicitud de recepción (**SR**) y **acaba**.
- **No espera a FE.**
- **var_resguardo** permite consultar el estado después.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Paso asíncrono inseguro. Grafo dependencia



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

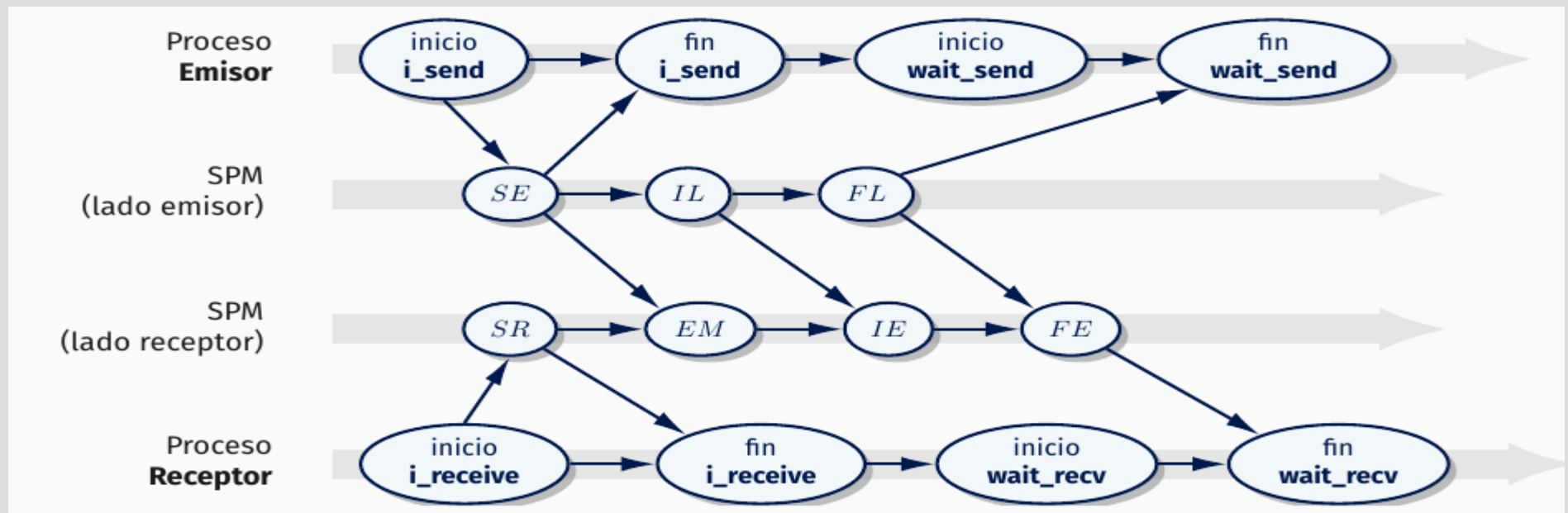
Esperando hasta seguridad en i_send/i_receive

wait_send (var_resguardo) ;

Bloquea emisor hasta que envío asociado a var_resguardo ha llegado a instante **FL** (es seguro volver a usar la variable origen).

wait_rcv (var_resguardo) ;

Bloquea receptor hasta recepción asociada a var_resguardo ha llegado a **FE** (se han recibido los datos).



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Operaciones asíncronas. Utilidad

Permiten a procs. emisor y receptor hacer trabajo útil concurrentemente con el envío o recepción.

- **Mejora:** el tiempo de espera ociosa se puede emplear en computación (se aprovechan mejor las CPUs disponibles)
- **Coste:** reestructuración programa, mayor esfuerzo del programador.

```
process Emisor ;  
  var a : integer := 100 ;  
begin  
  i_send( a, Receptor, resg );  
  { trabajo útil: no escribe en a }  
  trabajo_util_emisor();  
  wait_send( resg );  
  a := 0 ;  
end
```

```
process Receptor ;  
  var b : integer ;  
begin  
  i_receive( b, Emisor, resg );  
  { trabajo útil: no accede a b }  
  trabajo_util_receptor();  
  wait_recv( resg );  
  print( b );  
end
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Chequeando seguridad en i_send/i_receive

test_send (var_resguardo);

Función lógica que se invoca en emisor. Devuelve true si envío asociado a var_resguardo ha llegado a FL.

test_rcv (var_resguardo);

Función lógica que se invoca en receptor. Devuelve true si recepción asociada a var_resguardo ha llegado a FE.

Ejemplo: Trabajo útil puede descomponerse en trozos.

```
process Emisor ;
  var a : integer := 100 ;
begin
  i_send( a, Receptor, resg );
  while not test_send( resg ) do begin
    {trabajo útil: no escribe en a}
    trabajo_util_emisor();
  end
  a := 0 ;
end
```

```
process Receptor ;
  var b : integer ;
begin
  i_receive( b, Emisor, resg );
  while not test_rcv( resg ) do begin
    {trabajo útil: no accede a b}
    trabajo_util_receptor();
  end
  print( b );
end
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Recepción simultánea de varios emisores

Receptor comprueba continuamente si se ha recibido mensaje de uno cualquiera de 2 emisores, y espera (con espera ocupada) hasta que se ha recibido de ambos:

```
process Emisor1 ;  
  var a : integer := 100;  
begin  
  send( a, Receptor);  
end  
  
process Emisor2 ;  
  var b : integer := 200;  
begin  
  send( b, Receptor);  
end
```

```
process Receptor ;  
  var b1, b2 : integer ;  
      r1, r2 : boolean := false ;  
begin  
  i_receive( b1, Emisor1, resg1 );  
  i_receive( b2, Emisor2, resg2 );  
  while not r1 or not r2 do begin  
    if not r1 and test_rcv( resg1 ) then begin  
      r1 := true ;  
      print("recibido de 1 : ", b1 );  
    end  
    if not r2 and test_rcv( resg2 ) then begin  
      r2 := true ;  
      print("recibido de 2 : ", b2 );  
    end  
  end  
end  
end
```

Limitaciones con las primitivas vistas:

- **No es posible** hacer esto usando **espera bloqueada**.
- **Se debe seleccionar de qué emisor** queremos esperar **recibir primero** (puede no coincidir con el del primer mensaje que llegue).

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Espera selectiva

Espera selectiva: Operación que permite **espera bloqueada de múltiples emisores**. Se usan palabras clave **select** y **when**.

Implementación del ejemplo visto anteriormente con espera selectiva:

```
process Emisor1 ;  
  var a : integer := 100;  
begin  
  send( a, Receptor);  
end
```

```
process Emisor2 ;  
  var b : integer := 200;  
begin  
  send( b, Receptor);  
end
```

```
process Receptor ;  
  var b1, b2 : integer ;  
      r1, r2 : boolean := false ;  
begin  
  while not r1 or not r2 do begin  
  
    select  
      when receive( b1, Emisor1 ) do  
        r1 := true ;  
        print("recibido de 1 : ", b1 );  
      when receive( b2, Emisor2 ) do  
        r2 := true ;  
        print("recibido de 2 : ", b2 );  
      end  
  
    end { while }  
  end { process }
```


3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Productor-Consumidor Distribuido

Solución ingenua:

```
process Productor ;  
begin  
  while true do begin  
    v := Produce();  
    s_send( v, Consumidor );  
  end  
end
```

```
process Consumidor ;  
begin  
  while true do begin  
    receive( v, Productor );  
    Consume(v);  
  end  
end
```



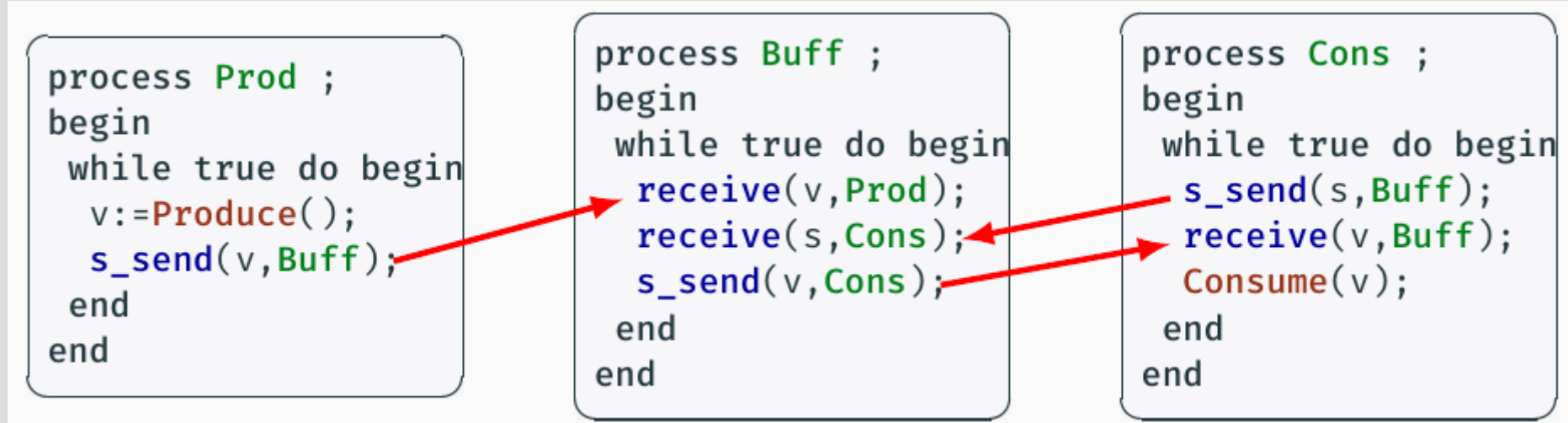
Produce y Consume pueden tardar tiempos distintos:

- Si usáramos send, el SPM \Rightarrow memoria para almacenamiento temporal cuya cantidad podría crecer, quizás indefinidamente.
- **Problema:** Al usar s_send se pueden introducir esperas largas (bajo aprovechamiento de las CPUs disponibles).

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Productor-Consumidor con Proceso Intermedio

Para intentar reducir las esperas, usamos un proceso intermedio (Buff) que acepte peticiones del productor y el consumidor



Problema: Proceso intermedio se bloquea por turnos para esperar bien a emisor, bien a receptor, pero nunca a ambos simultáneamente. **Persisten esperas excesivas.**

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Espera selectiva y buffer FIFO intermedio

Solución: usamos **espera selectiva** en proceso intermedio que puede esperar a ambos procesos a la vez.

- Para reducir esperas, usamos array de datos pendientes lectura (FIFO):

```
process Prod ;
var v:integer;
begin
  while true do
  begin
    v:=Produce();
    s_send(v, Buff);
  end
end
```

```
process Buff ;
var esc, lec, cont : integer := 0 ;
buf : array[0..tam-1] of integer ;
begin
  while true do
  select
    when cont < tam receive(v, Prod) do
      buf[esc] := v ;
      esc := (esc+1) mod tam ;
      cont := cont+1 ;
    when 0 < cont receive(s, Cons) do
      s_send(buf[lec], Cons);
      lec := (lec+1) mod tam ;
      cont := cont-1 ;
  end
end
```

```
process Cons ;
var v:integer;
begin
  while true do
  begin
    s_send(s, Buff);
    receive(v, Buff);
    Consume(v);
  end
end
```

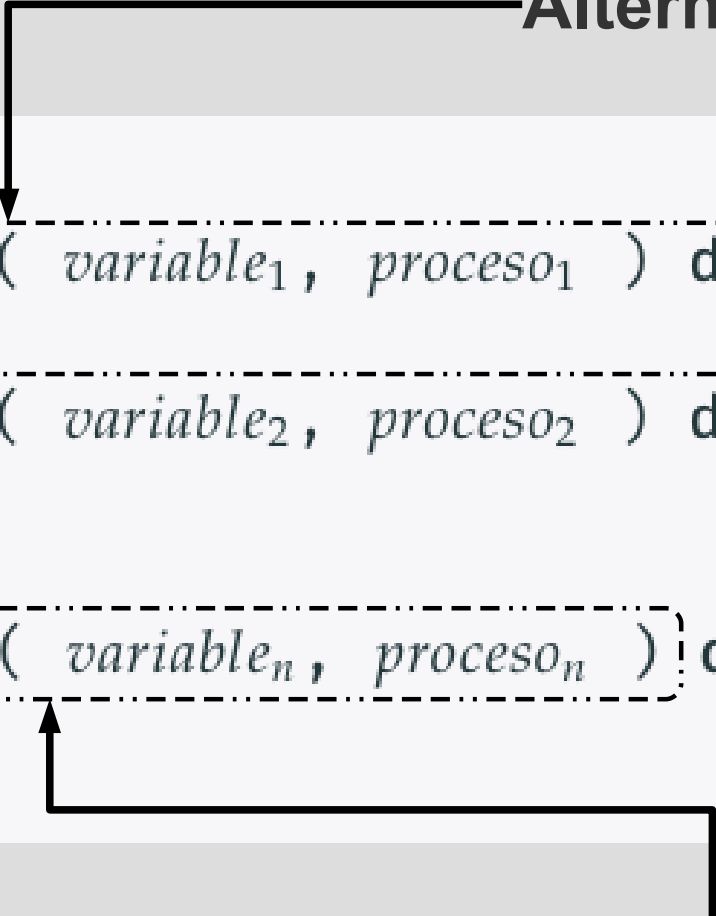

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Espera selectiva. Sintaxis

Alternativa

```
select
  when condicion1 receive( variable1, proceso1 ) do
    sentencias1
  when condicion2 receive( variable2, proceso2 ) do
    sentencias2
  ...
  when [condicionn receive( variablen, proceson )] do
    sentenciasn
end
```

Guarda



3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Sintaxis de las guardas. Guardas simplificadas

- La **expresión lógica** de una guarda **puede omitirse**:

```
when receive( mensaje, proceso ) do  
    sentencias
```

=

```
when true receive( mensaje, proceso ) do  
    sentencias
```

- **Guarda sin sentencia de Entrada:** La sentencia **receive** también puede omitirse.

```
when condicion do  
    sentencias
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Guardas ejecutables. Evaluación de las guardas

Guarda Ejecutable en proceso P cuando:

- Condición se evalúa a **true**.
- Si tiene receive, el emisor ya ha **iniciado send** hacia P, que casa con receive.

Guarda Potencialmente Ejecutable cuando:

- Condición se evalúa a **true**.
- Tiene **Receive** y nombra emisor que **no ha iniciado send** hacia P.

Guarda NO ejecutable: condición a false.

```
process Prod ;  
var v:integer;  
begin  
  while true do  
    begin  
      v:=Produce();  
      s_send(v, Buff);  
    end  
  end  
end
```

```
process Buff ;  
var esc, lec, cont : integer := 0 ;  
buf : array[0..tam-1] of integer ;  
begin  
  while true do  
    select  
      when cont < tam receive(v, Prod) do  
        buf[esc] := v ;  
        esc := (esc+1) mod tam ;  
        cont := cont+1 ;
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Ejecución select. Selección alternativa

Se **selecciona una alternativa** entre aquellas con condición true:

- **Hay guardas ejecutables con sentencia de entrada:** se selecciona aquella cuyo send se inició antes (esto garantiza a veces la equidad).
- **Solo guardas ejecutables, pero sin sentencia de entrada:** selecciona aleatoriamente una cualquiera.
- **Sin guardas ejecutables, pero sí potencialmente ejecutables:** se espera (bloqueado) a que alguno de los procesos nombrados en esas guardas inicie send, en ese momento acaba la espera y selecciona la guarda con ese receive.

Sin guardas viables: no selecciona ninguna guarda.

```
process Buff ;
var esc, lec, cont : integer := 0 ;
buf : array[0..tam-1] of integer ;
begin
  while true do
    select
      → when cont < tam receive(v, Prod) do
        buf[esc] := v ;
        esc := (esc+1) mod tam ;
        cont := cont+1 ;
      when 0 < cont receive(s, Cons) do →
        s_send(buf[lec], Cons); →
        lec := (lec+1) mod tam ;
        cont := cont-1 ;
    end
  end
end
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Ejecución Select: Ejecución alternativa

- Si **no se ha podido seleccionar guarda**, finaliza ejecución select (no hay guardas viables).
- Si **se ha podido**, 2 pasos en secuencia:
 - 1) Si **guarda con sentencia entrada**, se ejecuta receive (habrá send iniciado), y se recibe mensaje.
 - 2) Se **ejecuta sentencia asociada** alternativa y finaliza select.

Select conlleva potencialmente **esperas**
⇒ Riesgo esperas indefinidas (interbloqueo).

```
process Buff ;  
var esc, lec, cont : integer := 0 ;  
buf : array[0..tam-1] of integer ;  
begin  
  while true do  
    select  
      → when cont < tam receive(v, Prod) do  
        buf[esc] := v ;  
        esc := (esc+1) mod tam ;  
        cont := cont+1 ;  
      when 0 < cont receive(s, Cons) do →  
        s_send(buf[lec], Cons); →  
        lec := (lec+1) mod tam ;  
        cont := cont-1 ;  
    end  
  end  
end
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Select con guardas indexadas

```
for indice := inicial to final
  when condicion receive( mensaje, proceso ) do
    sentencias
```

Todos los componentes (**condicion**, **mensaje**, **proceso**, **sentencias**) pueden contener referencias a la variable índice.

Equivale a:

```
when condicion receive( mensaje, proceso ) do
  sentencias { se sustituye indice por inicial }
when condicion receive( mensaje, proceso ) do
  sentencias { se sustituye indice por inicial + 1 }
...
when condicion receive( mensaje, proceso ) do
  sentencias { se sustituye indice por final }
```

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Ejemplos de Select con guardas indexadas

```
for i := 0 to n-1  
  when suma[i] < 1000 receive( numero, fuente[i] ) do  
    suma[i] := suma[i] + numero ;
```

||

```
when suma[0] < 1000 receive( numero, fuente[0] ) do  
  suma[0] := suma[0] + numero ;  
when suma[1] < 1000 receive( numero, fuente[1] ) do  
  suma[1] := suma[1] + numero ;  
...  
when suma[n-1] < 1000 receive( numero, fuente[n-1] ) do  
  suma[n-1] := suma[n-1] + numero ;
```

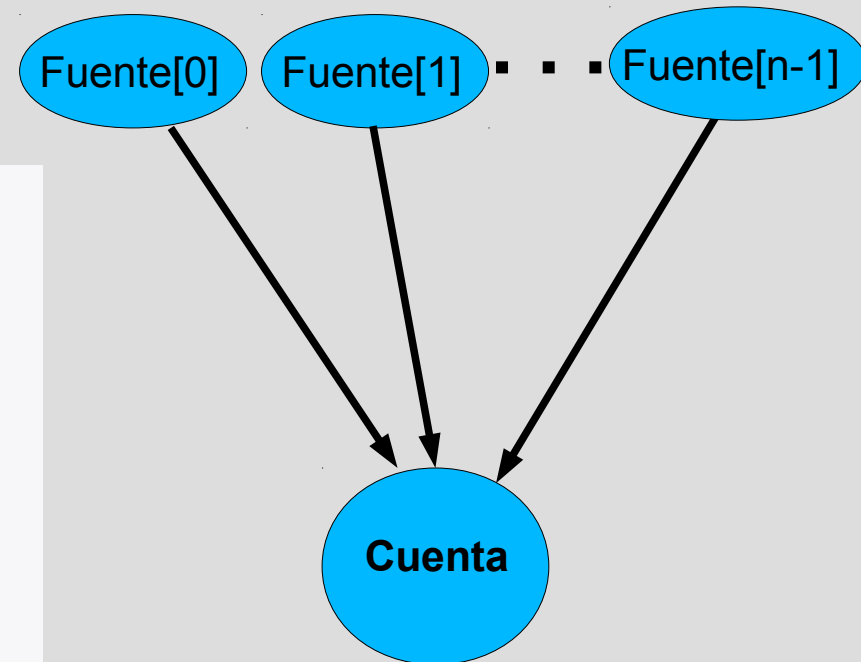
En un select se pueden combinar una o varias alternativas indexadas con alternativas normales no indexadas.

3.1. Mecanismos básicos en sistemas basados en paso de mensajes

Ejemplo de Select

Suma los primeros números de cada proceso Fuente hasta llegar a 1000:

```
process Fuente[ i : 0..n-1 ] ;  
  var numero : integer ;  
begin  
  while true do begin  
    numero := .... ; s_send( numero, Cuenta ) ;  
  end  
end  
process Cuenta ;  
var suma      : array[0..n-1] of integer := (0,0,...,0) ;  
  continuar : boolean := true ;  
  numero    : integer ;  
begin  
  while continuar do begin  
    continuar := false ; { terminar cuando  $\forall i \text{ suma}[i] \geq 1000$  }  
    select  
      for i := 0 to n-1  
        when suma[i] < 1000 receive( numero, Fuente[i] ) do  
          suma[i] := suma[i]+numero ; { sumar }  
          continuar := true ; { iterar de nuevo }  
        end  
      end  
    end  
  end  
end
```



3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

- 1. Introducción**
- 2. Maestro-Esclavo**
- 3. Iteración síncrona**
- 4. Encauzamiento (pipelining)**

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Introducción

Paradigma de interacción

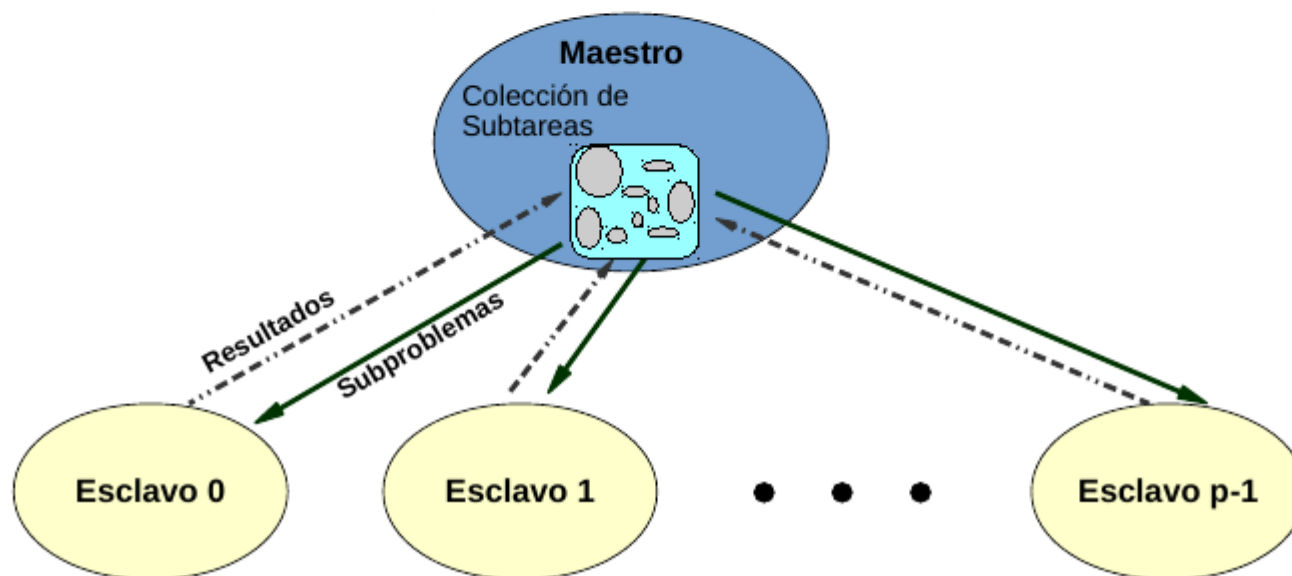
Un **paradigma** de interacción define un esquema de interacción entre procesos y una estructura de control que aparece en múltiples programas.

- ▶ **Se utilizan repetidamente** para desarrollar muchos programas distribuidos.
- ▶ Veremos los siguientes paradigmas de interacción:
 - 1 **Maestro-Esclavo.**
 - 2 **Iteración síncrona.**
 - 3 **Segmentación (pipelining).**
- ▶ Se usan principalmente en **programación paralela.**

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Maestro-Esclavo

- ▶ Intervienen dos tipos de procesos:
 - ▶ **Proceso maestro:** Descompone el problema en subtareas, las distribuye entre los esclavos y va recibiendo resultados parciales, hasta producir el resultado final.
 - ▶ **Procesos esclavos:** ejecutan iterativamente hasta que el maestro informa del final: (1) **Recibir mensaje** con tarea, (2) **Procesar** tarea (3) **enviar** resultado a Maestro.



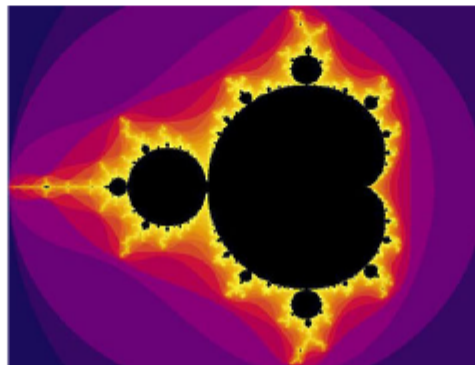
3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Ejemplo: Cálculo del Conjunto de Mandelbrot (1/3)

- ▶ **Conjunto de Mandelbrot:** *Conjunto de puntos c del plano complejo (dentro de un círculo de radio 2 centrado en el origen) que no excederán cierto límite cuando se calculan realizando la iteración ($z_0 = 0$):*

Repetir $z_{k+1} := z_k^2 + c$ hasta $\|z\| > 2$ o $k > \text{límite}$

- ▶ **Color pixel c** depende del número de iteraciones (k) requeridas.
- ▶ **Conjunto solución** = {pixels que agotan iteraciones límite dentro de un círculo de radio 2 centrado en el origen}.



3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Ejemplo: Cálculo del Conjunto de Mandelbrot (2/3)

Paralelización sencilla: Cada pixel se puede calcular sin ninguna información del resto

- ▶ **Primera aproximación:** asignar un número de pixels fijo a cada proceso esclavo y recibir resultados.
 - ▶ **Problema:** ¡Algunos esclavos tendrían más trabajo que otros! (número de iteraciones por pixel variable).
- ▶ **Segunda aproximación:**
 - ▶ Maestro tiene una **colección de filas de pixels**.
 - ▶ Cuando esclavos están ociosos esperan recibir una fila.
 - ▶ Cuando no quedan más filas, Maestro espera la finalización de todos los esclavos e informa del final.
- ▶ Veremos una **Solución con envío asíncrono seguro y recepción síncrona**.

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Ejemplo: Cálculo del Conjunto de Mandelbrot (3/3)

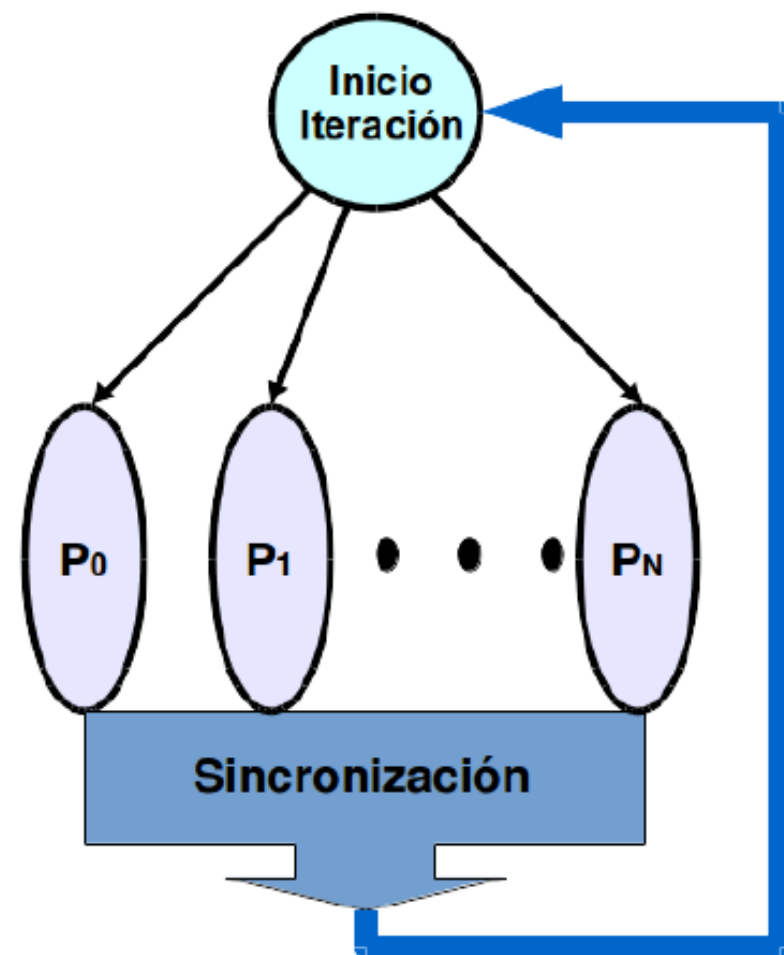
```
process Maestro ;
begin
  for i := 0 to num_esclavos-1 do send( fila, Esclavo[i] );
  while queden filas sin colorear do
    select
      for j := 0 to  $n_e - 1$  when receive( colores, Esclavo[j] ) do
        if quedan filas en la bolsa
          then send( fila, Esclavo[j] )
          else send( fin, Esclavo[j] );
        visualiza(colores);
      end
    end
  end
end
```

```
process Esclavo[ i : 0..num_esclavos-1 ] ;
begin
  receive( mensaje, Maestro );
  while mensaje != fin do begin
    colores := calcula_colores(mensaje.fila) ;
    send (colores, Maestro );
    receive( mensaje, Maestro );
  end
end
```

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Iteración síncrona

- ▶ **Iteración:** Un cálculo se repite y cada vez se obtiene un resultado que se utiliza en el siguiente cálculo.
- ▶ A menudo, los cálculos de cada iteración se pueden realizar de forma concurrente.
- ▶ **Paradigma de iteración síncrona:**
 - ▶ Diversos procesos comienzan juntos en el inicio de cada iteración.
 - ▶ **Sincronización:** Siguiendo iteración no puede comenzar hasta que todos hayan acabado la anterior.
 - ▶ Procesos suelen intercambiar información en cada iteración.



3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Transformación iterativa de un vector (1/3)

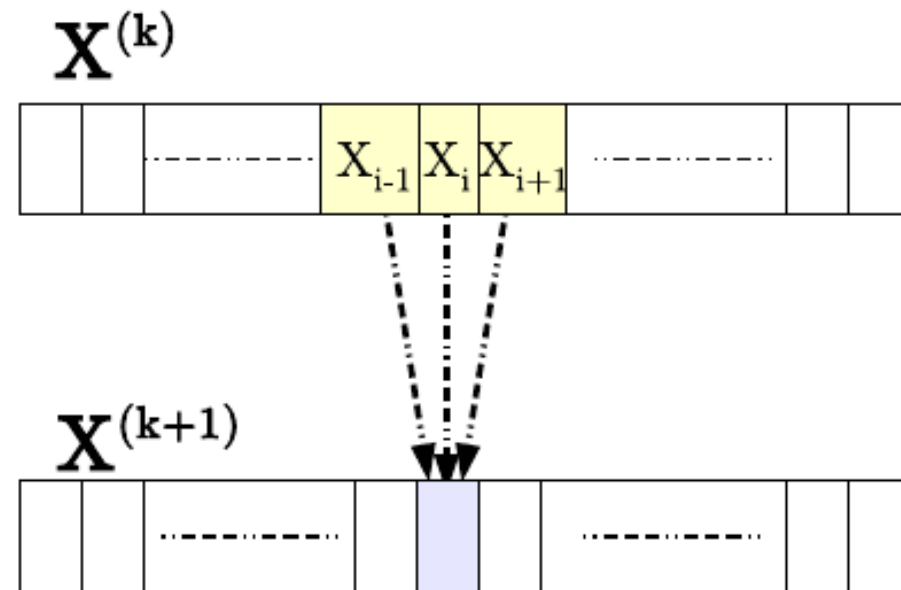
Supongamos que debemos realizar m iteraciones de un cálculo que transforma un vector x de n reales:

$$x_i^{(k+1)} = \frac{x_{i-1}^{(k)} - x_i^{(k)} + x_{i+1}^{(k)}}{2},$$

$$i = 0, \dots, n-1,$$

$$k = 0, 1, \dots, M,$$

$$x_{-1}^{(k)} = x_{n-1}^{(k)}, \quad x_n^{(k)} = x_0^{(k)}.$$

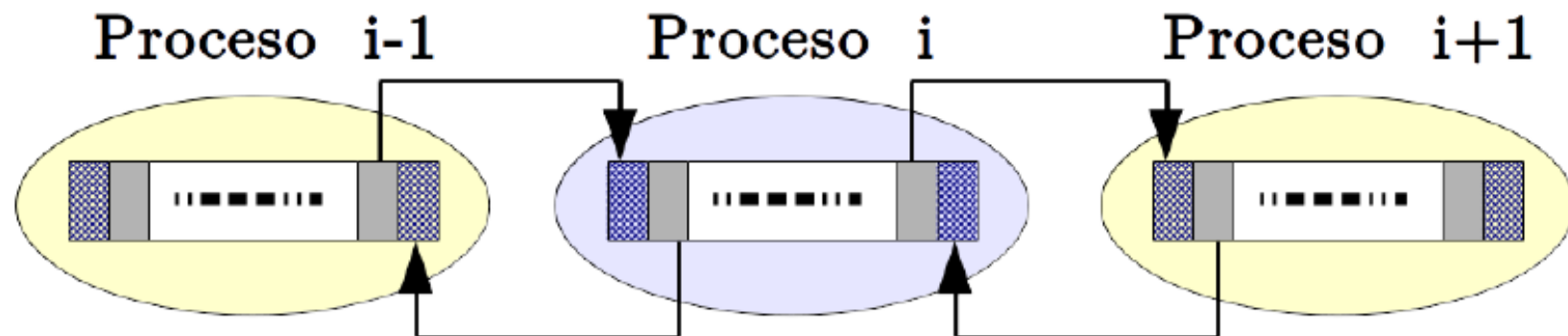


Veremos una solución distribuida que usa **envío asíncrono seguro y recepción síncrona**.

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Transformación iterativa de un vector (2/3)

Patrón de comunicación:



- ▶ Se lanzan p procesos concurrentes.
- ▶ Vector repartido por **bloques de n/p elementos consecutivos** entre los p procesos.
- ▶ Cada proceso guarda su bloque en un vector local (**bloque**) con $n/p + 2$ entradas (dos adicionales).
- ▶ **Primera y última entrada del vector:** almacenan elementos recibidos de otros procesos.

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

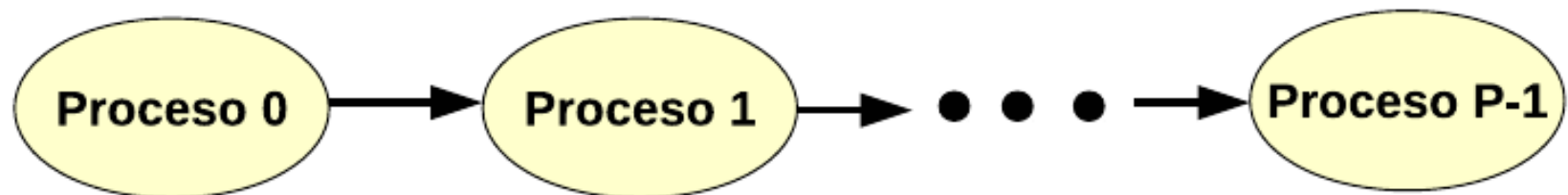
Transformación iterativa de un vector (3/3)

```
process Tarea[ i : 0..p-1 ] ;  
  var bloque : array[0..n/p+1] of float ; { bloque local con dos celdas extra}  
  float izquierda;  
begin  
  for k := 0 to M do begin { bucle que ejecuta las iteraciones }  
    { comunicación de valores extremos con los vecinos }  
    send( bloque[1]      ,Tarea[i-1 mod p] );  
    send( bloque[n/p],Tarea[i+1 mod p] );  
    receive( bloque[0], Tarea[i-1 mod p] );  
    receive( bloque[n/p+1], Tarea[i+1 mod p] );  
    {Actualizar todas las entradas}  
    for j := 1 to n/p do begin  
      izquierda=bloque[j-1];  
      bloque[j] := ( izquierda - bloque[j] + bloque[j+1] )/2;  
    end  
  end  
end  
end
```

3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Segmentación (pipelining)

- ▶ Problema se divide en una serie de tareas que **se han de completar en secuencia**.
- ▶ Cada tarea se ejecuta por un proceso separado.
- ▶ Los **procesos se organizan en un cauce** (pipeline) donde cada proceso se corresponde con una *etapa* del cauce y es responsable de una tarea particular.
- ▶ Cada etapa del cauce devuelve información necesaria para etapas posteriores.
- ▶ **Aplicación:** Procesamiento en cadena de gran número de items de datos.

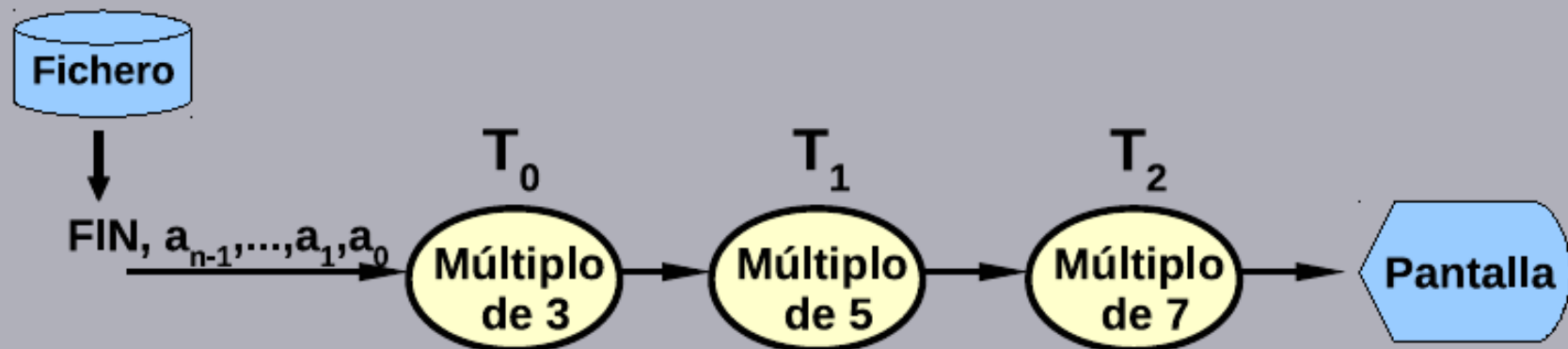


3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Segmentación: Ejemplo (1/2)

Cauce paralelo para filtrar una lista de enteros

- ▶ Dada una serie de m primos p_0, p_1, \dots, p_{m-1} y una lista de n enteros, $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}$, encontrar aquellos números de la lista que son múltiplos de todos los m primos ($n \gg m$)
- ▶ El proceso **Etap** $[i]$ (con $i = 0, \dots, m - 1$) mantiene el primo p_i y chequea multiplicidad con p_i .
- ▶ Veremos una solución que usa operaciones síncronas.



3.2. Paradigmas de interacción de procesos en programas distribuidos

Segmentación: Ejemplo (2/2)

```
process Etapa[ i : 0.. $m-1$  ] ;  
    var izquierda : integer := 0 ;  
        { vector (replicado) con la lista de primos }  
    primos : array[0.. $m-1$ ] of float := {  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_{m-1}$  } ;  
begin  
    while izquierda >= 0 do begin  
        if i == 0 then  
            leer( izquierda ); { obtiene siguiente entero }  
        else  
            receive( izquierda, Etapa[i-1]);  
        if izquierda mod primos[i] == 0 then begin  
            if i !=  $m-1$  then  
                s_send ( izquierda, Etapa[i+1]);  
            else  
                imprime( izquierda );  
            end  
        end  
    end  
end
```

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

- 1. Introducción**
- 2. El paradigma Cliente-Servidor**
- 3. Llamada a Procedimiento (RPC)**
- 4. Java Remote Method Invocation (RMI)**
- 5. Servicios Web**

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Introducción

Los **mecanismos vistos** hasta ahora (envío/recepción, espera selectiva, ...) presentan un **bajo nivel de abstracción**.

Veremos **mecanismos de mayor nivel de abstracción**:

- **Llamada a procedimiento remoto (RPC)**
- **Invocación remota de métodos (RMI)**

Están basados en el **método habitual** por el cual un proceso hace una **llamada a procedimiento**, como sigue:

- 1) Indica el nombre procedimiento y valores de parámetros.
- 2) **Proceso ejecuta código del procedimiento.**
- 3) Cuando procedimiento termina, proceso obtiene resultados y continúa tras la llamada.

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

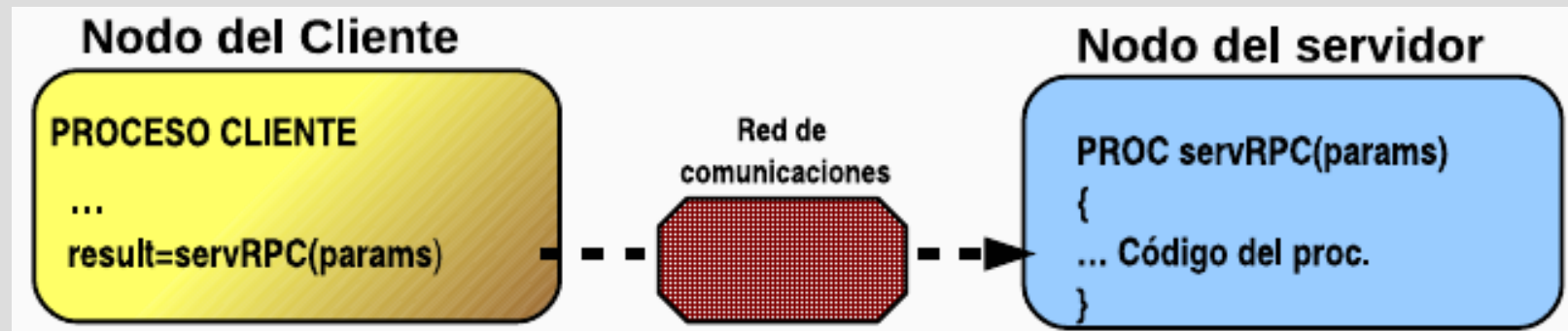
Llamada a procedimiento remoto

En el **modelo de llamada a procedimiento remoto (RPC)**, es otro proceso (proceso llamado) el que ejecuta el código del procedimiento:

- 1) Llamador indica nombre de procedimiento y valores de parámetros.
- 2) Llamador queda bloqueado. **Proceso llamado ejecuta código procedim.**
- 3) Cuando procedimiento termina, llamador obtiene resultados y continúa.

Características RPC:

- **Flujo de comunicación bidireccional** (petición-respuesta).
- Varios procesos podrían invocar procedimiento gestionado por otro proceso (**esquema muchos a uno**).



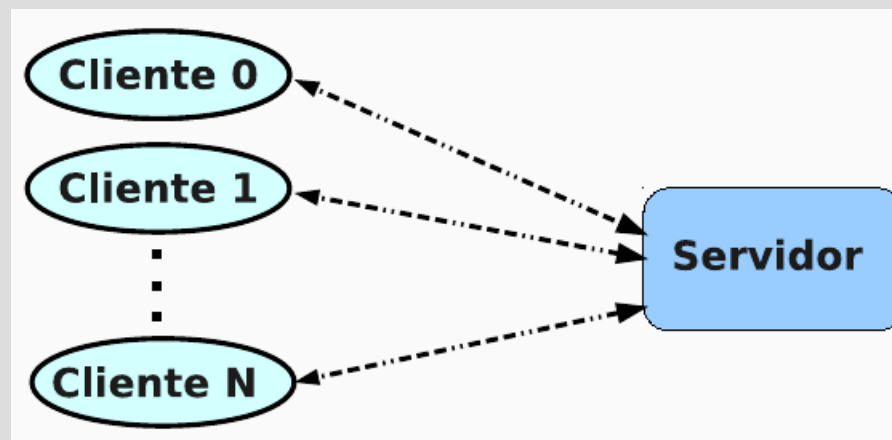
3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

El paradigma Cliente-Servidor (1/3)

Paradigma más frecuente en programación distribuida.

Relación asimétrica entre 2 procesos: **cliente y servidor**.

- **Proceso servidor**: gestiona recurso (p.e. base de datos) y ofrece servicio a otros procesos (clientes) para que puedan acceder al recurso. Puede estar ejecutándose continuamente, pero no hace nada útil mientras espera peticiones de clientes.
- **Proceso cliente**: envía un mensaje de petición al servidor solicitando un servicio proporcionado por el servidor (p.e. una consulta en base de datos).



3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

El paradigma Cliente-Servidor (2/3)

Implementación de la interacción **cliente-servidor usando los mecanismos vistos**. Servidor con select que acepta peticiones de cada cliente:

```
process Cliente[ i : 0..n-1 ] ;
begin
  while true do begin
    s_send( peticion, Servidor );
    receive( respuesta, Servidor );
  end
end

process Servidor ;
begin
  while true do
    select
      for i:= 0 to n-1
        when condicion[i] receive( peticion, Cliente[i] ) do
          respuesta := servicio( peticion );
          s_send( respuesta, Cliente[i] ),
        end
      end
    end
  end
```

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

El paradigma Cliente-Servidor (3/3)

Problemas de seguridad:

- Si **servidor falla**, cliente queda esperando respuesta que nunca llegará.
- Si un **cliente no invoca receive** (respuesta, Servidor) y el servidor realiza envío síncrono, servidor quedará bloqueado.

Solución: (recepción petición, envío respuesta) debe considerarse como **única operación de comunicac. bidireccional** en servidor (no 2 separadas).

El mecanismo de **RPC proporciona solución** en esta línea.

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Introducción a RPC

Llamada a procedimiento remoto (Remote Procedure Call)

- Mecanismo de comunicación entre procesos que sigue el esquema **cliente-servidor** y permite realizar **comunicaciones como llamadas a procedimientos** convencionales (locales).

Diferencia ppal respecto llamada local:

- Programa que invoca el procedimiento (cliente) y el procedimiento invocado (corre en proceso servidor) pueden pertenecer a **máquinas diferentes del sistema distribuido**.

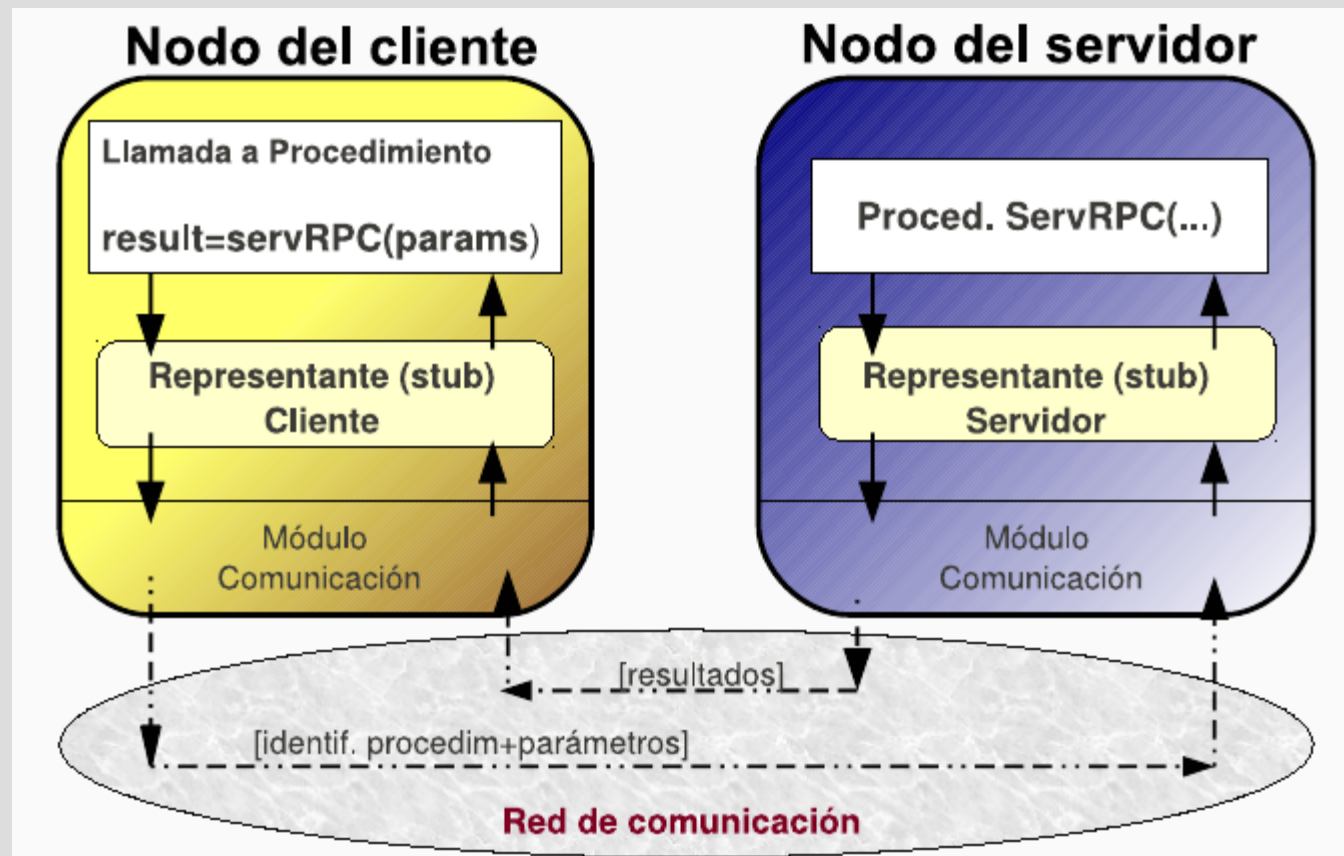


3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Esquema de interacción en RPC

Representante o delegado (stub): procedimiento local que **gestiona la comunicación** en el lado del cliente o del servidor.

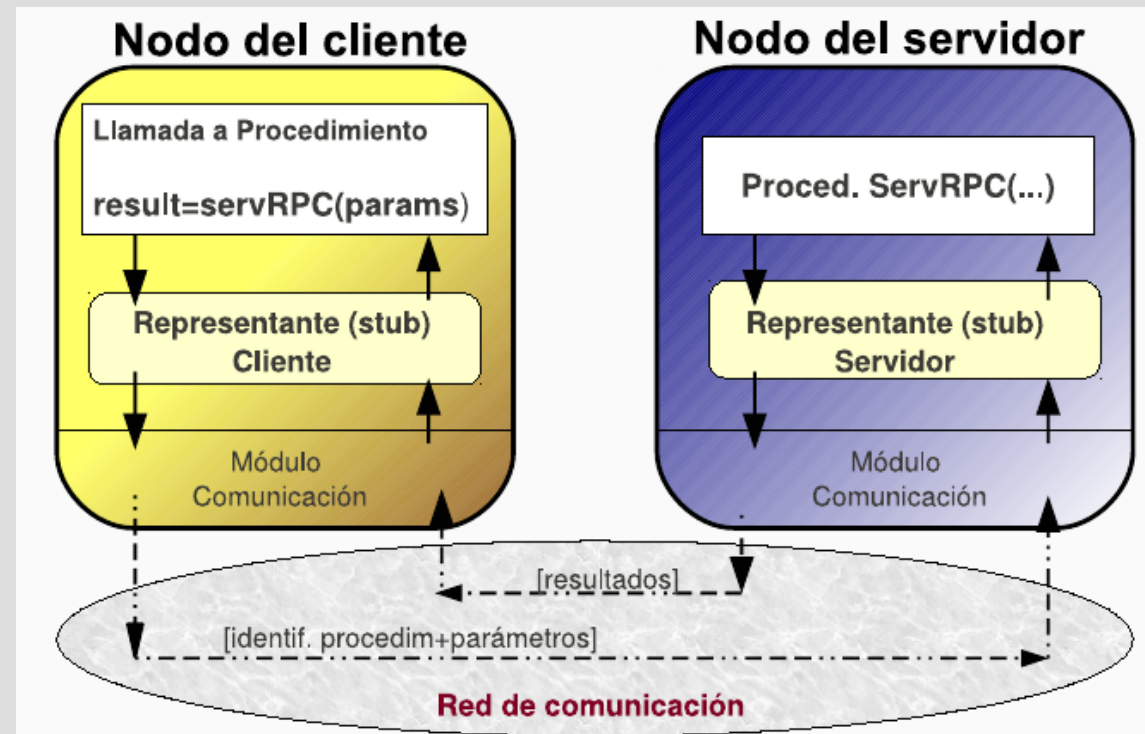
- Procesos **cliente y servidor** no se comunican directamente, sino **a través de representantes**.



3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

LLamada RPC (1): inicio en cliente y envío parámetros

1. En nodo cliente se **invoca procedimiento** remoto como si fuera local. Esta llamada se traduce a una llamada al representante del cliente.
2. **Marshalling o Serialización**: Representante cliente empaqueta datos llamada (nombre procedim. y parámetros) usando un determinado formato para formar el cuerpo del mensaje a enviar (p.e. el protocolo XDR, eXternal Data Representation).
3. **Representante cliente envía mensaje con petición al nodo servidor** usando módulo de comunicación sistema operativo.
4. Programa **cliente queda bloqueado** esperando respuesta.



3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

LLamada RPC (2): Ejec. en servidor y envío resultados

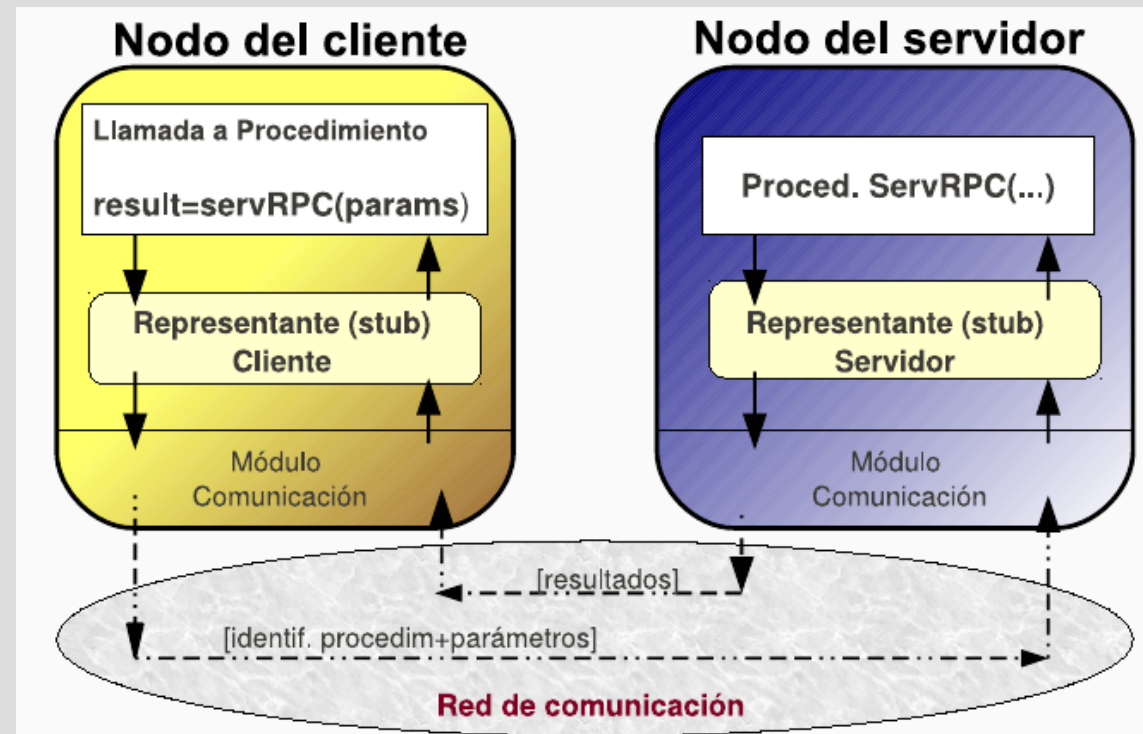
5. sistema operativo servidor desbloquea proceso servidor para que se haga cargo de la petición y **mensaje es pasado al representante servidor**.

6. **Representante servidor desempaqueta datos mensaje** (unmarshalling) (identificación procedimiento + parámetros) y **ejecuta llamada al procedim, local** usando parámetros obtenidos.

7. Finalizada la llamada, **Representante servidor empaqueta resultados** en un mensaje y lo **envía al cliente**.

8. Sistema operativo cliente desbloquea proceso invocador para recibir **resultado**, que es pasado **a Representante cliente**.

9. Representante cliente desempaqueta mensaje y pasa **resultados al invocador**.



3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Representación de datos y Paso de parámetros

Representación de los datos

- Nodos pueden tener diferente hardware y/o sistema operativo (sistema heterogéneo) y usar **diferentes formatos representac** de datos.
- **Solución**: Mensajes se envían usando **representación intermedia**. Representantes de cliente y servidor efectúan conversiones necesarias.

Paso de parámetros

- **Por valor**: Se envía al representante servidor los datos aportados.
- **Por referencia**: el **objeto referenciado debe enviarse** al servidor.
 - Si puede ser modificado en servidor, debe enviarse de vuelta al cliente al final (copia de valor-resultado).

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Java Remote Method Invocation (RMI)

Invocación de métodos en programas orientados a objetos

- Se debe aportar: **referencia del objeto + método concreto + argumentos.**
- **Interfaz Objeto:** define métodos, argumentos, tipos de valores devueltos y excepciones.

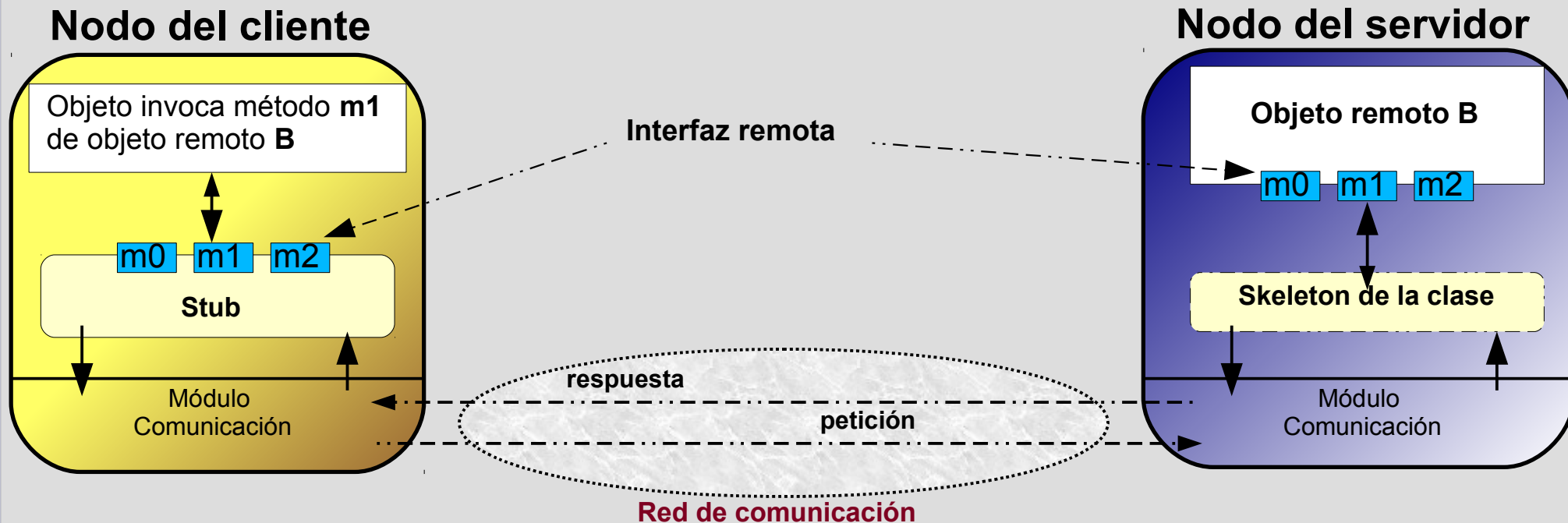
Invocación de métodos remotos (RMI)

- En entornos distribuidos, un objeto podría **invocar métodos de otro objeto** (remoto), localizado **en un nodo o proceso diferente** del llamador, siguiendo **paradigma cliente-servidor** (como RPC).
- Para **invocar métodos de un objeto remoto**, llamador debe:
 - Proporcionar: nombre método + parámetros
 - **Identificar objeto remoto y proceso/nodo** donde reside.

3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Interfaz Remota y Representantes (1)

- **Interfaz remota:** especifica métodos del objeto remoto accesibles para demás objetos + excepciones derivadas (p.e., respuesta tardía servidor).
- **Remote Method Invocation (RMI):** acción de invocar un método de la interfaz remota de un objeto remoto.
 - Sigue la misma sintaxis que sobre un objeto local.



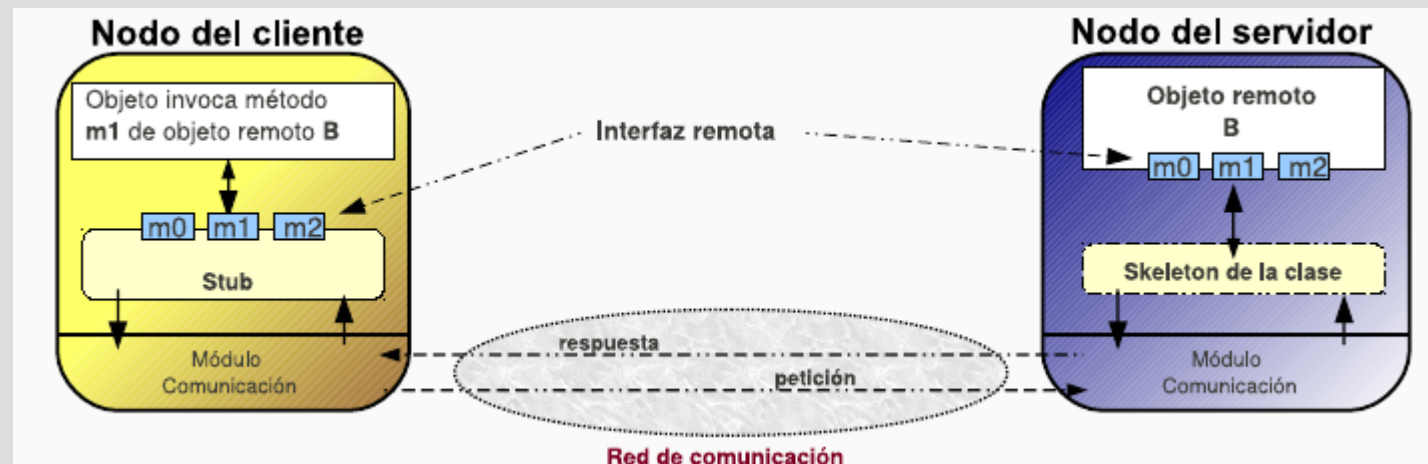
3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Interfaz Remota y Representantes (2)

Cliente y servidor deben conocer interfaz remota (nombres + parámetros métodos accesibles)

- **En cliente:** proceso llamador usa un objeto llamado **stub**, que es responsable de implementar la comunicación con el servidor.
- **En servidor:** se usa objeto llamado **skeleton**, responsable de esperar llamada, recibir parámetros, invocar implementación método, obtener resultados y enviarlos de vuelta.

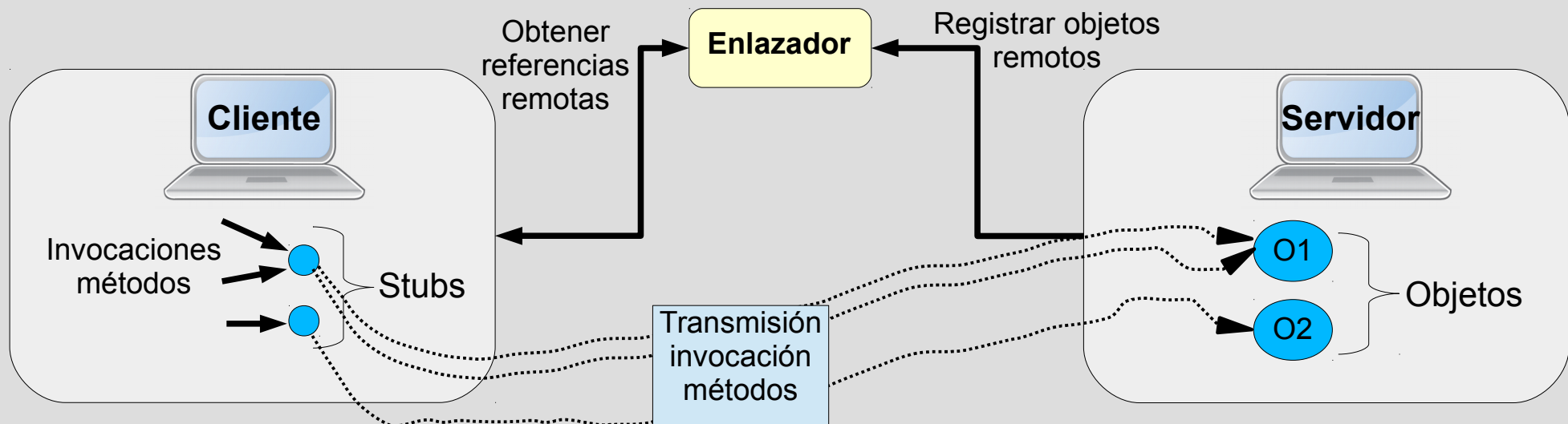
Stub y skeleton hacen **transparente al programador detalles** de comunicación y empaquetamiento datos (tanto en cliente como en servidor).



3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Referencias remotas

- Los stubs usan la definición de la interfaz remota.
- **Objetos remotos residen en servidor** y son gestionados por el mismo.
- Procesos **clientes manejan referencias remotas** a objetos remotos:
- **Referencia remota**: permite al cliente **localizar objeto remoto** en sist. distribuido. Incluye: dirección IP servidor, puerto escucha y el identificador del objeto.
 - **Contenido** no directamente accesible, **gestionado por stub y enlazador**.
- **Enlazador**: Servicio sist. dist., Mapping **{nombres} → {referencias remotas}**.

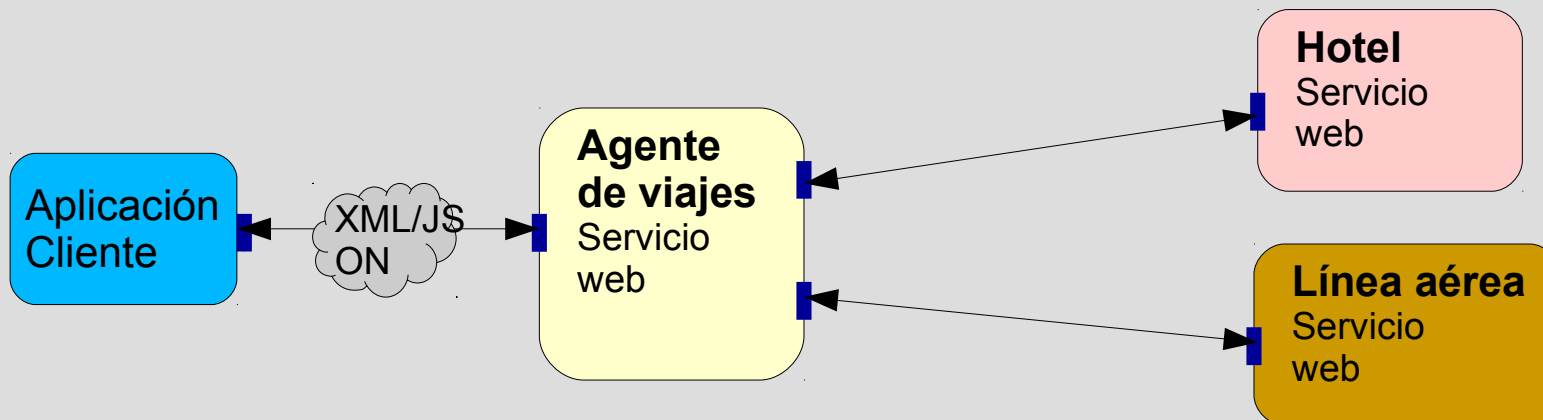


3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Servicios web. Características

Actualmente, gran parte de la **comunicación en Internet** ocurre vía los **servicios web**.

- Protocolos **HTTP o HTTPS** en **capa aplicación** sobre **TCP/IP** en **capa transporte**.
- **Codificación de datos:** basada en **XML o JSON** (*JavaScript Object Notation*).
- Es posible usar protocolos complejos (p.ej.SOAP), pero generalmente se usa el **método REST** (*Representational State Transfer*), caracterizado por:
 - **Clientes solicitan** recurso o documento especificando su **URL**.
 - **Servidor responde** enviando recurso en versión actual o notificando error.
 - **Cada petición es independiente de otras:** enviada respuesta, servidor no guarda información de estado de sesión/cliente (REST es stateless).



3.3. Mecanismos de alto nivel en sistemas distribuidos

Servicios web. Llamadas y Sincronización

Peticiones de recursos/documentos desde:

- una aplicación cualquiera ejecutándose en el cliente.
- Un **programa Javascript** ejecutándose **en navegador** en nodo cliente (más frecuente).

Gestión de peticiones:

- **Síncrona**: Proceso cliente espera bloqueado la respuesta.
 - **No aceptable en aplicaciones web interactivas** (paraliza interacción usuario).
- **Asíncrona**: Proceso **cliente envía petición y continúa**.
 - **Al recibir respuesta**, se ejecuta una función (designada por cliente al hacer petición) que tiene respuesta como argumento.