

Explicación Práctica de Semáforos

Ejercicios

Links a los archivos con audio

El archivo en formato MP4 de la explicación con audio se encuentra comprimido en el siguiente link:

- ▶ <https://drive.google.com/u/1/uc?id=1tfrvjfHAODHrwMUqzZXS-nClGuEJJy5P&export=download>



SEMÁFOROS - Sintaxis

- Declaraciones de Semáforos

`sem s;` → NO. Si o si se deben inicializar en la declaración

`sem mutex = 1;`

`sem espera[5] = ([5] 1);`

- Operaciones de los Semáforo

$P(s) \rightarrow \langle \text{await } (s > 0) \ s = s-1; \rangle$

$V(s) \rightarrow \langle s = s+1; \rangle$



EJERCICIO 1

Hay C chicos y hay una bolsa con caramelos que nunca se vacía. Los chicos de a UNO van sacando de a UN caramelo y lo comen. Los chicos deben llevar la cuenta de cuantos caramelos se han tomado de la bolsa.

```
int cant = 0;
```

```
Process Chico[id: 0..C-1]
```

```
{ while (true)
  { -- tomar caramelo
    cant = cant + 1;
    -- comer caramelo
  }
}
```

Se puede generar una interferencia si mas de un chico intenta hacer el incremento a la vez → Se debe proteger



EJERCICIO 1

Debemos usar un SC para asegurar que se trabaje con Exclusión Mutua. Usaremos el semáforo *mutex*, inicializándolo en 1 para asegurar que Un solo proceso a la vez pueda entrar a la SC. Si lo inicializamos en 0 todos los procesos se bloquean en el *P* y nadie podrá continuar.

```
int cant = 0;
sem mutex = 1;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ while (true)
  { -- tomar caramelo
    P(mutex);
    cant = cant + 1;
    V(mutex);
    -- comer caramelo
  }
}
```

Se utiliza una SC para proteger el incremento de *cant* → ¿Nos asegura que NO puede haber más de un chico tomando un caramelo de la bolsa?



EJERCICIO 1

NO. En la solución anterior el incremento de *cant* se hace con Exclusión Mutua, pero la acción de *tomar caramelo* no está protegida por lo que más de un chico la pueden hacer al mismo tiempo. Debe ampliarse la SC.

```
int cant = 0;
sem mutex = 1;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ while (true)
  { P(mutex);
    -- tomar caramelo
    cant = cant + 1;
    -- comer caramelo
    V(mutex);
  }
}
```

Ahora en la SC se protege desde que se toma el caramelo hasta que se come → ¿Se debe evitar que dos chicos puedan comer un caramelo al mismo tiempo?



EJERCICIO 1

NO. Lo que no pueden hacer al mismo tiempo es trabajar con el recurso compartido (acceder a la bolsa de caramelos e incrementar *cant*), pero SI que más de un chico coma al mismo tiempo → en la solución anterior NO SE MAXIMIZA LA CONCURRENCIA.

```
int cant = 0;
sem mutex = 1;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ while (true)
    { P(mutex);
      -- tomar caramelo
      cant = cant + 1;
      V(mutex);
      -- comer caramelo
    }
}
```

En la sección Crítica se debe hacer sólo lo que sea necesario realizar con Exclusión Mutua, el resto debe ir fuera de la SC para maximizar la concurrencia



EJERCICIO 2

Hay C chicos y hay una bolsa con caramelos **limitada a N caramelos**. Los chicos de a UNO van sacando de a UN caramelo y lo comen. Los chicos deben llevar la cuenta de cuantos caramelos se han tomado de la bolsa.

Comenzamos modificando la solución del Ejercicio 1 para que no intenten sacar más caramelos si la bolsa quedó vacía ($cant = N$)

```
int cant = 0;  
sem mutex = 1;
```

```
Process Chico[id: 0..C-1]
```

```
{ while ( $cant < N$ )  
  { P(mutex);  
    -- tomar caramelo  
    cant = cant + 1;  
    V(mutex);  
    -- comer caramelo  
  }  
}
```

¿Se podrán sacar más de N caramelos?



EJERCICIO 2

SI. Por ejemplo, si quedase un solo caramelo y dos o más chicos chequean al mismo tiempo la condición del *while*, a todos les va a indicar que aún queda algún caramelo, y por lo tanto todos esos chicos van a entrar a la SC (de a uno a la vez) para sacar un caramelo → el primero que consiga entrar a la SC tomará el último caramelo y el resto sacará “un caramelo que no existe”, quedando *cant* con un valor $> N$.

El chequeo de la condición que indica que se debe tomar otro caramelo se debe proteger en una SC que también incluya la modificación de esa condición → en este caso el chequeo y $cant = cant + 1$

```
int cant = 0;
sem mutex = 1;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ P(mutex);
  while (cant < N)
  { -- tomar caramelo
    cant = cant + 1;
    -- comer caramelo
  }
  V(mutex);
}
```

Un único chico tomará los N caramelos

EJERCICIO 2

En cada iteración del *while* se debe salir de la SC para *comer caramelo* y dejar que otro proceso pueda entrar a la SC para tomar otro caramelo.

```
int cant = 0;  
sem mutex = 1;
```

Process Chico[id: 0..C-1]

```
{ P(mutex);  
  while (cant < N)  
  { -- tomar caramelo  
    cant = cant + 1;  
    V(mutex);  
    -- comer caramelo  
  }  
}
```

Después de tomar el primer caramelo se libera la SC y en el resto de las iteraciones de ese proceso NADA se protege. ¿Cómo se resuelve?



EJERCICIO 2

Debo volver a acceder a la SC antes de volver a chequear el while (y después de haber terminado de comer el caramelo).

```
int cant = 0;
sem mutex = 1;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ P(mutex);
  while (cant < N)
  { -- tomar caramelo
    cant = cant + 1;
    V(mutex);
    -- comer caramelo
    P(mutex);
  }
}
```

El primer chico que encuentra $cant = N$ sale del *while* sin liberar la SC → ningún otro proceso podrá volver a entrar a la SC y darse cuenta que no hay más caramelos (SE BLOQUEAN LOS PROCESOS)



EJERCICIO 2

Al salir del *while* se debe liberar la SC para que otro proceso pueda acceder a ella y darse cuenta de que debe terminar su procesamiento.

```
int cant = 0;
sem mutex = 1;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ P(mutex);
  while (cant < N)
  { -- tomar caramelo
    cant = cant + 1;
    V(mutex);
    -- comer caramelo
    P(mutex);
  }
  V(mutex);
}
```



EJERCICIO 3

Hay C chicos y hay una bolsa con caramelos limitada a N caramelos **administrada por UNA abuela**. Cuando todos los chicos han llegado llaman a la abuela, y a partir de ese momento ella N veces selecciona un chico aleatoriamente y lo deja pasar a tomar un caramelo.

Primero hay que hacer la Barrera entre los chicos. Para eso se puede usar un Contador compartido y todos esperan a que llegue a C

```
int contador = 0;
```

```
Process Chico[id: 0..C-1]
```

```
{ contador = contador + 1;
```

```
  if (contador == C) {
```

```
    despertar a los demorados
```

```
    despertar a la Abuela
```

```
  }
```

```
  else demorarse
```

```
  .....
```

```
}
```

Proteger el uso de *contador* en una SC que incluya el incremento y el chequeo del IF.

Usar un semáforo privado donde se duerme la abuela y acá se la despierta.

Cómo se demoran los procesos en ese punto → usar un semáforo para señalización de eventos (inicializado en 0)



EJERCICIO 3

Resolvemos los 3 puntos mencionados anteriormente para resolver la barrera. Necesitamos 3 semáforos: mutex (acceso exclusivo a la variable *contador*), espera_abuela (se duerme la abuela hasta que todos llegaron), barrera (esperan los chicos hasta que llegaron los C).

```
int contador = 0;
sem mutex = 1;
sem espera_abuela = 0;
sem barrera = 0;

Process Chico[id: 0..C-1]
{ int i;
  P(mutex);
  contador = contador + 1;
  if (contador == C) { for i = 1..C → V(barrera);
                      V(espera_abuela); }

  V(mutex);
  P(barrera);
  .....
}
```

Se debe hacer un V por cada proceso demorado en ese semáforo

Recordar siempre liberar la SC antes de demorarse en *barrera*, sino se bloquean todos los procesos.

EJERCICIO 3

Con la barrera completa se debe comenzar el proceso de tomar los caramelos.

```
int contador = 0;
sem mutex = 1;
sem espera_abuela = 0;
sem barrera = 0;
```

Process Chico[id: 0..C-1]

```
{ int i;
  P(mutex);
  contador = contador + 1;
  if (contador == C)
    { for i = 1..C → V(barrera);
      V(espera_abuela); }
  V(mutex);
  P(barrera);
  while (haya caramelos)
    esperar a que la abuela lo llame
    --tomar caramelo
    --comer caramelo
```

Process Abuela

```
{ int i;
  P(espera_abuela);
  for i = 1..N
    { selecciona chico ID
      despierta al chico ID
    }
  avisa que no hay mas caramelos
}
```

Usar variable
booleana
seguir

Como espera a que lo despierten a él en
particular → usar semáforos privados
espera_chico[C]

}

EJERCICIO 3

```
int contador = 0;
bool seguir = true;
sem mutex = 1,  espera_abuela = 0,  barrera = 0,  espera_chicos[C] = ([C] 0);
```

Process Chico[id: 0..C-1]

```
{  int i;
   P(mutex);
   contador = contador + 1;
   if (contador == C)
       { for i = 1..C → V(barrera);
         V(espera_abuela); }
   V(mutex);
   P(barrera);
   P(espera_chicos[id]);
   while (seguir)
       { --tomar caramelo
         --comer caramelo
         P(espera_chicos[id]);
       }
}
```

Process Abuela

```
{  int i, aux;
   P(espera_abuela);
   for i = 1..N
       { aux = (rand mod C);
         V(espera_chicos[aux]);
       }
   seguir = false;
}
```

Como se asegura la abuela que no hay más de dos chicos a la vez *tomando caramelo*. Puede despertar a uno cuando el anterior aún no ha tomado el caramelo → Se debe sincronizar tanto el inicio como el final de la interacción con otro semáforo.

EJERCICIO 3

```
int contador = 0;    bool seguir = true;
sem mutex = 1, espera_abuela = 0, barrera = 0, espera_chicos[C] = ([C] 0), listo = 0;
```

Process Chico[id: 0..C-1]

```
{ int i;
  P(mutex);
  contador = contador + 1;
  if (contador == C)
    { for i = 1..C → V(barrera);
      V(espera_abuela); }
  V(mutex);
  P(barrera);
  P(espera_chicos[id]);
  while (seguir)
    { --tomar caramelo
      V(listo);
      --comer caramelo
      P(espera_chicos[id]);
    }
}
```

Process Abuela

```
{ int i, aux;
  P(espera_abuela);
  for i = 1..N
    { aux = (rand mod C);
      V(espera_chicos[aux]);
      P(listo);
    }
  seguir = false;
}
```

Como se enteran los chicos que se modificó el valor de *seguir* → después de modificar el valor de *seguir* la abuela debe volver a despertar a cada chico para que entren a su SC y detecten este valor.

EJERCICIO 3

```
int contador = 0;    bool seguir = true;
sem mutex = 1, espera_abuela = 0, barrera = 0, espera_chicos[C] = ([C] 0), listo = 0;
```

Process Chico[id: 0..C-1]

```
{  int i;
   P(mutex);
   contador = contador + 1;
   if (contador == C)
       { for i = 1..C → V(barrera);
         V(espera_abuela); }
   V(mutex);
   P(barrera);
   P(espera_chicos[id]);
   while (seguir)
       { --tomar caramelo
         V(listo);
         --comer caramelo
         P(espera_chicos[id]);
       }
}
```

Process Abuela

```
{  int i, aux;
   P(espera_abuela);
   for i = 1..N
       { aux = (rand mod C);
         V(espera_chicos[aux]);
         P(listo);
       }
   seguir = false;
   for aux = 0..C-1 → V(espera_chicos[aux]);
}
```

EJERCICIO 4

En una empresa de genética hay N clientes que envían secuencias de ADN para que sean analizadas y esperan los resultados para poder continuar. Para resolver estos análisis la empresa cuenta con 1 servidores que resuelve los pedidos de acuerdo al orden de llegada de los mismos.

Se necesitan los N procesos *Cliente* para enviar los pedidos y recibir los resultados, y el proceso *Servidor* para resolverlos

Process Cliente[id: 0.. N -1]

```
{ while (true)
  { --generar secuencia  $S$ 
    encolar ( $id$ ,  $S$ )
    esperar resultado
  }
}
```

¿Cómo?

Process Servidor

```
{ while (true)
  { recibir pedido ( $id$ ,  $S$ )
    resolver solicitud  $S$ 
    retornar el resultado a  $id$ 
  }
}
```



EJERCICIO 4

Se debe usar una *cola C* compartida donde se encolan los pedidos para mantener el orden. Al ser compartida el *push* y el *pop* se deben hacer con Exclusión Mutua → para eso usaremos el semáforo *mutex*

```
sem mutex = 1;  
cola C;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
  { --generar secuencia S  
    P(mutex);  
    push(C, (id, S));  
    V(mutex);  
    esperar resultado  
  }  
}
```

Process Servidor

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
  { P(mutex);  
    pop(C, (aux, sec));  
    V(mutex);  
    resolver solicitud sec  
    retornar el resultado a aux  
  }  
}
```

¿Y si la cola está vacía?

EJERCICIO 4

No podemos hacer el *pop* sin estar seguros de que hay algo en la cola, sino se puede producir un error → ¿consultamos por el estado de la cola?

```
sem mutex = 1;  
cola C;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
    { --generar secuencia S  
      P(mutex);  
      push(C, (id, S));  
      V(mutex);  
      esperar resultado  
    }  
}
```

Process Servidor

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
    { P(mutex);  
      if not (empty(C)) → pop(C, (aux, sec));  
      V(mutex);  
      resolver solicitud sec  
      retornar el resultado a aux  
    }  
}
```

¿Y si está vacía? → se produce **BUSY WAITING**



EJERCICIO 4

No se debe consultar por la condición de la cola, porque si estuviese vacía se debe salir de la SC y volver a entrar hasta que tenga algún elemento, pero eso genera BUSY WAITING → Debe quedarse demorado en un semáforo hasta que seguro haya algo en la cola; cuando un cliente se encola debe avisar por medio de ese semáforo, usado como *contador de recursos*.

```
sem mutex = 1, pedidos = 0;  
cola C;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
    { --generar secuencia S  
      P(mutex);  
      push(C, (id, S));  
      V(mutex);  
      V(pedidos);  
      esperar resultado  
    }  
}
```

Process Servidor

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
    { P(pedidos);  
      P(mutex);  
      pop(C, (aux, sec));  
      V(mutex);  
      --resolver solicitud sec  
      retornar el resultado a aux  
    }  
}
```

¿Cómo devolver el resultado al cliente?

EJERCICIO 4

Usaremos un vector *resultados* para poner el resultado para cada cliente, y un semáforo privado *espera* para cada uno con el cual se le avisa que ya está la respuesta en su posición del vector.

```
sem mutex = 1, pedidos = 0, espera[N] = ([N] 0);  
int resultados[N];  
cola C;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
    { --generar secuencia S  
      P(mutex);  
      push(C, (id, S));  
      V(mutex);  
      V(pedidos);  
      P(espera[id]);  
      --ver resultado de resultados[id]  
    }  
}
```

Process Servidor

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
    { P(pedidos);  
      P(mutex);  
      pop(C, (aux, sec));  
      V(mutex);  
      resultados[aux] = resolver(sec);  
      V(espera[aux]);  
    }  
}
```



EJERCICIO 5

En una empresa de genética hay N clientes que envían secuencias de ADN para que sean analizadas y esperan los resultados para poder continuar. Para resolver estos análisis la empresa cuenta con 2 servidores que van alternando su uso para no exigirlos de más (en todo momento uno está trabajando y el otro descansando); cada 5 horas cambia en servidor con el que se trabaja. El servidor que está trabajando, toma un pedido (de a uno de acuerdo al orden de llegada de los mismos), lo resuelve y devuelve el resultado al cliente correspondiente. Cuando terminan las 5 horas se intercambian los servidores que atienden los pedidos. Si al terminar las 5 horas el servidor se encuentre atendiendo un pedido, lo termina y luego se intercambian los servidores.

Nos basamos en la solución del ejercicio 4 para empezar. Los clientes no deberán modificarse, a ellos no le importa quien lo atiende. Hay que modificar el servidor y agregar un proceso *reloj* para que cuente las 5 horas de cada servidor.



EJERCICIO 5

¿Cómo resolvemos el reloj?

```
sem mutex = 1, pedidos = 0, espera[N] = ([N] 0);  
int resultados[N]; cola C;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
  { --generar secuencia S  
    P(mutex);  
    push(C, (id, S));  
    V(mutex);  
    V(pedidos);  
    P(espera[id]);  
    --ver resultado de resultados[id]  
  }  
}
```

Process Servidor[id: 0..1]

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
  { espera su turno  
    inicia reloj  
    while (no termine el tiempo)  
    { P(pedidos);  
      P(mutex);  
      pop(C, (aux, sec));  
      V(mutex);  
      resultados[aux] = resolver(sec);  
      V(espera[aux]);  
    }  
  }  
}
```

Process Reloj

```
{ while (true)  
  { espera inicio  
    delay(5 hs);  
    avisa final del tiempo  
  }  
}
```



EJERCICIO 5

Usaremos un semáforo *inicio* para avisar al reloj que debe comenzar a correr las 5 horas. Una variable booleana *FinTiempo* para indicar que el tiempo termino.

```
sem mutex = 1, pedidos = 0, espera[N] = ([N] 0), inicio = 0;  
int resultados[N]; cola C; bool finTiempo = false;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
  { --generar secuencia S  
    P(mutex);  
    push(C, (id, S));  
    V(mutex);  
    V(pedidos);  
    P(espera[id]);  
    --ver resultado de resultados[id]  
  }  
}
```

Process Servidor[id: 0..1]

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
  { espera su turno  
    inicia reloj  
    while (no termine el tiempo)  
    { P(pedidos);  
      P(mutex);  
      pop(C, (aux, sec));  
      V(mutex);  
      resultados[aux] = resolver(sec);  
      V(espera[aux]);  
    }  
  }  
}
```

Como
manejamos
el turno de
cada servidor

Process Reloj

```
{ while (true)  
  { P(inicio);  
    delay(5 hs);  
    finTiempo = true;  
    V(pedidos);  
  }  
}
```

El servidor actual puede esperar en un ÚNICO semáforo tanto el pedido de un cliente como el fin del reloj → se le avisa por medio del semáforo *pedidos*

EJERCICIO 5

Cada servidor tendrá un semáforo *turno* donde se demora hasta que deba trabajar, uno inicializado en 1 (el que inicia trabajando) y el otro en 0 (el que inicia dormido).

```
sem mutex = 1, pedidos = 0, espera[N] = ([N] 0), inicio = 0, turno[2] = (1, 0);  
int resultados[N]; cola C; bool finTiempo = false;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
  { --generar secuencia S  
    P(mutex);  
    push(C, (id, S));  
    V(mutex);  
    V(pedidos);  
    P(espera[id]);  
    --ver resultado de resultados[id]  
  }  
}
```

Process Servidor[id: 0..1]

```
{ secuencia sec; int aux;  
  while (true)  
  { P(turno[id]);  
    finTiempo = false;  
    V(inicio);  
    while (no termine el tiempo)  
    { P(pedidos);  
      P(mutex);  
      pop(C, (aux, sec));  
      V(mutex);  
      resultados[aux] = resolver(sec);  
      V(espera[aux]);  
    }  
  }  
}
```

¿Cómo sabe
cuando hasta
cuando iterar?

Process Reloj

```
{ while (true)  
  { P(inicio);  
    delay(5 hs);  
    finTiempo = true;  
    V(pedidos);  
  }  
}
```

EJERCICIO 5

Cuando pasa el $P(\text{pedidos})$ es porque el reloj avisó que termino el tiempo ($\text{finTiempo} = \text{true}$) y/o hay pedidos en la cola \rightarrow en base a eso despierta al otro o atiende pedido.

```
sem mutex = 1, pedidos = 0, espera[N] = ([N] 0), inicio = 0, turno[2] = (1, 0);  
int resultados[N]; cola C; bool finTiempo = false;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
  { --generar secuencia S  
    P(mutex); push(C, (id, S)); V(mutex);  
    V(pedidos);  
    P(espera[id]);  
    --ver resultado de resultados[id]  
  }  
}
```

Process Reloj

```
{ while (true)  
  { P(inicio); delay(5 hs); finTiempo = true;  
    V(pedidos);  
  }  
}
```

Process Servidor[id: 0..1]

```
{ secuencia sec; int aux; bool ok;  
  while (true)  
  { P(turno[id]); finTiempo = false; V(inicio);  
    ok = true;  
    while (ok)  
    { P(pedidos);  
      if (finTiempo) { ok = false;  
                       V(turno[1-id]);  
                       }  
      else { P(mutex); pop(C, (aux, sec)); V(mutex);  
             resultados[aux] = resolver(sec);  
             V(espera[aux]);  
           }  
    }  
  }  
}
```

Si termino el tiempo entonces marca la salida del *while* interno y despierta al otro servidor

EJERCICIO 5

```
sem mutex = 1, pedidos = 0, espera[N] = ([N] 0), inicio = 0, turno[2] = (1, 0);  
int resultados[N]; cola C; bool finTiempo = false;
```

Process Cliente[id: 0..N-1]

```
{ secuencia S;  
  while (true)  
  { --generar secuencia S  
    P(mutex);  
    push(C, (id, S));  
    V(mutex);  
    V(pedidos);  
    P(espera[id]);  
    --ver resultado de resultados[id]  
  }  
}
```

Process Reloj

```
{ while (true)  
  { P(inicio);  
    delay(5 hs);  
    finTiempo = true;  
    V(pedidos);  
  }  
} ▶
```

Process Servidor[id: 0..1]

```
{ secuencia sec; int aux; bool ok;  
  while (true)  
  { P(turno[id]);  
    finTiempo = false;  
    V(inicio);  
    ok = true;  
    while (ok)  
    { P(pedidos);  
      if (finTiempo) { ok = false;  
                      V(turno[1-id]); }  
      else { P(mutex);  
             pop(C, (aux, sec));  
             V(mutex);  
             resultados[aux] = resolver(sec);  
             V(espera[aux]);  
           }  
    }  
  }  
}
```