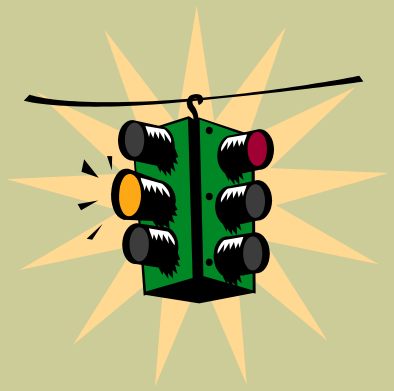
Programación Concurrente ATIC
Programación Concurrente (redictado)

Clase 4

Facultad de Informática

UNLP

Semáforos



Defectos de la sincronización por *Busy Waiting*

- ***Protocolos "busy-waiting":*** complejos y sin clara separación entre variables de sincronización y las usadas para computar resultados.
- Es difícil diseñar para probar corrección. Incluso la verificación es compleja cuando se incrementa el número de procesos.
- Es una técnica ineficiente si se la utiliza en multiprogramación. Un procesador ejecutando un proceso ***spinning*** puede ser usado de manera más productiva por otro proceso.

⇒***Necesidad de herramientas para diseñar protocolos de sincronización.***

Semáforos

Descriptos en 1968 por Dijkstra
(www.cs.utexas.edu/users/EWD/welcome.html)

Semáforo ⇒ instancia de un tipo de datos abstracto (o un objeto) con sólo 2 operaciones (métodos) *atómicas*: ***P*** y ***V*.**

Internamente el valor de un semáforo es un entero *no negativo:*

- ***V*** → Señala la ocurrencia de un evento (incrementa).
- ***P*** → Se usa para demorar un proceso hasta que ocurra un evento (decrementa).

- Analogía con la sincronización del tránsito para evitar colisiones.
- Permiten proteger *Secciones Críticas* y pueden usarse para implementar *Sincronización por Condición*.

Operaciones Básicas

- **Declaraciones**

  sem mutex = 1;
  sem fork[5] = ([5] 1);

- **Semáforo general (o *counting semaphore*)**

  ***P(s)*:** ⟨ await (s > 0) s = s-1; ⟩
  ***V(s)*:** ⟨ s = s+1; ⟩

- **Semáforo binario**

  ***P(b)*:** ⟨ await (b > 0) b = b-1; ⟩
  ***V(b)*:** ⟨ await (b < 1) b = b+1; ⟩

Si la implementación de la demora por operaciones ***P*** se produce sobre una ***cola***, las operaciones son ***fair***
(EN LA PRÁCTICA DE LA MATERIA NO SE PUEDE SUPONER ESTE TIPO DE IMPLEMENTACIÓN)

Problemas básicos y técnicas

Sección Crítica: *Exclusión Mutua*

```
bool lock=false;

process SC[i=1 to n]
{  while (true)
      {  ⟨await (not lock) lock = true;⟩
         sección crítica;
         lock = false;
         sección no crítica;
    }
}
```

Cambio de variable

```
bool free = true;

process SC[i=1 to n]
{  while (true)
      {  ⟨await (free) free = false;⟩
         sección crítica;
         free = true;
         sección no crítica;
    }
}
```

Podemos representar ***free*** con un entero, usar 1 para ***true*** y 0 para ***false*** ⇒ se puede asociar a las operaciones soportadas por los semáforos.

```
sem mutex = 1;
process SC[i=1 to n]
{  while (true)
      {  P(mutex);
         sección crítica;
         V(mutex);
         sección no crítica;
    }
}
```

Es más simple que las soluciones ***busy waiting***.

¿Y si inicializo mutex = 0?

Problemas básicos y técnicas

Barreras: señalización de eventos

- Recordar la utilización de barreras …
- **Idea:** un semáforo para cada *flag* de sincronización. Un proceso setea el *flag* ejecutando ***V***, y espera a que un *flag* sea seteado y luego lo limpia ejecutando ***P***.
- **Barrera para dos procesos:** necesitamos saber cada vez que un proceso llega o parte de la barrera ⇒ *relacionar los estados de los dos procesos.*

Semáforo de señalización ⇒ generalmente inicializado en 0. Un proceso señala el evento con V(s); otros procesos esperan la ocurrencia del evento ejecutando P(s).

```
sem llega1=0, llega2=0;

process Worker1
{ ..........
    V(llega1); P(llega2);
    ……
}

process Worker2
{ ..........
    V(llega2); P(llega1);
    ……
}
```

Puede usarse la barrera para dos procesos para implementar una ***butterfly barrier*** para ***n***, o sincronización con un coordinador central.

¿Qué sucede si los procesos primero hacen P y luego V?

Problemas básicos y técnicas

Productores y Consumidores: *semáforos binarios divididos*

Semáforo Binario Dividido (Split Binary Semaphore). Los semáforos binarios b_1, ..., b_n forman un SBS en un programa si el siguiente es un invariante global:

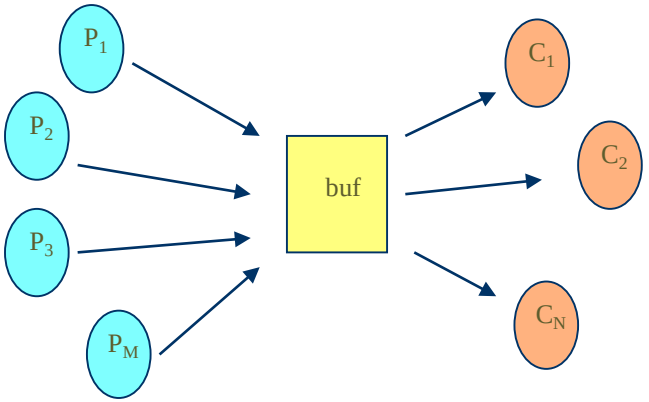
$$SPLIT: 0 \leq b_1, + ... + b_n \leq 1$$

- Los $\boldsymbol{b_i}$ pueden verse como un único semáforo binario ***b*** que fue dividido en ***n*** semáforos binarios.
- Importantes por la forma en que pueden usarse para implementar EM (en general la ejecución de los procesos inicia con un ***P*** sobre un semáforo y termina con un ***V*** sobre otro de ellos).
- Las sentencias entre el ***P*** y el ***V*** ejecutan con exclusión mutua.

Problemas básicos y técnicas

Productores y Consumidores: *semáforos binarios divididos*

Ejemplo: buffer unitario compartido con múltiples productores y consumidores. Dos operaciones: ***depositar*** y ***retirar*** que deben alternarse.




```
typeT buf;  sem vacio = 1, lleno = 0;

process Productor [i = 1 to M]
{ while(true)
     {  …
        producir mensaje datos
        P(vacio); buf = datos; V(lleno); #depositar
     }
}

process Consumidor[j = 1 to N]
{ while(true)
     {  P(lleno); resultado = buf;  V(vacio); #retirar
        consumir mensaje resultado
        …
     }
}
```

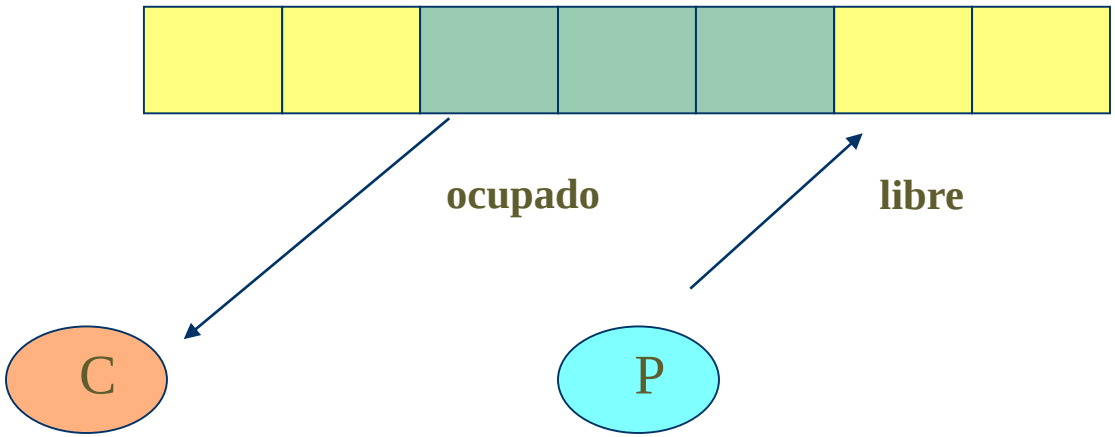
vacio y ***lleno*** (juntos) forman un ***"semáforo binario dividido"***.

Problemas básicos y técnicas

Buffers Limitados: *Contadores de Recursos*

Contadores de Recursos: cada semáforo cuenta el número de unidades libres de un recurso determinado. Esta forma de utilización es adecuada cuando los procesos compiten por recursos de ***múltiples unidades.***

Ejemplo: un buffer es una cola de mensajes depositados y aún no buscados. Existe UN productor y UN consumidor que ***depositan*** y ***retiran*** elementos del buffer.



Problemas básicos y técnicas

Buffers Limitados: *Contadores de Recursos*

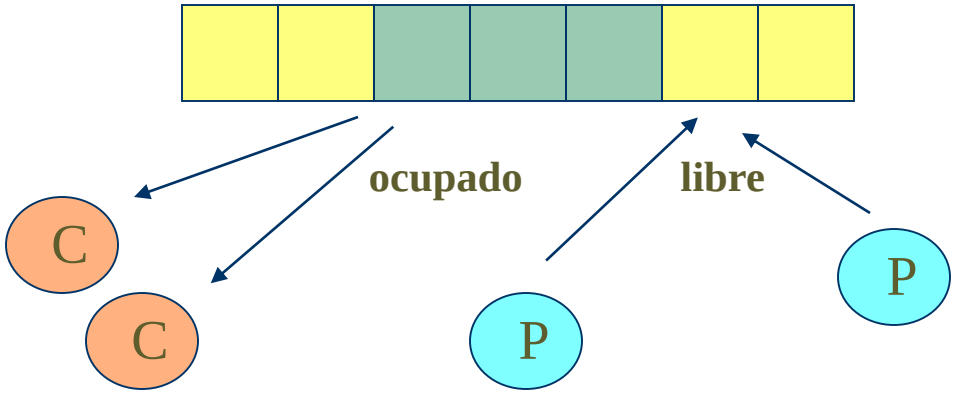
```
typeT buf[n];  int ocupado = 0, libre = 0;
sem  vacio = n, lleno = 0;

process Productor
{ while(true)
     {  …
        producir mensaje datos
        P(vacio); buf[libre] = datos; libre = (libre+1) mod n;  V(lleno); #depositar
     }
}

process Consumidor
{ while(true)
     {  P(lleno); resultado = buf[ocupado];  ocupado = (ocupado+1) mod n; V(vacio); #retirar
        consumir mensaje resultado
        …
     }
}
```

- ***vacio*** cuenta los lugares libres, y ***lleno*** los ocupados.
- ***depositar*** y ***retirar*** se pudieron asumir atómicas pues sólo hay un productor y un consumidor.
- ¿Qué ocurre si hay más de un productor y/o consumidor?

Problemas básicos y técnicas

Buffers Limitados: *Contadores de Recursos*

Si hay más de un productor y/o más de un consumidor, las operaciones de depositar y retirar en sí mismas son SC y deben ejecutar con Exclusión Mutua ¿Cuáles serían las consecuencias de no protegerlas?

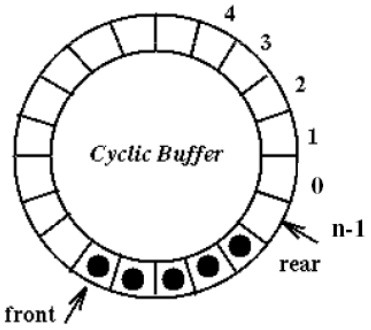


Si no se protege cada slot, podría retirarse dos veces el mismo dato o perderse datos por sobreescritura.

Problemas básicos y técnicas

Buffers Limitados: *Contadores de Recursos*

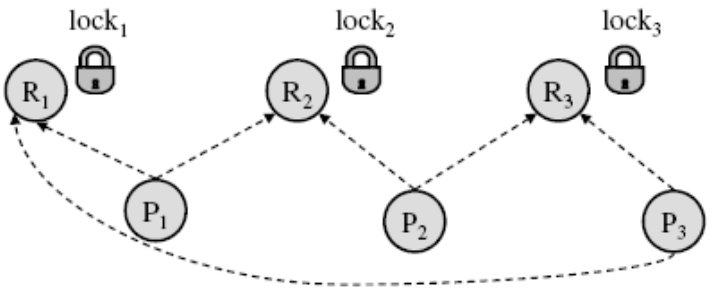
```
typeT buf[n];  int ocupado = 0, libre = 0;
sem  vacio = n, lleno = 0;
sem mutexD = 1, mutexR = 1;

process Productor [i = 1..M]
{ while(true)
     {  producir mensaje datos
        P(vacio);
        P(mutexD); buf[libre] = datos; libre = (libre+1) mod n; V(mutexD);
        V(lleno);
     }
}

process Consumidor [i = 1..N]
{ while(true)
     {  P(lleno);
        P(mutexR); resultado = buf[ocupado];  ocupado = (ocupado+1) mod n; V(mutexR);
        V(vacio);
        consumir mensaje resultado
      }
}
```

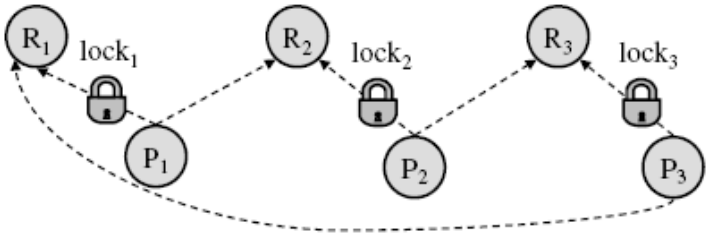


Problemas básicos y técnicas

Problema de los filósofos: *exclusión mutua selectiva*

- Problema de varios procesos (***P***) y varios recursos (***R***) cada uno protegido por un ***lock***.
- Un proceso debe adquirir los ***locks*** de todos los recursos que necesita.
- Puede caerse en *deadlock* cuando varios procesos compiten por conjuntos superpuestos de recursos.
- Por ejemplo: cada ***P[i]*** necesita ***R[i]*** y ***R[(i+1) mod n]*** $\Rightarrow$ ¿Cuándo se da el ***Deadlock***?



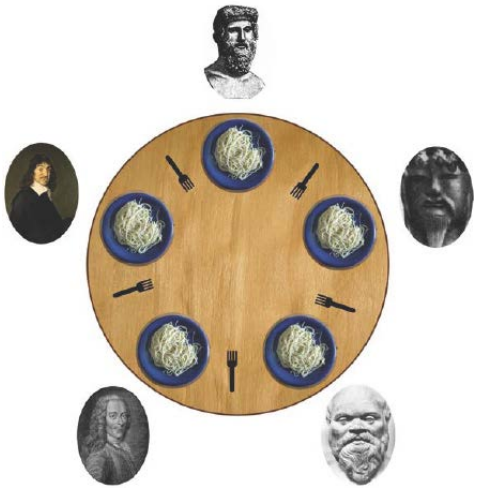


Problemas básicos y técnicas

Problema de los filósofos: *exclusión mutua selectiva*

- Problema de exclusión mutua entre procesos que compiten por el acceso a conjuntos superpuestos de recursos compartidas.
- ***Problema de los filósofos:***

```
process Filosofo [i = 0 to 4]
{  while (true)
      {  adquiere tenedores;
         come;
         libera tenedores;
         piensa;
      }
}
```



- ***Cada tenedor es una SC***: puede ser tomado por un único filósofo a la vez ⇒ pueden representarse los tenedores por un arreglo de semáforos.
- Levantar un tenedor ⇒ ***P*** Bajar un tenedor ⇒ ***V***
- Cada filósofo necesita el tenedor izquierdo y el derecho.
- ¿Qué efecto puede darse si todos los filósofos hacen ***exactamente*** lo mismo?.

Problemas básicos y técnicas

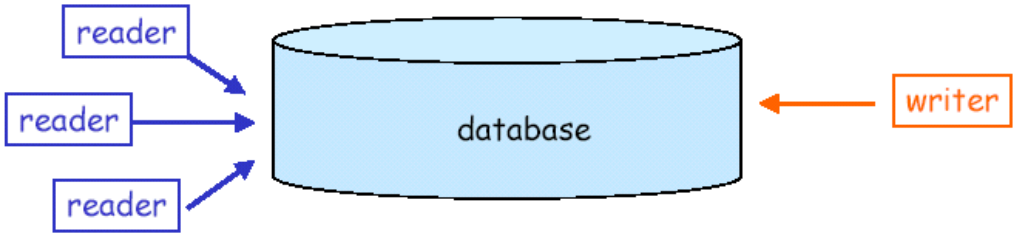
Problema de los filósofos: *exclusión mutua selectiva*

```
sem  tenedores [5] = {1,1,1,1,1};

process Filososfos[i = 0..3]
{ while(true)
     {  P(tenedor[i]);  P(tenedor[i+1]);
        comer;
        V(tenedor[i]);  V(tenedor[i+1]);
     }
}

process Filososfos[4]
{ while(true)
     {  P(tenedor[0]);  P(tenedor[4]);
        comer;
        V(tenedor[0]);  V(tenedor[4]);
     }
}
```

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *exclusión mutua selectiva*

- ***Problema:*** dos clases de procesos (*lectores* y *escritores*) comparten una Base de Datos. El acceso de los *escritores* debe ser exclusivo para evitar interferencia entre transacciones. Los *lectores* pueden ejecutar concurrentemente entre ellos si no hay escritores actualizando.



- Procesos asimétricos y, según el scheduler, con diferente prioridad.
- Es también un problema de ***exclusión mutua selectiva***: clases de procesos compiten por el acceso a la BD.
- Diferentes soluciones:
  - Como problema de exclusión mutua.
  - Como problema de sincronización por condición.

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *como problema de exclusión mutua*

- Los escritores necesitan acceso mutuamente exclusivo.
- Los lectores (como grupo) necesitan acceso exclusivo con respecto a cualquier escritor.

```
sem rw = 1;

process Lector [i = 1 to M]
{  while(true)
      { …
        P(rw);
        lee la BD;
        V(rw);
      }
}

process Escritor [j = 1 to N]
{  while(true)
      { …
        P(rw);
        escribe la BD;
        V(rw);
       }
}
```

No hay concurrencia entre lectores

- Los lectores (como grupo) necesitan bloquear a los escritores, pero sólo el primero necesita tomar el *lock* ejecutando *P(rw)*.
- Análogamente, sólo el último lector debe hacer *V(rw)*.

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *como problema de exclusión mutua*

```
int nr = 0;          # número de lectores activos
sem rw = 1;          # bloquea el acceso a la BD
```

```
process Escritor [j = 1 to N]
{  while(true)
        { …
          P(rw);
          escribe la BD;
          V(rw);
         }
}
```

```
process Lector [i = 1 to M]
{ while(true)
      { …
        <  nr = nr + 1;  if (nr == 1) P(rw); >
        lee la BD;
        <  nr = nr - 1; if (nr == 0) V(rw);  >
      }
}
```

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *como problema de exclusión mutua*

```
int nr = 0;          # número de lectores activos
sem rw = 1;          # bloquea el acceso a la BD
sem mutexR= 1;       # bloquea el acceso de los lectores a nr
```

```
process Escritor [j = 1 to N]
{  while(true)
        { …
          P(rw);
          escribe la BD;
          V(rw);
        }
}
```

```
process Lector [i = 1 to M]
{ while(true)
      { …
        P(mutexR);
        nr = nr + 1;
        if (nr == 1) P(rw);
        V(mutexR);
        lee la BD;
        P(mutexR);
        nr = nr - 1;
        if (nr == 0) V(rw);
        V(mutexR);
      }
}
```

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *sincronización por condición*

- Solución anterior ⇒ preferencia a los lectores ⇒ no es ***fair***.
- Otro enfoque ⇒ introduce la técnica ***passing the baton***: emplea SBS para brindar exclusión y despertar procesos demorados.
- Puede usarse para implementar ***await*** arbitrarios, controlando de forma precisa el orden en que los procesos son despertados
- En este caso, pueden contarse (por medio de *nr* y *nw*) los procesos de cada clase intentando acceder a la BD, y luego restringir el valor de los contadores. ¿Cuáles son los estados buenos y malos de ***nr*** y ***nw***?

```
int nr = 0, nw = 0;

process Lector [i = 1 to M]
{ while(true)
   { …
     ⟨ await (nw == 0) nr = nr + 1; ⟩
     lee la BD;
     ⟨ nr = nr – 1; ⟩
   }
}
```

```
process Escritor [j = 1 to N]
{ while(true)
   { …
     ⟨ await (nr==0 and nw==0) nw=nw+1; ⟩
     escribe la BD;
     ⟨ nw = nw – 1; ⟩
   }
}
```

Problemas básicos y técnicas

Técnica Passing de Baton

- En algunos casos, await puede ser implementada directamente usando semáforos u otras operaciones primitivas. *Pero no siempre…*
- En el caso de las guardas de los await en la solución anterior, se superponen en que el protocolo de E/ para escritores necesita que tanto **nw** como **nr** sean 0, mientras para lectores sólo que **nw** sea 0.
- Ningún semáforo podría discriminar entre estas condiciones → ***Passing the baton.***

Passing the baton: técnica general para implementar sentencias ***await.***

Cuando un proceso está dentro de una SC mantiene el *baton* (*testimonio*, *token*) que significa permiso para ejecutar.

Cuando el proceso llega a un ***SIGNAL*** (sale de la SC), pasa el *baton* (control) a otro proceso. Si ningún proceso está esperando por el *baton* (es decir esperando entrar a la SC) el *baton* se libera para que lo tome el próximo proceso que trata de entrar.

Problemas básicos y técnicas

Técnica Passing de Baton

La sincronización se expresa con sentencias atómicas de la forma:

$$\mathbf{F_1 : \langle\ S_i\ \rangle} \quad \mathbf{o} \quad \mathbf{F_2 : \langle\ await\ (B_j)\ S_j\ \rangle}$$

Puede hacerse con semáforos binarios divididos (SBS).

e semáforo binario inicialmente ***1*** (controla la entrada a sentencias atómicas).

Utilizamos un semáforo b_j y un contador d_j cada uno con guarda diferente B_j; todos inicialmente *0*.

b_j se usa para demorar procesos esperando que B_j sea *true*.
d_j es un contador del número de procesos demorados sobre b_j.

e y los b_j se usan para formar un SBS: a lo sumo uno a la vez es ***1***, y cada camino de ejecución empieza con un ***P*** y termina con un único ***V***.

Problemas básicos y técnicas

Técnica Passing de Baton

F_1 : **P(e);**
S_i;
SIGNAL;

F_2 : **P(e);**
if (not B_j) {$d_j = d_j + 1$; V(e); P(b_j); }
S_j;
SIGNAL

SIGNAL: **if (B_1 and $d_1 > 0$) {$d_1 = d_1 - 1$; V(b_1)}**
□ ...
□ (B_n and $d_n > 0$) {$d_n = d_n - 1$; V(b_n)}
□ else V(e);
fi

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *Técnica Passing de Baton*

```
int nr = 0, nw = 0;

process Lector [i = 1 to M]
{ while(true)
    { …
      ⟨ await (nw == 0) nr = nr + 1; ⟩
      lee la BD;
      ⟨ nr = nr – 1; ⟩
    }
}

process Escritor [j = 1 to N]
{ while(true)
   { …
     ⟨ await (nr==0 and nw==0) nw=nw+1; ⟩
     escribe la BD;
     ⟨ nw = nw – 1; ⟩
   }
}
```

F_1 : **P(e);**
S_i;
SIGNAL;

F_2 : **P(e);**
if (not B_j) {$d_j = d_j + 1$; V(e); P(b_j); }
S_j;
SIGNAL

SIGNAL:
if (B_1 and $d_1 > 0$) {$d_1 = d_1 - 1$; V(b_1)}
□ ...
□ (B_n and $d_n > 0$) {$d_n = d_n - 1$; V(b_n)}
□ else V(e);
fi

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *Técnica Passing de Baton*

```
int nr = 0, nw = 0, dr = 0, dw = 0;
sem e = 1, r = 0, w = 0;

process Lector [i = 1 to M]
{ while(true)
    {  P(e);
       if (nw > 0){dr = dr+1; V(e); P(r); }
       nr = nr + 1;
       SIGNAL1 ;
       lee la BD;
       P(e); nr = nr – 1; SIGNAL2 ;
    }
}

process Escritor [j = 1 to N]
{ while(true)
    {  P(e);
       if (nr > 0 or nw > 0) {dw = dw+1; V(e); P(w); }
       nw = nw + 1;
       SIGNAL3 ;
       escribe la BD;
       P(e); nw = nw – 1; SIGNAL4 ;
    }
}
```

El rol de los **SIGNAL$_i$** es el de señalizar ***exactamente*** a uno de los semáforos ⇒ los procesos se van pasando el ***baton***.

SIGNAL$_i$ es una abreviación de:

```
if (nw == 0 and dr > 0)
      {dr = dr - 1; V(r);}
elsif (nr == 0 and nw == 0 and dw > 0)
      {dw = dw - 1; V(w);}
else  V(e);
```

Algunos de los SIGNAL se pueden simplificar.

Problemas básicos y técnicas

Lectores y escritores: *Técnica Passing de Baton*

```
int nr = 0, nw = 0, dr = 0, dw = 0;        sem e = 1, r = 0, w = 0:
```

```
process Lector [i = 1 to M]
{  while(true)
      {  P(e);
        if (nw > 0) {dr = dr+1; V(e); P(r); }
        nr = nr + 1;
        if (dr > 0) {dr = dr – 1; V(r); }
        else V(e);
        lee la BD;
        P(e);
        nr = nr – 1;
        if (nr == 0 and dw > 0)
              {dw = dw – 1; V(w); }
        else V(e);
       }
}
```

```
process Escritor [j = 1 to N]
{ while(true)
   {  P(e);
      if (nr > 0 or  nw > 0)
              {dw=dw+1; V(e); P(w);}
      nw = nw + 1;
      V(e);
      escribe la BD;
      P(e);
      nw = nw – 1;
      if (dr > 0) {dr = dr - 1; V(r); }
      elseif (dw > 0) {dw = dw - 1; V(w); }
      else V(e);
   }
}
```

Da preferencia a los lectores ⇒ ¿Cómo puede modificarse?