UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Sistemas Concurrentes y Distribuidos: Práctica 1. Sincronización de hebras con semáforos.

Carlos Ureña / Jose M. Mantas / Pedro Villar / Manuel Noguera

Curso 2023-24 (archivo generado el 3 de agosto de 2023)

Grado en Ingeniería Informática,
Grado en Informática y Matemáticas,
Grado en Informática y Administración de Empresas.
Dpt. Lenguajes y Sistemas Informáticos
ETSI Informática y de Telecomunicación
Universidad de Granada

Práctica 1. Sincronización de hebras con semáforos.

Índice.

Sección 1.
Objetivos. Espera bloqueda..

Objetivos.

En esta práctica se realizarán dos implementaciones de dos problemas sencillos de sincronización usando librerías abiertas para programación multihebra y semáforos. Los objetivos son:

- Conocer como se pueden generar números aleatorios y dejar una hebra bloqueada durante un intervalo de tiempo finito.
- Conocer el *problema del productor-consumidor* y sus aplicaciones.
  - Diseñar una solución al problema basada en semáforos.
  - Implementar esa solución con la biblioteca para semáforos.
- Conocer un problema sencillo de sincronización de hebras (el *problema de los fumadores*)
  - Diseñar una solución basada en semáforos, teniendo en cuenta los problemas que pueden aparecer.
  - Implementar esa solución con la biblioteca para semáforos.

Generación de números aleatorios

En C++11 se ofrecen disitintas clases para generar números aleatorios.

- Por simplicidad, usaremos la plantilla de función de nombre **`aleatorio`**, ya implementada en `scd.h`
- Sirve para generar un número entero aleatorio, cuyo valor estará entre un mínimo y un máximo (ambos incluidos), deben ser dos constantes conocidas al compilar, p.ej:

```
const int desde = 34, hasta = 45 ;  // const es necesario (o constexpr)
....
num1 = aleatorio< 0, 2 >();         // núm. aleatorio entre 0 y 2
num2 = aleatorio< desde, hasta >(); // aleatorio entre 34 y 45
num3 = aleatorio< desde, 65 >();    // aleatorio entre 34 y 65
```

Espera bloqueada de una hebra

En los ejemplos de esta prácticas queremos introducir esperas bloqueadas en las hebras

- El objetivo es simular la realización de trabajo útil por parte de las hebras durante un intervalo de tiempo.
- Las esperas serán de una duración aleatoria, para producir una variedad mayor de posibles interfoliaciones.

Para hacer las esperas se puede usar el método **`sleep_for`** de la clase **`this_thread`**. El argumento es un valor de tipo **`duration`**. En este ejemplo usamos una duración en milisegundos (milésimas de segundo):

```
// calcular una duración aleatoria de entre 20 y 200 milisegundos
chrono::milliseconds duracion_bloqueo_ms( aleatorio<20,200>() );
// esperar durante ese tiempo
this_thread::sleep_for( duracion_bloqueo_ms );
```

Sección 2.
El problema del productor-consumidor.

2.1. Descripción del problema.
2.2. Diseño de la sincronización con semáforos
2.3. Plantillas para la implementación
2.4. Actividades y documentación

Subsección 2.1.
Descripción del problema..

Problema y aplicaciones

El problema del productor consumidor surge cuando se quiere diseñar un programa en el cual un proceso o hebra produce items de datos en memoria que otro proceso o hebra consume.

- Un ejemplo sería una aplicación de reproducción de vídeo:
  - El **productor** se encarga de leer de disco o la red y descodificar cada cuadro de vídeo.
  - El **consumidor** lee los cuadros descodificados y los envía a la memoria de vídeo para que se muestren en pantalla

  hay muchos ejemplos de situaciones parecidas.
- En general, el productor calcula o produce una secuencia de items de datos (uno a uno), y el consumidor lee o consume dichos items (tambien uno a uno).
- El tiempo que se tarda en producir un item de datos puede ser variable y en general distinto al que se tarda en consumirlo (también variable).

Solución de dos hebras con un vector de items

Para diseñar un programa que solucione este problema:

- Suele ser conveniente implementar el productor y el consumidor como dos hebras independientes, ya que esto permite tener ocupadas las CPUs disponibles el máximo de tiempo.
- Se puede usar una variable compartida que contiene un ítem de datos, pero las esperas asociadas a la lectura y la escritura pueden empeorar la eficiencia.
- Esto puede mejorarse usando un vector que pueda contener muchos items de datos producidos y pendientes de leer.
- Para ello, usamos un vector o array de tamaño fijo conocido k.

Esquema de las hebras sin sincronización

La hebra productora y la consumidora ejecutan ambas un bucle. La productora produce e inserta un valor en el buffer intermedio. La consumidora extrae un valor un los consume. El esquema (en pseudo-código) puede ser así:

```
{ variables compartidas y valores iniciales }
var tam_vec   : integer := k  ;                  { tamaño del vector   }
    num_items : integer := .... ;                { número de items     }
    vec       : array[0..tam_vec-1] of integer; { vector intermedio   }
```

```
process HebraProductora ;
var a : integer ;
begin
 for i := 0 to num_items-1 do begin
   a := ProducirValor() ;
   { Sentencia E:                    }
   { (insertar valor 'a' en 'vec') }
 end
end
```

```
process HebraConsumidora
var b : integer ;
begin
 for i := 0 to num_items-1 do begin
   { Sentencia L:                    }
   { (extraer valor 'b' de 'vec') }
   ConsumirValor(b) ;
 end
end
```

Condición de sincronización

En esta situación, la implementación debe asegurar que :

- Cada ítem producido es leído (ningún ítem se pierde)
- Ningún ítem se lee más de una vez.

lo cual implica:

- El productor tendrá que esperar antes de poder escribir en el vector cuando haya creado un ítem pero el vector esté completamente ocupado por ítems pendientes de leer.
- El consumidor debe esperar cuando vaya a leer un ítem del vector pero dicho vector no contenga ningún ítem pendiente de leer.
- En algunas aplicaciones el orden de lectura o extracción de datos del buffer debe coincidir con el de escritura o inserción, en otras podría ser irrelevante.

Otras propiedades requeridas

Además de lo anterior:

- El programa **no debe impedir** (mediante los semáforos) que el escritor pueda estar produciendo un item al mismo tiempo que el consumidor esté consumiendo otro item (si se impidiese, no tendría sentido usar programación concurrente para esto).
- Lo anterior se refiere exclusivamente a los subprogramas o funciones encargadas de producir o consumir un dato, no se refiere a las operaciones de extraer un dato del buffer o insertar un dato en dicho buffer.
- En el programa, la producción de un dato y su consumo no emplean mucho tiempo de cálculo, ya que es un ejemplo simplificado. Por tanto, se deben introducir retrasos aleatorios variables para poder experimentar distintos patrones de interfoliación de las hebras (ver las plantillas).

Subsección 2.2.
Diseño de la sincronización con semáforos.

Condiciones de sincronización

Durante la ejecución, en cualquier estado,

- El total de valores insertados en el buffer desde el inicio es $\#E$.
- El total de valores extraidos desde el inicio es $\#L$.
- El número de valores insertados en el buffer, y todavía pendientes de ser extraidos es $\#E - \#L$ (lo llamamos *ocupación* del buffer)

Por tanto, surgen estas dos condiciones de sincronización:

- En ningún momento pueden haberse extraído más valores de los que se han insertado, es decir:

$$\#L \leq \#E$$

- En ningún momento la ocupación del buffer puede ser superior a su tamaño fijo conocido (k), es decir:

$$\#E - \#L \leq k$$

Diseño de los semáforos

Por tanto, las dos condiciones anteriores pueden escribirse de esta forma:

$$0 \leq \#E - \#L \qquad \textsf{and} \qquad 0 \leq k + \#L - \#E$$

Y, al igual que en otros ejemplos, podemos sincronizar los procesos con dos semáforos:

- Un semáforo llamado **`ocupadas`**, cuyo valor será

  $$\#E - \#L$$

  (es el número de entradas ocupadas del buffer, inicialmente 0)
- Un semáforo llamado **`libres`**, cuyo valor será

  $$k + \#L - \#E$$

  (es el número de entradas libres del buffer, inicialmente k).

Esquema de las hebras con sincronización

Ahora podemos incluir las declaraciones de los semáforos y las correspondientes operaciones:

```
{ variables compartidas y valores iniciales }
var tam_vec   : integer := .... ;                { tamaño del vector   }
    num_items : integer := .... ;                { número de items     }
    vec       : array[0..tam_vec-1] of integer; { vector intermedio   }
    libres    : semaphore := tam_vec; { núm. entradas libres (k+#L-#E)}
    ocupadas  : semaphore := 0 ;      { núm. entradas ocup. (#E-#L) }
```

```
process HebraProductora ;
var a : integer ;
begin
 for i := 0 to num_items-1 do begin
   a := ProducirValor() ;
   sem_wait( libres );
   { Sentencia E:                    }
   { (insertar valor 'a' en 'vec') }
   sem_signal( ocupadas );
 end
end
```

```
process HebraConsumidora
var b : integer ;
begin
 for i := 0 to num_items-1 do begin
   sem_wait( ocupadas );
   { Sentencia L:                    }
   { (extraer valor 'b' de 'vec') }
   sem_signal( libres );
   ConsumirValor(b) ;
 end
end
```

Subsección 2.3.
Plantillas para la implementación.

Características

En esta práctica se diseñará e implementará un ejemplo sencillo en C/C++

- Cada ítem de datos será un valor entero de tipo **`int`**.
- El orden en el que se leen los items es irrelevante (en principio).
- El productor produce los valores enteros en secuencia, empezando en 0.
- El consumidor escribe cada valor leído en pantalla.
- Se usará un array compartido de valores tipo **`int`**, de tamaño fijo pero arbitrario.

Funciones para producir y consumir:

La hebra productora llama a **producir_dato** para producir el siguiente dato, incluye un retraso aleatorio y usa la variable global **siguiente_dato** (inicializada a **0**):

```
unsigned producir_dato()
{
   this_thread::sleep_for( chrono::milliseconds( aleatorio<20,100>() ));
   const unsigned dato_producido = siguiente_dato ;
   siguiente_dato++ ; // incrementarlo para la próxima llamada
   cout << "producido: " << dato_producido << endl  ;
   return dato_producido ;
}
```

La hebra consumidora llama a esta otra para consumir un dato:

```
void consumir_dato( int dato )
{
   this_thread::sleep_for( chrono::milliseconds( aleatorio<20,100>() );
   cout << "Consumidor: dato consumido:              " << dato << endl ;
}
```

Funciones de las hebras productora y consumidora

Las funciones que ejecutan las hebras tienen esta forma:

```
void funcion_hebra_productora(  )
{  for( unsigned i = 0 ; i < num_items ; i++ )
   {  unsigned dato = producir_dato() ;
      // falta aquí: insertar dato en el vector intermedio:
      // ..........
   }
}
void funcion_hebra_consumidora(  )
{  for( unsigned i = 0 ; i < num_items ; i++ )
   {  unsigned dato ;
      // falta aquí: extraer dato desde el vector intermedio
      // .......
      consumir_dato( dato ) ;
   }
}
```

Es necesario definir la constante **num_items** con algún valor concreto (entre 50 y 100 es adecuado)

Gestión de la ocupación del vector intermedio

El vector intermedio (*buffer*) será un array C++ de tamaño fijo, tiene una capacidad (número de celdas usables) fija prestablecidada en una constante del programa que llamamos, por ejemplo, `tam_vec` (contiene el valor k)

- La constente `tam_vec` deberá ser estrictamente menor que `num_items` (entre 10 y 20 sería adecuado).
- En cualquier instante de la ejecución, el número de celdas ocupadas en el vector (por items de datos producidos pero pendientes de leer) es un número entre 0 (el buffer estaría vacío) y `tam_vec` (el buffer estaría lleno).
- Además del vector, es necesario usar alguna o algunas variables adicionales que reflejen el estado de ocupación de dicho vector.
- Es necesario estudiar si el acceso a dicha variable o variables **requiere o no requiere sincronización alguna** entre el productor y el consumidor.

Soluciones para la gestión de la ocupación (1/2)

Hay básicamente dos alternativas posibles para gestionar la ocupación, se detallan aquí:

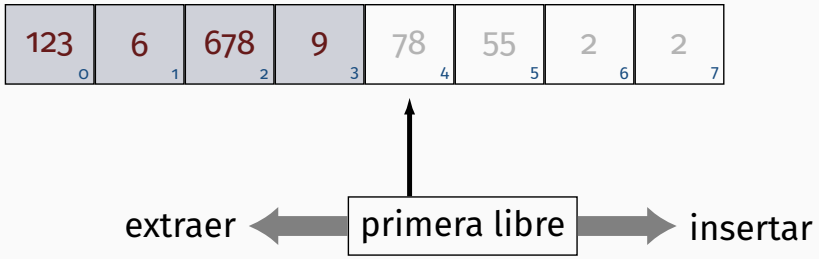
- LIFO (pila acotada), se usa una variable entera (≥ 0):
  - **`primera_libre`** = índice en el vector de la primera celda libre (inicialmente `0`). Esta variable se incrementa al escribir, y se decrementa al leer.
- FIFO (cola circular), se usan dos variables enteras no negativas:
  - **`primera_ocupada`** = índice en el vector de la primera celda ocupada (inicialmente `0`). Esta variable se incrementa al leer (módulo `tam_vec`).
  - **`primera_libre`** = índice en el vector de la primera celda libre (inicialmente `0`). Esta variable se incrementa al escribir (módulo `tam_vec`).

(los índices del vector van desde `0` hasta `tam_vec-1`, ambos incluidos)

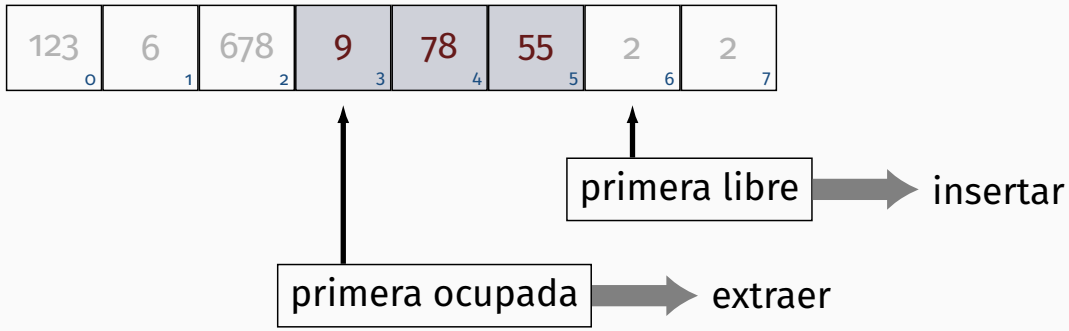
Soluciones para la gestión de la ocupación (2/2)

En un momento dado, suponiendo ($k =$ `tam_vec==8`), el estado del vector puede ser como se ve aquí. Las celdas ocupadas (en gris) contienen valores enteros pendientes de leer:

LIFO (pila acotada: último en entrar es el primero en salir)



FIFO (cola circular: primero en entrar es el primero en salir)



Seguimiento de las operaciones sobre el buffer

Para poder depurar el programa y hacer seguimiento:

- Es conveniente incluir sentencias para imprimir en pantalla el valor insertado o extraido del buffer, justo después de cada vez que se hace (estos mensajes son **adicionales** a los mensjes. que se imprimen al producir o al consumir). Por tanto, se dan dos pasos:
  1. Insertar o extraer el dato del buffer
  2. Escribir un mensaje en pantalla indicando lo que se ha hecho
- Ten en cuenta que el estado de la simulación puede cambiar (y en pantalla pueden aparecer otros mensajes) después del paso 1, pero antes del paso 2.
- Esto puede llevar a cierta confusión, ya que los mensajes no reflejan el estado cuando aparecen, sino un estado antiguo distinto del actual.

Subsección 2.4.
Actividades y documentación.

Lista de actividades

Debes realizar las siguientes actividades en el orden indicado:

1. Diseña una solución que permita conocer qué entradas del vector están ocupadas y qué entradas están libres (usa alguna de las dos opciones dadas).
2. Diseña una solución, mediante semáforos, que permita realizar las esperas necesarias para cumplir los requisitos descritos.
3. Implementa la solución descrita en un programa C/C++ con hebras C++11 y usando la biblioteca de semáforos, completando las plantillas incluidas en este guión. Ten en cuenta que el programa debe escribir la palabra `fin` cuando hayan terminado las dos hebras.
4. Comprueba que tu programa es correcto: verifica que cada número natural producido es consumido exactamente una vez.

Documentación a incluir dentro del portafolios

Se incorporará al portafolios un documento indicando la siguiente información:

1. Describe la variable o variables necesarias, y cómo se determina en qué posición se puede escribir y en qué posición se puede leer.
2. Describe los semáforos necesarios, la utilidad de los mismos, el valor inicial y en qué puntos del programa se debe usar **`sem_wait`** y **`sem_signal`** sobre ellos.
3. Incluye el código fuente completo de la solución adoptada.

Sección 3.
El problema de los (múltiples) productores y consumidores.

Múltiples productores y consumidores

En este ejercicio queremos extender la solución al problema del productor-consumidor, manteniendo todos los requerimientos del mismo, pero ahora:

- Queremos permitir un número de hebras productoras que no tiene que ser necesariamente la unidad (puede ser mayor).
- Igualmente podemos tener un número de hebras consumidoras superior a uno (no necesariamente igual al número de productoras)
- Varios productores pueden estar produciendo a la vez, y varios consumidores pueden estar consumiendo a la vez.
- La gestión del vector es similar a antes (haz una opción FIFO y una LIFO).

Actividad: múltiples productores y consumidores

Copia el archivo `prodcons.cpp` en `prodcons-multi.cpp`, y en este nuevo archivo adapta la implementación para permitir múltiples productores y consumidores.

Ten en cuenta estos requerimientos:

- El número de hebras productoras es una constante n_p, (> 0). El número de hebras consumidoras será otra constante n_c (> 0). Ambos valores deben ser divisores del número de items a producir m, y no tienen que ser necesariamente iguales. Se definen en el programa como dos constantes (con nombres descriptivos).
- Cada productor produce $p = m/n_p$ items. Cada consumidor consume $c = m/n_c$ items.
- Cada entero entre 0 y $m-1$ es producido una única vez (igual que antes).

Diseño de la solución: hebras y producción

Para poder cumplir los requisitos anteriores:

- Las funciones **`producir_dato`** y **`consumir_dato`** tienen ahora como argumento el número de hebra productora (o consumidora) que lo invoca (un valor i entre 0 y $n_p - 1$ (o entre 0 y $n_c - 1$), ambos incluidos.
- La hebra productora número i produce de forma consecutiva los p números enteros que hay entre el número $i \cdot p$ y el número $i \cdot p + (p - 1)$, ambos incluidos.
- Para esto, debemos tener un array compartido con n_p entradas que indique, en cada momento, para cada hebra productora, cuantos items ha producido ya. Este array se consulta y actualiza en **`producir_dato`**. Debe estar inicializado a 0. La hebra productora i es la única que usa la entrada número i (por tanto no hay requerimientos de EM en los accesos a este array).

Diseño de la solución: concurrencia

La solución debe solucionar los problemas de exclusión mutua **exclusivamente usando semáforos**, pero también debe permitir el mayor grado de paralelismo potencial posible. Ten en cuenta:

- En la solución LIFO:
  - Dos o más hebras pueden intentar a la vez leer y modificar la variable **`primera_libre`** y la correspondiente celda del vector.
- En la solución FIFO:
  - Dos o más hebras productoras pueden intentar leer y modificar a la vez la variable **`primera_libre`** y la correspondiente celda.
  - Dos o más hebras consumidoras pueden intentar leer y modificar a la vez la variable **`primera_ocupada`** y la correspondiente celda.

Sección 4.
El problema de los fumadores..

4.1. Descripción del problema.
4.2. Plantillas de código
4.3. Actividades y documentación.

Subsección 4.1.
Descripción del problema..

Descripción del problema (1)

En este apartado se intenta resolver un problema algo más complejo usando hebras y semáforos. Considerar un estanco en el que hay tres fumadores y un estanquero. Se deben tener en cuenta estos requisitos:

1.1. Cada fumador representa una hebra que realiza una actividad (fumar), invocando a una función **`fumar`**, en un bucle infinito.

1.2. Cada fumador debe esperar antes de fumar a que se den ciertas condiciones (tener suministros para fumar), que dependen de la actividad del proceso que representa al estanquero.

1.3. El estanquero produce suministros para que los fumadores puedan fumar, también en un bucle infinito.

1.4. Para asegurar concurrencia real, es importante tener en cuenta que la solución diseñada **debe permitir que varios fumadores fumen simultáneamente**.

Descripción del problema (2)

Además de los anterios requisitos, se deben tener en cuenta estos:

2.1. Antes de fumar es necesario liar un cigarro, para ello el fumador necesita tres ingredientes: tabaco, papel y cerillas.

2.2. Uno de los fumadores tiene papel y tabaco, otro tiene papel y cerillas, y otro tabaco y cerillas.

2.3. El estanquero selecciona **aleatoriamente** un ingrediente de los tres que se necesitan para hacer un cigarro, lo pone en el mostrador, desbloquea al fumador que necesita dicho ingrediente y después se bloquea, esperando la retirada del ingrediente.

2.4. El fumador desbloqueado toma el ingrediente del mostrador, desbloquea al estanquero para que pueda seguir sirviendo ingredientes y **después** fuma durante un tiempo aleatorio.

2.5. El estanquero, cuando se desbloquea, vuelve a poner un ingrediente aleatorio en el mostrador, y se repite el ciclo.

Sentencias y funciones

Para poder expresar las condiciones de sincronización fácilmente, haremos estos supuestos:

- Numeramos los fumadores como fumadores 0,1 y 2. Se numeran igualmente los ingredientes. El fumador número i necesita obtener el ingrediente número i para fumar.
- Llamamos P_i a una sentencia que ejecuta el estanquero cuando pone el ingrediente número i en el mostrador. Consiste en la impresión de un mensaje informativo (tipo: "*estanquero produce ingrediente i*").
- LLamamos R_i a una sentencia que ejecuta el fumador número i, por la cual retira el ingrediente i del mostrador, previamente a fumar. Consiste en imprimir un mensaje informativo (tipo "*el fumador i retira su ingrediente*")

Esquema de las hebras sin sincronización

El esquema de las hebras es como sigue:

```
process HebraEstanquero ;
var i : integer ;
begin
  while true do begin
    { simular la producción: }
    i := Producir() ;
    { Sentencia P_i : }
    print("puesto ingr.: ",i);
 end
end
```

```
process HebraFumador[ i : 0..2 ]
 var b : integer ;
begin
  while true do begin
    { Sentencia R_i : }
    write("retirado ingr.:",i);
    { simular el fumar: }
    Fumar( i );
  end
end
```

- El estanquero produce un número aleatorio mediante una llamada a la función **Producir**, que conlleva un cierto retraso aleatorio y devuelve un entero (0,1 o 2).
- Los fumadores fuman llamando a la función **Fumar**, que conlleva un retraso aleatorio.

Condicion de sincronización y semáforos (1)

Hay un total de 6 instrucciones que se ejecutan repetidamente (P_i y R_i, tres en cada caso). Pero no podemos permitir cualquier interfoliación de las mismas. En concreto:

- Para cada i, el número de veces que el fumador i ha retirado el ingrediente i no puede ser mayor que el número de veces que se ha producido el ingrediente i, es decir $\#R_i \leq \#P_i$, o lo que es lo mismo:

$$0 \leq \#P_i - \#R_i$$

- Esto se puede resolver con tres semáforos s_i (un array de semáforos, con $i = 0, 1, 2$), cada uno de ellos vale $\#P_i - \#R_i$.
- En el semáforo s_i se debe de hacer:
  - `sem_wait` antes de R_i (aparece con signo negativo)
  - `sem_signal` después de P_i (aparece con signo positivo)

Condición de sincronización y semáforos (2)

La condición anterior no contempla todas las restricciones del problema, hay que añadir esta:

- El número p de ingredientes producidos (en el mostrador) y pendientes de ser usados por algún fumador es

$$p \;=\; \sum_{i=0}^{2} \#P_i \;-\; \sum_{i=0}^{2} \#R_i$$

- Solo cabe un ingrediente como mucho en el mostrador, luego p solo puede ser 0 o 1. Es decir, se debe cumplir (a) $0 \leq p$ y (b) $p \leq 1$.
- La condición (a) esta garantizada por la condición de la transparencia anterior, así que solo hay que asegurar (b), que se puede escribir como:

$$0 \;\leq\; 1 + \sum_{i=0}^{2} \#R_i \;-\; \sum_{i=0}^{2} \#P_i$$

Condición de sincronización y semáforos (3)

Por tanto, podemos usar un semáforo (lo llamamos **`mostr_vacio`**), cuyo valor es

$$1 + \sum_{i=0}^{2} \#R_i - \sum_{i=0}^{2} \#P_i$$

Es decir, vale 1 si el mostrador está libre, y 0 si hay un ingrediente en él. Sobre ese semáforo, debemos de hacer:

- **`sem_wait`** antes de cualquier sentencia P_i (ya que aparecen con signo negativo)
- **`sem_signal`** después de cualquier sentencia R_i (ya que aparecen con signo positivo)

Las sentencias P_i y R_i no suponen asignación ninguna (no hacen nada).

Esquema de las hebras

Por tanto, el esquema de las hebras, incluyendo la sincronización, será este:

```
{ variables compartidas y valores iniciales }
var mostr_vacio : semaphore := 1 ; { 1 si mostrador vacío, 0 si ocupado }
    ingr_disp   : array[0..2] of semaphore := { 0,0,0 } ;
        { 1 si el ingrediente i esta disponible en el mostrador, 0 si no}
```

```
process HebraEstanquero ;
  var i : integer ;
begin
  while true do begin
    i := Producir();
    sem_wait( mostr_vacio );
    print("puesto ingr.: ",i); {P_i}
    sem_signal( ingr_disp[i] );
 end
end
```

```
process HebraFumador[ i : 0..2 ]
begin
  while true do begin
    sem_wait( ingr_disp[i] ) ;
    print("retirado ingr.:",i); {R_i}
    sem_signal( mostr_vacio );
    Fumar( i );
  end
end
```

Subsección 4.2.
Plantillas de código.

Simulación de la acción de fumar

Para simular la acción de fumar se puede usar la función **fumar**, que tiene como parámetro el número de fumador, y produce un retraso aleatorio.

```
// función que simula la acción de fumar, como un retardo aleatorio de la hebra.
// recibe como parámetro el numero de fumador
void fumar( int num_fum )
{
  cout << "Fumador número " << num_fum << ": comienza a fumar." << endl;
  this_thread::sleep_for( chrono::milliseconds( aleatorio<50,200>() ));
  cout << "Fumador número " << num_fum << ": termina de fumar." << endl;
}

// funciones que ejecutan las hebras
void funcion_hebra_estanquero(  ) { .... }
void funcion_hebra_fumador( int num_fum ) { .... }

int main()
{
  // poner en marcha las hebras y esperar que terminen ......
}
```

Subsección 4.3.
Actividades y documentación..

Diseño de la solución

Diseña e implementa una solución al problema en C/C++ usando cuatro hebras y los semáforos necesarios. La solución debe cumplir los requisitos incluidos en la descripción, y además debe:

- Evitar interbloqueos entre las distintas hebras.
- Producir mensajes en la salida estándar que permitan hacer un seguimiento de la actividad de las hebras:
  - El estanquero debe indicar cuándo produce un suministro y qué suministro produce.
  - Cada fumador debe indicar cuándo espera, qué producto espera, y cuándo comienza y finaliza de fumar.

Documentación a incluir dentro del portafolios

Se incorporará al portafolios un documento incluyendo los siguientes puntos:

1. Nombres de los semáforos empleados para sincronización y, para cada uno de ellos:
   - Utilidad.
   - Valor inicial.
   - Hebras que hacen **`sem_wait`** y **`sem_signal`** sobre dicho semáforo.
2. Código fuente completo de la solución adoptada.

Fin de la presentación.