

MEMORIA

Programación Concurrente y Distribuida

Nombre Completo	Subgrupo	DNI
Juan Pedreño García	2.4	
Patricia Cuenca Guardiola	2.4	

Índice

Ejercicio 1: Introducción a la programación concurrente.....	2
Recursos no compartibles.....	2
Condiciones de sincronización.....	2
Pseudocódigo.....	2
Cuestiones planteadas.....	5
Código.....	5
Ejercicio 2: Semáforos.....	11
Recursos no compartibles.....	11
Condiciones de sincronización.....	12
Pseudocódigo.....	12
Cuestiones planteadas.....	14
Código.....	15
Ejercicio 3: Monitores.....	22
Recursos no compartibles.....	22
Condiciones de sincronización.....	22
Pseudocódigo.....	22
Cuestiones planteadas.....	27
Código.....	28
Ejercicio 4: Paso de mensajes.....	42
Recursos no compartibles.....	42
Condiciones de sincronización.....	42
Pseudocódigo.....	42
Cuestiones planteadas.....	46
Código.....	47

Ejercicio 1: Introducción a la programación concurrente

Recursos no compartibles

En este ejercicio, la pantalla sería un recurso no compartible ya que está dentro de una sección crítica protegida porque dos hilos no pueden escribir a la vez en pantalla.

Condiciones de sincronización

Para garantizar el acceso en exclusión mutua a la pantalla se utiliza un lock, el cual bloquea mientras un proceso generador está imprimiendo su resultado por pantalla y desbloquea cuando este finaliza.

Pseudocódigo

```
process type hilo_multiplicador(lock: mutex)
var
  A, resultado: matriz[3][3]
  m: Matriz
  iter: integer
begin
  for iter := 1 to 10 do
    m := generar_matriz()
    A := m
    resultado := multiplicar_matriz(A)
    lock.lock()
    println("Iteración ", iter, " - Hilo Multiplicador ( $A \times A$ ):")
    imprimir("Matriz A:", A)
    imprimir("Resultado  $A \times A$ :", resultado)
    lock.unlock()
  end for
end
```

```

process type hilo_sumador(lock: mutex)
var
  A, resultado: matriz[3][3]
  m: Matriz
  iter: integer
begin
  for iter := 1 to 10 do
    m := generar_matriz()
    A := m
    resultado := sumar_matriz(A)
    lock.lock()
    println("Iteración ", iter, " - Hilo Sumador (A + A):")
    imprimir("Matriz A:", A)
    imprimir("Resultado A + A:", resultado)
    lock.unlock()
  end for
end

procedure main()
var
  lock: mutex
begin
  lock := new mutex
  hilo_multiplicador(lock)
  hilo_sumador(lock)
end

process type matriz():

```

```

procedure generar_matriz()
var
  i, j: integer
  m: matriz[3][3]
begin
  for i := 0 to 2 do
    for j := 0 to 2 do
      m[i][j] := randomInt(0, 9)
    end
  end
  return m
end

procedure sumar_matriz(A: matriz[3][3])
var
  i, j: integer
  resultado: matriz[3][3]
begin
  for i := 0 to 2 do
    for j := 0 to 2 do
      resultado[i][j] := A[i][j] + A[i][j]
    end
  end
  return resultado
end

function multiplicar_matriz(A: matriz[3][3])
var
  i, j, k: integer
  resultado: matriz[3][3]
begin
  for i := 0 to 2 do

```

```

for j := 0 to 2 do
    resultado[i][j] := 0
    for k := 0 to 2 do
        resultado[i][j] := resultado[i][j] + A[i][k] * A[k][j]
    return resultado
end

procedure imprimir(titulo: string, A: matriz[3][3])
var
    i, j: integer
begin
    println(titulo)
    for i := 0 to 2 do
        for j := 0 to 2 do
            print(A[i][j], " ")
        println("")
    println("")
end

```

Cuestiones planteadas

- a) Si no utilizamos ningún mecanismo de sincronización, las líneas de un hilo se podrían intercalar con las del otro, sin orden. Aunque los hilos tengan su propia matriz y cálculo, ambos comparten el flujo de salida, que no está sincronizado por defecto.

Código

```

package ejercicio1;

import java.util.Random;

/**
 * Clase para generar una matriz cuadrada de tamaño fijo y realizar operaciones con ella.

```

```

*/
class Matriz {
    public static final int TAMANO_MATRIZ = 3; //Tamaño matriz
    public static final int NUM_RANDOM = 10;

    private int[][] matriz = new int[TAMANO_MATRIZ][TAMANO_MATRIZ]; //Matriz principal
    private Random random = new Random(); //Generar valores aleatorios

    /**
     * Rellena la matriz con valores aleatorios entre 0 y 9.
     */
    public void generar() {
        for (int i = 0; i < TAMANO_MATRIZ; i++)
            for (int j = 0; j < TAMANO_MATRIZ; j++)
                matriz[i][j] = random.nextInt(NUM_RANDOM); // números entre 0 y 9
    }

    /**
     * Devuelve la matriz generada.
     *
     * @return Matriz generada.
     */
    public int[][] getMatriz() {
        return matriz;
    }

    /**
     * Suma una matriz consigo misma.
     *
     * @param A Matriz a sumar.
     * @return Resultado de la suma A + A.
     */
    public static int[][] sumar(int[][] A) {

```

```

        int[][] resultado = new int[TAMANO_MATRIZ][TAMANO_MATRIZ];
        for (int i = 0; i < TAMANO_MATRIZ; i++)
            for (int j = 0; j < TAMANO_MATRIZ; j++)
                resultado[i][j] = A[i][j] + A[i][j];
        return resultado;
    }

    /**
     * Multiplica una matriz consigo misma ( $A \times A$ ).
     *
     * @param A Matriz a multiplicar.
     * @return Resultado de la multiplicación  $A \times A$ .
     */
    public static int[][] multiplicar(int[][] A) {
        int[][] resultado = new int[TAMANO_MATRIZ][TAMANO_MATRIZ];
        for (int i = 0; i < TAMANO_MATRIZ; i++)
            for (int j = 0; j < TAMANO_MATRIZ; j++)
                for (int k = 0; k < TAMANO_MATRIZ; k++)
                    resultado[i][j] += A[i][k] * A[k][j];
        return resultado;
    }

    /**
     * Imprime una matriz con título.
     *
     * @param titulo Título a mostrar antes de la matriz.
     * @param A Matriz a imprimir.
     */
    public static void imprimir(String titulo, int[][] A) {
        System.out.println(titulo);
        for (int[] fila : A) {

```



```

        for (int valor : fila) {
            System.out.printf("%4d", valor);
        }
        System.out.println();
    }
    System.out.println();
}

package ejercicio1;

import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

/**
 * Hilo que genera una matriz aleatoria y la multiplica consigo misma en varias
 * iteraciones.
 * Sincroniza la impresión de resultados usando un ReentrantLock.
 */
class HiloMultiplicador extends Thread {
    public static final int NUM_ITERACIONES = 10;    //número de repeticiones
    private final ReentrantLock lock; //Lock para sincronizar la salida por pantalla

    /**
     * Constructor.
     *
     * @param lock Objeto ReentrantLock compartido para sincronizar la salida por
     * pantalla.
     */
    public HiloMultiplicador(ReentrantLock lock) {
        this.lock = lock;
    }

    @Override
    public void run() {
        for (int iter = 0; iter < NUM_ITERACIONES ; iter++) { //10 iteraciones

```

```

        //Generamos la matriz
        Matriz m = new Matriz();
        m.generar();
        int[][] A = m.getMatriz(); //Obtenemos la matriz generada
        int[][] resultado = Matriz.multiplicar(A);    //Multiplicar matriz por sí
misma
        lock.lock();    //Bloquear acceso a pantalla
        try {
            System.out.println("Iteración " + (iter + 1) + " - Hilo Multiplicador
(A × A):");
            Matriz.imprimir("Matriz A:", A);
            Matriz.imprimir("Resultado A × A:", resultado);
        } finally {
            lock.unlock();    //Liberar bloqueo
        }
    }
}

package ejercicio1;

import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

/**
 * Hilo que genera una matriz aleatoria y la suma consigo misma en varias
iteraciones.
 * Utiliza un ReentrantLock para imprimir sin interferencia de otros hilos.
 */
class HiloSumador extends Thread {
    private final ReentrantLock lock;    //Sincronizar acceso a pantalla
    public static final int NUM_ITERACIONES = 10;
    /**
     * Constructor.
     *

```

```

    * @param lock ReentrantLock compartido para sincronización de pantalla.
    */

public HiloSumador(ReentrantLock lock) {

    this.lock = lock;
}

@Override

public void run() {

    for (int iter = 0; iter < NUM_ITERACIONES; iter++) {

        //Generamos matriz

        Matriz m = new Matriz();

        m.generar();

        int[][] A = m.getMatriz(); //Obtenemos la matriz generada

        int[][] resultado = Matriz.sumar(A);

        lock.lock();    //Bloquear acceso a pantalla

        try {

            System.out.println("Iteración "+(iter + 1) + "-Hilo Sumador (A+A:)");

            Matriz.imprimir("Matriz A:", A);

            Matriz.imprimir("Resultado A + A:", resultado);

        } finally {

            lock.unlock();    //Liberar bloqueo

        }

    }

}

package ejercicio1;

import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

/**

* Clase principal que ejecuta dos hilos en paralelo para realizar operaciones con
matrices:

* uno para suma y otro para multiplicación.

```

```

*

* Usa concurrencia segura mediante ReentrantLock para evitar solapamiento en la
  consola.

*/

public class Ejercicio1 {

    /**

    * Punto de entrada del programa. Inicia los hilos y espera su finalización.

    *

    * @param args Argumentos de línea de comandos (no utilizados).

    */

    public static void main(String[] args) {

        //Lock para la sincronización entre hilos

        ReentrantLock lock = new ReentrantLock();

        //Creación de hilos, uno para sumar y otro para multiplicar

        Thread hilo1 = new HiloMultiplicador(lock);

        Thread hilo2 = new HiloSumador(lock);


        // Iniciar los hilos

        hilo1.start();

        hilo2.start();

    }

}

```

Ejercicio 2: Semáforos

Recursos no compartibles

En este ejercicio, los recursos no compartibles serían cada uno de los paneles debido a que estos solo pueden ser usados por un hilo a la vez.

Condiciones de sincronización

Cada hilo tiene que esperar que uno de los paneles esté disponible para poder escribir en él.

Pseudocódigo

```
//Variables globales
```

```
const NUM_PANELES = 3
```

```
const NUM_HILOS = 10
```

```
const NUM_ITERACIONES = 3
```

```
const NUM_FILAS = 10
```

```
Semaphore S[1..NUM_PANELES] //Un semaforo por panel
```

```
Panel paneles[1..NUM_PANELES]
```

```
// Inicialización
```

```
para i := 1 hasta NUM_PANELES hacer
```

```
    initial(S[i], 1)
```

```
    paneles[i] := nuevo Panel("panel"+i, (i-1)*500, 0)
```

```
fin para
```

```
//Programa principal
```

```
HiloSuma[1..NUM_HILOS] hilos
```

```
begin
```

```
    para i := 1 hasta NUM_HILOS hacer
```

```
        hilos(i) := HiloSuma(i)
```

```
        start(hilos(i))           //Inicializamos los hilos
```

```
    fin para
```

```
end
```

```

//Proceso HiloSuma

proceso HiloSuma(i: entero)
begin
    repetir NUM_ITERACIONES veces
        matriz A := generar()           //Hacemos las operaciones
        matriz B := generar()
        matriz C := sumaMatrices(A, B)

    mostrado := falso
    mientras no mostrado hacer
        para j := 1 hasta NUM_PANELES hacer
            si S[j].valor != 0 entonces //Cuando haya un panel libre, lo usamos para sacar el resultado
                wait(S[j]);
                paneles[j].escribir("Hilo: " + i)
                paneles[j].escribir("Matriz A:")
                para k := 1 hasta NUM_FILAS hacer
                    paneles[j].escribir(linea(A, k))
                fin para
                paneles[j].escribir("Matriz B:")
                para k := 1 hasta NUM_FILAS hacer
                    paneles[j].escribir(linea(B, k))
                fin para
                paneles[j].escribir("Matriz C (A+B):")
                para k := 1 hasta NUM_FILAS hacer
                    paneles[j].escribir(linea(C, k))

```

```

        fin para
        mostrado := verdadero
        signal(S[j])
        salir del para
    fin si
fin para
fin mientras
fin repetir
fin
//Funcion para sumar 2 matrices diferentes
función sumaMatrices(A, B)
    para i := 1 hasta NUM_FILAS hacer
        para j := 1 hasta NUM_FILAS hacer
            C[i][j] := A[i][j] + B[i][j]    //Sumamos las matrices
        fin para
    fin para
    devolver C
fin

```

Cuestiones planteadas

- a) Este problema recuerda al problema de los filósofos, por el número limitado de recursos (los 3 paneles) y por la necesidad de exclusión mutua (sólo un hilo puede acceder a un panel a la vez).
- b) Si solo hay un panel, el acceso es secuencial, esto crea una cola de espera y si hay muchos hilos puede que la espera sea muy larga.

En el caso de que hubiese tres paneles, hasta 3 hilos podrían usar simultáneamente un panel cada uno. Esto reduce el tiempo de espera y mejora la eficiencia y el paralelismo.

- c) Para resolver este problema hemos usado tres semáforos binarios cada uno indicando si se puede o no se puede usar determinado panel.

Código

```
package ejercicio2;

import java.util.concurrent.Semaphore;

/**
 * Clase principal que inicia la ejecución del programa.
 * Se crean 3 paneles y semáforos, y se inician 10 hilos que operan sobre ellos.
 */

public class Ejercicio2 {

    /** Número de paneles utilizados en la aplicación. */
    public static int NUM_PANELES = 3;

    /** Número total de hilos que se ejecutarán. */
    public static int NUM_HILOS = 10;

    /**
     * Método principal que configura y lanza los hilos con sus respectivos paneles y
     * semáforos.
     *
     * @param args Argumentos de línea de comandos (no utilizados en esta
     * aplicación).
     */
    public static void main(String[] args) {

        // Inicialización de Paneles

        Panel pan1 = new Panel("panel1", 0, 0);

        Panel pan2 = new Panel("panel2", 500, 0);

        Panel pan3 = new Panel("panel3", 1000, 0);

        Panel[] paneles = new Panel[NUM_PANELES];

        paneles[0] = pan1;

        paneles[1] = pan2;
```



```

paneles[2] = pan3;

// Inicialización de Semáforos (uno por panel)
Semaphore s1 = new Semaphore(1);
Semaphore s2 = new Semaphore(1);
Semaphore s3 = new Semaphore(1);
Semaphore[] semaforos = new Semaphore[NUM_PANELES];
semaforos[0] = s1;
semaforos[1] = s2;
semaforos[2] = s3;

// Inicialización y ejecución de hilos
HiloSuma[] hilos = new HiloSuma[NUM_HILOS];

for (int i = 0; i < NUM_HILOS; i++) {
    hilos[i] = new HiloSuma(i, semaforos, paneles);
    hilos[i].start();
}
}

package ejercicio2;

import java.util.concurrent.Semaphore;

/**
 * Clase que representa un hilo que realiza la suma de dos matrices y muestra el
 * resultado
 * en uno de los paneles disponibles, utilizando semáforos para sincronizar el
 * acceso.
 */
public class HiloSuma extends Thread {

```

```

/** Número de iteraciones que realiza cada hilo. */
public static final int NUM_ITERACIONES = 3;

/** Número de filas que contienen las matrices. */
public static final int NUM_FILAS = 10;

    /** Arreglo de semáforos, uno por cada panel, para controlar el acceso
    concurrente. */

    private Semaphore[] semaforos;

    /** Arreglo de paneles donde se mostrarán los resultados. */
    private Panel[] paneles;

    /** Identificador del hilo. */
    private final int id;

    /**
     * Constructor de la clase HiloSuma.
     *
     * @param i Identificador del hilo.
     * @param s Arreglo de semáforos correspondientes a los paneles.
     * @param p Arreglo de paneles disponibles para mostrar resultados.
     */
    public HiloSuma(int i, Semaphore[] s, Panel[] p) {
        this.semaforos = s;
        this.paneles = p;
        this.id = i;
    }

    /**
     * Método que ejecuta el hilo. Cada hilo realiza varias iteraciones en las que
     genera dos matrices,
     *
     * las suma, y muestra el resultado en uno de los paneles disponibles, asegurando
     exclusión mutua
     *
     * mediante semáforos.
     */

```

```

@Override
public void run() {
    for (int iter = 0; iter < NUM_ITERACIONES; iter++) {
        // Generamos las matrices A y B con valores aleatorios
        Matriz2 a = new Matriz2();
        Matriz2 b = new Matriz2();
        a.generar();
        b.generar();
        int[][] A = a.getMatriz();
        int[][] B = b.getMatriz();
        // Realizamos la suma de matrices A y B, almacenando el resultado en C
        Matriz2 resultado = new Matriz2(Matriz2.sumar(A, B));
        boolean mostrado = false;
        // Intentamos mostrar el resultado en uno de los paneles disponibles
        while (!mostrado) {
            for (int i = 0; i < paneles.length; i++) {
                if (semaforos[i].tryAcquire()) { // Intenta adquirir el semáforo
                    sin bloquear
                        try {
                            // Escribimos en el panel la información generada por el
                            hilo
                                paneles[i].escribir_mensaje("Hilo: " + id);
                                paneles[i].escribir_mensaje("Matriz A:");
                                for (int j = 0; j < NUM_FILAS; j++) {
                                    paneles[i].escribir_mensaje(a.getLinea(j));
                                }
                                paneles[i].escribir_mensaje("Matriz B:");
                                for (int j = 0; j < NUM_FILAS; j++) {
                                    paneles[i].escribir_mensaje(b.getLinea(j));
                                }

```

```

        paneles[i].escribir_mensaje("Matriz C (A+B):");
        for (int j = 0; j < NUM_FILAS; j++) {
            paneles[i].escribir_mensaje(resultado.getLinea(j));
        }
        mostrado = true;
        break;
    } finally {
        // Liberamos el semáforo tras usar el panel
        semaforos[i].release();
    }
}

}

}

}

}

}

package ejercicio2;

import java.util.Random;

/**
 * Clase que representa una matriz cuadrada de enteros y proporciona métodos para
 * generar valores aleatorios, sumar matrices, imprimirlas y obtener líneas como
 * texto.
 */

class Matriz2 {
    /** Tamaño de la matriz (número de filas y columnas). */
    public static final int TAMANO_MATRIZ = 10;

    /** Límite para los valores aleatorios generados. */
    public static final int NUM_RANDOM = 10;

    /** Matriz de enteros representada como arreglo bidimensional. */
    private int[][] matriz = new int[TAMANO_MATRIZ][TAMANO_MATRIZ];

```

```

/** Semilla de números aleatorios. */
private Random random = new Random();

/**
 * Constructor por defecto. Inicializa la matriz sin valor.
 */
public Matriz2() {

}

/**
 * Constructor que recibe una matriz preexistente para asignarla internamente.
 *
 * @param a Matriz de enteros que se utilizará como base.
 */
public Matriz2(int[][] a) {
    this.matriz = a;
}

/**
 * Genera números aleatorios para llenar la matriz.
 */
public void generar() {
    for (int i = 0; i < TAMANO_MATRIZ; i++) {
        for (int j = 0; j < TAMANO_MATRIZ; j++) {
            matriz[i][j] = random.nextInt(NUM_RANDOM);
        }
    }
}

/**
 * Retorna la matriz actual.
 */

```

```

    * @return Matriz de enteros.
    */
public int[][] getMatriz() {
    return matriz;
}
/**
 * Realiza la suma de dos matrices A y B.
 *
 * @param A Primera matriz de enteros.
 * @param B Segunda matriz de enteros.
 * @return Nueva matriz con la suma de A y B.
 */
public static int[][] sumar(int[][] A, int[][] B) {
    int[][] resultado = new int[TAMANO_MATRIZ][TAMANO_MATRIZ];
    for (int i = 0; i < TAMANO_MATRIZ; i++) {
        for (int j = 0; j < TAMANO_MATRIZ; j++) {
            resultado[i][j] = A[i][j] + B[i][j];
        }
    }
    return resultado;
}
/**
 * Devuelve una línea de la matriz como una cadena de texto con los valores
separados por espacios.
 *
 * @param l Índice de la fila deseada ( $0 \leq l < \text{TAMANO\_MATRIZ}$ ).
 * @return Cadena de texto con los valores de la fila separados por espacios.
 */
public String getLinea(int l) {
    StringBuffer str = new StringBuffer();

```

```

        for (int i = 0; i < TAMANO_MATRIZ; i++) {
            str.append(matriz[l][i] + " ");
        }
        return str.toString();
    }
}

```

Ejercicio 3: Monitores

Recursos no compartibles

En este caso, los recursos no compartibles son la pantalla, ya que solo un hilo cliente puede imprimir a la vez. Así como el monitor, que es un objeto para pedir acceso a las máquinas. Por otro lado, está el mutexPantalla, un objeto para pedir acceso a la pantalla. Por último, el lavadero, objeto que controla el acceso a la zona de lavado.

Condiciones de sincronización

Las condiciones de sincronización serían las máquinas, ya que un cliente no puede usar ninguna hasta que haya alguna disponible y los lavaderos, debido a que los clientes también tienen que esperar a que quede alguno libre.

Pseudocódigo

//Variables globales

const NUM_CLIENTES = 50

const NUM_LAVADEROS = 4

const NUM_MAQUINAS = 3

Lavadero lavadero //Gestiona los lavaderos

Monitor monitor //Gestiona las maquinas

MutexPantalla mutex //Gestiona el acceso a la pantalla

//Inicialización

HiloCliente[0..NUM_CLIENTES] clientes

```

begin
    para i := 0 hasta NUM_CLIENTES hacer
        clientes(i) := HiloCliente(i)
        start(clientes(i)) //Inicializamos los hilos y los iniciamos
    fin para
end

//Proceso HiloCliente
proceso HiloCliente(i: entero)
    int tiempoServicio := random(500, 1000)
    int tiempoLavado := random(1000, 2000)
    begin
        int maquina = monitor.pedirMaquina() //Solicitamos una maquina
        esperar(tiempoServicio)
        mutex.pedirAcceso()          //Pedimos acceso a pantalla
        maquina := maquina + 1      //Imprimimos la info de la maquina
        print("Cliente " + i + " ha solicitado su servicio en la máquina: " + maquina)
        print("Tiempo en solicitar el servicio: " + tiempoServicio)
        idLavadero := lavadero.seleccionarCola() //Miramos en que lavadero nos ponemos
        print("El coche será lavado en el lavadero nº: " + idLavadero) //Info del lavadero
        print("Tiempo en lavar el coche: " + tiempoLavado)
        print("Tiempo de espera en la ")
        para j := 0 hasta 3 hacer //Info de las colas
            print("lavadero" + j + " = " + tiempoCola[j])
        fin para
        print("\n")
        mutex.liberarAcceso() //Liberamos la pantalla
    end
end

```



```

        lavadero.añadirTiempoLavado(tiempoLavado)

        esperar(tiempoLavado)

        lavadero.liberarLavadero(idLavadero)

end

//Clase Lavadero

l1 := lock

c1 := condition      //Una condición por cada lavadero
c2 := condition
c3 := condition
c4 := condition

colas := int[NUM_LAVADEROS]
libre := boolean[NUM_LAVADEROS]
tiempoColas := Mapa<entero, entero>
arrayColas := {c1, c2, c3, c4}

funcion colaMasVacía()

    l1.lock()

    masPequeña := INFINITO

    idMasPequeña := 0

    para entero idCola in tiempoColas.llaves()

        actual := tiempoColas.get(idCola) || 0      //Buscamos la cola con menos tiempo de
        si actual < masPequeña entonces              //espera y la devolvemos

            idMasPequeña := idCola

            masPequeña := actual

        fin si

    fin para

    l1.unlock()

```

devuelve idMasPequeña

función seleccionarCola()

l1.lock()

id := -1

para i in 0..NUM_COLAS

 si(libre[i]) entonces id := i fin si //Si hay una libre seleccionamos esa

fin para

si id == -1 entonces id = colaMasVacía() //Si no hay ninguna libre la que tenga menos

l1.unlock() //tiempo de espera

devuelve id

procedimiento añadirTiempoLavado(entero: id, tiempoLavado)

l1.lock()

si NOT libre[id] entonces

 colas[id] += 1 //Añadimos la cola

 actual = tiempoColas.get(id) || 0

 actual += tiempoLavado //Sumamos el tiempo de lavado

 tiempoColas.put(id, actual)

fin si

mientras NOT libre[id]

 esperar(arrayColas[id])

fin mientras

libre[id] := false

actual := tiempoColas.get(id) || 0

si actual != 0 entonces

 actual -= tiempoLavado //Cuando acaba el lavado lo restamos

```

        l1.unlock()
procedimiento liberarLavadero(entero: id)
    l1.lock()
    libre[id] := true
    signalAll(arrayColas[id])
    l1.unlock()
//Clase Monitor
ocupadas := entero
libre := boolean[NUM_MAQUINAS]    //Indica que colas estan libres
l := lock
infolibre := condition
funcion pedirMaquina
    l.lock()
    mientras(ocupadas == 3)        //Si estan todas ocupadas esperamos
        wait(nolibre)
    fin mientras
    id := 0
    mientras NOT libre[id]        //Si no miramos cual es la que esta libre
        id += 1
    fin mientras
    libre[id] = false            //La ocupamos
    ocupadas += 1
    l.unlock()
    devuelve id
procedimiento liberarMaquina(entero: id)
    l.lock()

```

```

    libre[id] = true      //Liberamos la cola
    ocupadas -= 1
    signalAll(nolibre)
    l.unlock()

//Clase Mutex Pantalla
ocupada := false
ll := lock
c := condition

procedimiento pedirAcceso()
    ll.lock()
    mientras ocupada      //Si esta ocupada esperamos
        wait(c)
    fin mientras
    ocupada = true        //Cuano lo deje de estar la ocupamos
    ll.unlock()

procedimiento liberarAcceso()
    ll.lock()
    ocupada := false      //La desocupamos
    signal(c)
    ll.unlock()

```

Cuestiones planteadas

- a) La acción de lavar un coche es concurrente, ya que puede haber 4 hilos cliente lavando su coche uno en cada lavadero al mismo tiempo.

- b) Es un monitor implementado con ReentrantLock y Condition. Ponemos una condición por cada una de las 4 colas. En cada procedimiento, el lock impide que otros hilos accedan a la sección crítica. Además, con las 4 condiciones, en el momento en el que alguien termina de usar un lavadero se avisa a todos los otros hilos que están en esa cola para que vean si les toca.
- c) Se ha utilizado notifyAll/signalAll, ya que no hay problema en avisar a todos los clientes, así, cuando una máquina o lavadero queda libre, todos los hiloCliente que estén esperando despiertan para usar el recurso. No se podría usar en caso de que solo hubiera que avisar a ciertos clientes de que una máquina/lavadero está libre.
- d) Mediante un monitor específico para la pantalla llamado MutexPantalla, usando un ReentrantLock y una Condition. Haciendo que no más de un hilo pueda usar la consola a la vez.

Código

```
package ejercicio3;

/**
 * Clase principal que simula la llegada de múltiples clientes a un lavadero de
 * coches.
 */
public class Ejercicio3 {

    /** Número total de clientes que serán creados y ejecutados como hilos. */
    public static final int NUM_CLIENTES = 50;

    /**
     * Método principal que inicializa los monitores y lanza los hilos clientes.
     *
     * @param args Argumentos de la línea de comandos (no utilizados en esta
     * aplicación).
     */
    public static void main(String[] args) {

        // Inicialización de monitores

        Monitor monitorMaquinas = new Monitor();

        MutexPantalla monitorPantalla = new MutexPantalla();

        Lavadero monitorLavadero = new Lavadero();
```

```

        // Creación y ejecución de hilos clientes

        HiloCliente[] clientes = new HiloCliente[NUM_CLIENTES];

        for (int i = 0; i < NUM_CLIENTES; i++) {

            clientes[i] = new HiloCliente(i, monitorMaquinas, monitorPantalla,
monitorLavadero);

            clientes[i].start();

        }

    }

}

package ejercicio3;

import java.util.Random;

/**
 * Clase que representa un cliente que solicita un servicio de máquina y lavado en un
lavadero.
 *
 * Cada cliente se ejecuta como un hilo independiente.
 */

public class HiloCliente extends Thread {

    /** Tiempo que el cliente usará la máquina de autoservicio (en milisegundos). */
    private int tiempoServicio;

    /** Tiempo que el coche del cliente estará en el lavadero (en milisegundos). */
    private int tiempoLavado;

    /** Identificador único del cliente. */
    private int id;

    /** Monitor compartido que gestiona las máquinas disponibles. */
    private Monitor monitor;

    /** Monitor para solicitar escribir en pantalla. */
    private MutexPantalla mutex;

    /** Lavadero compartido donde los coches serán lavados en colas independientes. */
    private Lavadero lavadero;

    /** Número total de colas del lavadero. */

```

```

private final static int NUMERO_COLAS = 4;

/**
 * Constructor que inicializa los datos del cliente y sus tiempos de
 * espera/lavado.
 *
 * @param id Identificador del cliente.
 * @param monitor Referencia al monitor que controla las máquinas.
 * @param mutex Referencia al monitor de acceso a la pantalla.
 * @param lav Lavadero donde se procesarán los lavados.
 */
public HiloCliente(int id, Monitor monitor, MutexPantalla mutex, Lavadero lav) {
    this.id = id;
    this.monitor = monitor;
    this.tiempoLavado = tiempoLavado();
    this.tiempoServicio = tiempoMaquina();
    this.mutex = mutex;
    this.lavadero = lav;
}

/**
 * Genera un tiempo aleatorio para el lavado del coche.
 *
 * @return Tiempo de lavado en milisegundos (entre 1000 y 2000).
 */
public int tiempoLavado() {
    int min = 1000;
    int max = 2000;
    Random random = new Random();
    return random.nextInt(max - min + 1) + min;
}

/**

```

```

    * Genera un tiempo aleatorio para el uso de la máquina de autoservicio.
    *
    * @return Tiempo de servicio en milisegundos (entre 500 y 1000).
    */
public int tiempoMaquina() {
    int min = 500;
    int max = 1000;
    Random random = new Random();
    return random.nextInt(max - min + 1) + min;
}

/**
 * Método que define el comportamiento del hilo cliente:
 * pide una máquina, simula el uso, selecciona una cola de lavado, espera su turno
 * y finalmente libera el lavadero.
 */
@Override
public void run() {
    try {
        // Solicitar una máquina del monitor
        int maquina = this.monitor.pedirMaquina();
        // Simular uso de la máquina
        Thread.sleep(this.tiempoServicio);
        // Liberar la máquina
        this.monitor.liberarMaquina(maquina);
        // Mostrar información en pantalla (protegido por mutex)
        mutex.pedirAcceso();

        System.out.println("Cliente " + id + " ha solicitado su servicio en la
máquina: " + (maquina + 1));

        System.out.println("Tiempo en solicitar el servicio: " +
this.tiempoServicio);
    }
}

```



```

        // Seleccionar el lavadero más conveniente
        int idLavadero = lavadero.seleccionarCola();

        System.out.println("El coche será lavado en el lavadero nº: " +
idLavadero);

        System.out.println("Tiempo en lavar el coche: " + this.tiempoLavado);
        mutex.liberarAcceso();

        // Mostrar tiempos de espera en todas las colas
        mutex.pedirAcceso();

        System.out.print("Tiempo de espera en la ");
        for (int i = 0; i < NUMERO_COLAS; i++) {
            System.out.print("lavadero" + i + " = " + lavadero.tiempoCola(i) + "
");
        }

        System.out.println("\n");
        mutex.liberarAcceso();

        // Añadir tiempo de lavado a la cola seleccionada
        lavadero.anadirTiempoLavadero(idLavadero, this.tiempoLavado);
        // Simular el tiempo de lavado
        Thread.sleep(tiempoLavado);

        // Liberar el lavadero
        lavadero.liberarLavadero(idLavadero);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }
}

}

package ejercicio3;

import java.util.ArrayList;
import java.util.Collections;
import java.util.TreeMap;

```

```

import java.util.concurrent.locks.Condition;
import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

/**
 * Clase que simula un sistema de lavado de coches con 4 lavaderos.
 * Cada lavadero tiene una cola controlada mediante condiciones y un control de
 * tiempos acumulados.
 * Se usa programación concurrente con ReentrantLock y Condition.
 */
public class Lavadero {

    /** Candado para proteger el acceso concurrente a los lavaderos. */
    private ReentrantLock l1 = new ReentrantLock();

    /** Condiciones asociadas a cada cola del lavadero. */
    private Condition cola1 = l1.newCondition();
    private Condition cola2 = l1.newCondition();
    private Condition cola3 = l1.newCondition();
    private Condition cola4 = l1.newCondition();

    /** Arreglo que almacena el número de clientes esperando en cada cola. */
    private int[] colas;

    /** Estado de disponibilidad de cada lavadero. */
    private boolean[] libre;

    /** Lista que contiene las condiciones para cada cola. */
    private ArrayList<Condition> arrayColas;

    /**
     * Mapa que almacena el tiempo total de espera acumulado por cola.
     * La clave es el ID del lavadero y el valor es el tiempo.
     */
    private TreeMap<Integer, Integer> tiempoColas;

    /** Número total de lavaderos disponibles. */
    private final static int NUM_LAVADEROS = 4;

    /**

```

```

    * Devuelve el tiempo de espera acumulado en la cola de un lavadero dado.
    *
    * @param id Identificador del lavadero.
    * @return Tiempo total de espera acumulado en milisegundos.
    */
public int tiempoCola(int id) {
    return this.tiempoColas.getDefault(id, 0);
}

/**
 * Constructor de la clase Lavadero.
 * Inicializa las colas, condiciones, estados de disponibilidad y tiempos.
 */
public Lavadero() {
    colas = new int[NUM_LAVADEROS];
    arrayColas = new ArrayList<>();
    Collections.addAll(arrayColas, cola1, cola2, cola3, cola4);
    // Inicializar colas y lavaderos como libres
    for (int i = 0; i < NUM_LAVADEROS; i++) {
        colas[i] = 0;
    }
    libre = new boolean[NUM_LAVADEROS];
    for (int i = 0; i < NUM_LAVADEROS; i++) {
        libre[i] = true;
    }
    tiempoColas = new TreeMap<>();
}

/**
 * Determina cuál es la cola con menor tiempo de espera acumulado.
 */

```

```

    * @return El índice de la cola más vacía.
    */
private int colaConMenosTiempo() {
    ll.lock();

    int masPequeña = Integer.MAX_VALUE;
    int idColaMasPequeña = 0;

    for (int idcola : this.tiempoColas.keySet()) {
        int actual = tiempoColas.getOrDefault(idcola, 0);

        if (actual < masPequeña) {
            idColaMasPequeña = idcola;
            masPequeña = actual;
        }
    }

    ll.unlock();

    return idColaMasPequeña;
}

/**
 * Selecciona el lavadero más adecuado para el siguiente cliente.
 * Si hay algún lavadero libre, se elige ese.
 * En caso contrario, se elige la cola con menor tiempo de espera.
 *
 * @return El ID del lavadero seleccionado.
 */
public int seleccionarCola() {
    ll.lock();

    int id = -1;

    for (int i = 0; i < this.libre.length; i++) {
        if (libre[i]) {
            id = i; // se mete en el último libre encontrado
        }
    }
}

```

```

        }

    }

    if (id == -1) {

        id = colaConMenosTiempo();

    }

    l1.unlock();

    return id;

}

/**
 * Añade el tiempo de lavado a la cola del lavadero y espera su turno si no está
libre.
 *
 * @param id ID del lavadero.
 * @param tiempoLavado Tiempo de lavado en milisegundos.
 */
public void anadirTiempoLavadero(int id, int tiempoLavado) {

    l1.lock();

    // Si el lavadero está ocupado, se suma el tiempo a la cola
    if (!libre[id]) {

        colas[id]++;

        int actual = this.tiempoColas.getDefault(id, 0);

        actual += tiempoLavado;

        this.tiempoColas.put(id, actual);

    }

    // Esperar a que el lavadero esté libre
    while (!libre[id]) {

        try {

            arrayColas.get(id).await();

        } catch (InterruptedException e) {

            e.printStackTrace();

        }

    }

}

```

```

        }

    }

    // Una vez liberado, continuar
    if (colas[id] != 0) {
        colas[id]--; // se retira de la cola
    }

    libre[id] = false;

    // Actualizar tiempo restante de espera
    int actual = this.tiempoColas.getOrDefault(id, 0);
    if (actual != 0) {
        actual -= tiempoLavado;
    }

    this.tiempoColas.put(id, actual);
    l1.unlock();
}

/**
 * Libera un lavadero y notifica a los hilos que están esperando en su cola.
 *
 * @param id ID del lavadero que se libera.
 */
public void liberarLavadero(int id) {
    l1.lock();

    libre[id] = true;

    arrayColas.get(id).signalAll(); // notificar a todos los clientes en espera
    l1.unlock();
}
}

package ejercicio3;

import java.util.concurrent.locks.*;

```

```

/**
 * Monitor que gestiona el acceso concurrente a un conjunto de máquinas de servicio.
 * Solo hay 3 máquinas, y los hilos deben esperar si todas están ocupadas.
 * Utiliza ReentrantLock y Condition.
 */
public class Monitor {
    /** Número de máquinas actualmente ocupadas. */
    private int ocupadas;

    /** Arreglo que indica si cada máquina está libre (true) u ocupada (false). */
    private boolean[] libre;

    /** Lock para proteger el acceso concurrente al monitor. */
    private ReentrantLock l = new ReentrantLock();

    /** Condición utilizada para esperar si no hay máquinas libres. */
    private Condition nolibre = l.newCondition();

    /**
     * Constructor del monitor. Inicializa las 3 máquinas como libres.
     */
    public Monitor() {
        libre = new boolean[3];
        libre[0] = true;
        libre[1] = true;
        libre[2] = true;
        ocupadas = 0;
    }

    /**
     * Método que permite a un hilo solicitar una máquina.
     * Si todas están ocupadas, el hilo espera hasta que una esté disponible.
     *
     * @return El ID de la máquina asignada (0, 1 o 2).
     */

```

```

    * @throws InterruptedException si el hilo es interrumpido mientras espera.
    */
public int pedirMaquina() throws InterruptedException {
    l.lock();
    try {
        // Esperar si todas las máquinas están ocupadas
        while (ocupadas == 3) {
            nolibre.await();
        }
        // Buscar una máquina libre
        int id = 0;
        while (!libre[id]) {
            id++;
        }
        libre[id] = false; // Marcar como ocupada
        ocupadas++;
        return id;
    } finally {
        l.unlock();
    }
}

/**
 * Libera la máquina con el ID especificado y notifica a los hilos en espera.
 *
 * @param id ID de la máquina a liberar (0, 1 o 2).
 */
public void liberarMaquina(int id) {
    l.lock();
    try {

```



```

        libre[id] = true;

        ocupadas--;

        nolibre.signalAll(); // Notificar a los hilos en espera
    } finally {
        l.unlock();
    }
}

}

package ejercicio3;

import java.util.concurrent.locks.Condition;
import java.util.concurrent.locks.ReentrantLock;

/**
 * MutexPantalla es un monitor que implementa exclusión mutua
 * para el acceso a la pantalla con ReentrantLock y Condition.
 */

public class MutexPantalla {

    /** Indica si el recurso está ocupado por algún hilo. */
    private boolean ocupada;

    /** Lock utilizado para garantizar la exclusión mutua. */
    private ReentrantLock l1 = new ReentrantLock();

    /** Condición asociada al lock para esperar cuando el recurso está ocupado. */
    private Condition c = l1.newCondition();

    /**
     * Inicializa el estado del recurso como libre.
     */

    public MutexPantalla() {
        ocupada = false;
    }

    /**

```

```

* Solicita acceso exclusivo al recurso.
* Si ya está siendo utilizado por otro hilo, espera hasta que esté libre.
*/

public void pedirAcceso() {
    l1.lock();

    try {
        while (ocupada) {
            try {
                c.await();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }

        ocupada = true;
    } finally {
        l1.unlock();
    }
}

/**
* Libera el acceso exclusivo al recurso y notifica a los hilos en espera.
*/

public void liberarAcceso() {
    l1.lock();

    try {
        ocupada = false;
        c.signal(); // Despierta a un hilo que esté esperando acceso
    } finally {
        l1.unlock();
    }
}

```

```
}  
  
}
```

Ejercicio 4: Paso de mensajes

Recursos no compartibles

En este problema, los recursos no compartibles son las colas para pagar y la pantalla por la que se muestran los mensajes. Las colas son de uso exclusivo para cada Persona y la pantalla es de uso exclusivo para el Controlador.

Condiciones de sincronización

Las condiciones de sincronización son el acceso a las colas ya que las personas compiten para acceder a ellas. Además el controlador gestiona el acceso a las colas, asegurándose de que cada persona sea asignada a una caja libre.

Por otro lado, después de que una persona completa el pago, la cola debe ser liberada para que otra persona pueda usarla. El controlador libera las cajas una vez que una persona ha completado su pago.

Asimismo, el controlador imprime información en la pantalla. La sincronización asegura que solo un hilo a la vez pueda imprimir en la pantalla para evitar problemas de concurrencia.

Pseudocódigo

```
process type Persona(id: integer;  
    enviar, respuesta, colaR, colaL, liberar, imprimir: mailbox of string);  
  
const  
    PAGOS = 5;  
    NUM_RANDOM = 10;  
  
var  
    tiempoCompra, tiempoPago: integer;  
    asignada: string;  
    info: string;  
  
begin
```

```

for i := 1 to PAGOS do
begin
    // 1. Simula tiempo de compra
    tiempoCompra := random(NUM_RANDOM) + 1;
    wait(tiempoCompra * 100);
    // 2. Solicita al controlador
    send(enviar, toString(id));
    // Recibe tiempoPago y cola asignada (R o L)
    receive(respuesta, texto);
    dividir texto en partes por ","
    tiempoPago := toInteger(partes[0]);
    asignada := partes[1];
    // Entra en la cola correspondiente
    if asignada = "R" then
        send(colaR, toString(id))
    else
        send(colaL, toString(id));
    end;
    // Espera confirmación para pagar
    receive(respuesta, _);
    // 3. Simula el pago
    wait(tiempoPago * 100);
    // 4. Libera la cola usada
    send(liberar, asignada);
    // 5. Envía mensaje para impresión
    info := "Persona " + toString(id) +

```

```

        " usó cola " + asignada +
        " durante " + toString(tiempoPago * 100);
    send(imprimir, info);
end;
end;
process type Controlador(enviar, colaR, colaL, liberar, imprimir: mailbox of string;
    buzonesPersonas: array[1..N] of mailbox of string);
var
    colaRLibre, colaLLibre: boolean := true;
    activo: boolean := true;
    id, respuesta, mensaje, cola: string;
    tiempoPago: integer;
    selector: selector;
begin
    agregar al selector: enviar, colaR, colaL, liberar, imprimir
    while activo do
        begin
            setGuard(colar, colaRLibre);
            setGuard(colal, colaLLibre);
            select
                // 1. Solicitud de cola
                receive(enviar, id);
                tiempoPago := random(10) + 1;
                if tiempoPago >= 5 then
                    respuesta := toString(tiempoPago) + ",R"
                else

```

```

        respuesta := toString(tiempoPago) + ",L";
        send(buzonesPersonas[toInteger(id)], respuesta);
// 2. Entrada a cola R
or
    receive(colar, id);
    colaRLibre := false;
    send(buzonesPersonas[toInteger(id)], "ok");
// 3. Entrada a cola L
or
    receive(colal, id);
    colaLLibre := false;
    send(buzonesPersonas[toInteger(id)], "ok");
// 4. Liberación de cola
or
    receive(liberar, cola);
    if cola = "R" then
        colaRLibre := true
    else
        colaLLibre := true;
// 5. Imprimir o terminar
or
    receive(imprimir, mensaje);
    if mensaje = "TERMINAR" then
        activo := false
    else
        println(mensaje);

```

```

        end select;

    end;

end;

program ejercicio4;

const
    NUM_PERSONAS = 50;

var
    i: integer;

    enviar, colaR, colaL, liberar, imprimir: mailbox of string;

    buzonesPersonas: array[1..NUM_PERSONAS] of mailbox of string;

    personas: array[1..NUM_PERSONAS] of process;

begin
    crear buzones: enviar, colaR, colaL, liberar, imprimir;

    for i := 1 to NUM_PERSONAS do
        crear buzonesPersonas[i];

    start proceso Controlador(enviar, colaR, colaL, liberar, imprimir, buzonesPersonas);

    for i := 1 to NUM_PERSONAS do
        start proceso Persona(i, enviar, buzonesPersonas[i], colaR, colaL, liberar, imprimir);

    end;

end;

```

Cuestiones planteadas

- a) Sí, ya que aunque cada cola solo puede ser utilizada por un único proceso a la vez, es posible que la cola rápida esté siendo utilizada por un hilo y la cola lenta por otro. El controlador se encarga de llevar un registro del estado de ocupación de las colas. Si una cola está ocupada, cuando un proceso Persona solicita acceso a ella, deberá esperar hasta que el proceso anterior haya liberado la cola correspondiente. De este modo, se asegura que únicamente un proceso persona utilice la cola en un momento dado, permitiendo así la concurrencia en el uso de ambas colas.

- b) La exclusión mutua en el acceso a la pantalla se ha resuelto mediante el uso de un buzón de impresión. Cuando un proceso Persona desea imprimir en pantalla, envía un mensaje al buzón con el contenido a mostrar. El controlador recibe ese mensaje y se encarga de realizar la impresión. Esto garantiza que el acceso a la pantalla se haga de forma exclusiva, evitando que se produzcan solapamientos en la salida.

Código

```
package ejercicio4;

import messagepassing.*;

/**
 * Clase que representa a una persona que realiza pagos en colas (R o L).
 * Implementa Runnable para que cada persona sea un hilo concurrente.
 */

public class Persona implements Runnable {

    public static final int NUM_RANDOM = 10; // Máximo tiempo aleatorio
    public static final int PAGOS = 5;      // Cantidad de compras/pagos
    private int id; // Identificador único de la persona
    private int tiempoCompra; //Tiempo que tarda en seleccionar las entradas
    private int tiempoPago;    //Tiempo que tارا en pagar
    private MailBox buzonEnvio; //Buzon para enviar id al controlador

    // Buzones de comunicación entre hilos
    private MailBox buzonRespuesta; //Buzón para recibir respuesta
    private MailBox colaR;          //Buzón para enviar id a la cola rápida
    private MailBox colaL;          //Buzón para enviar id a la cola lenta
    private MailBox liberar;        // Buzón para liberar la cola
    private MailBox imprimir;       //Buzón para imprimir
    private String asignadas; //Cola asignada a cada persona, R o L
}

* Constructor de Persona
```



```

* @param id ID de la persona
* @param buzonEnvio buzón para enviar solicitudes al controlador
* @param buzonRespuesta buzón para recibir la respuesta del controlador
* @param colaR buzón para cola R
* @param colaL buzón para cola L
* @param liberar buzón para liberar la cola
* @param buzonImprimir buzón para enviar mensajes a imprimir
*/

public Persona(int id, MailBox buzonEnvio, MailBox buzonRespuesta, MailBox colaR,
MailBox colaL,
                MailBox liberar, MailBox buzonImprimir) {

    this.id = id;

    this.buzonEnvio = buzonEnvio;

    this.buzonRespuesta = buzonRespuesta;

    this.colaR = colaR;

    this.colaL = colaL;

    this.liberar = liberar;

    this.imprimir = buzonImprimir;
}

/**
* Método que define el comportamiento concurrente de la persona:
* 1. Simula compras.
* 2. Solicita cola al controlador.
* 3. Espera confirmación y paga.
* 4. Libera la cola y notifica al sistema.
*/

public void run() {

    for (int i = 0; i < PAGOS; i++) {

        //1.- Simula el tiempo de compra

        tiempoCompra = (int) (Math.random() * NUM_RANDOM) + 1;

```

```

try {
    Thread.sleep(tiempoCompra * 100);
} catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();
}

buzonEnvio.send(id); // 2.- Envía solicitud al controlador

//Recibe el tiempo de pago y la cola asignada
String[] partes = buzonRespuesta.receive().toString().split(",");
tiempoPago = Integer.parseInt(partes[0]);
asignadas = partes[1];

// Se pone en la cola asignada
if (asignadas.equals("R"))
    colaR.send(id);
else
    colaL.send(id);

// Espera confirmación de la cola
buzonRespuesta.receive();

//3.- Simula el pago
try {
    Thread.sleep(tiempoPago * 100);
} catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();
}

//4.- Libera la cola usada
liberar.send(asignadas);

//5.- Envía mensaje para impresión
Object info = "-----\n" +
    "Persona " + id + " ha usado la cola " + asignadas +

```

```

        "\nTiempo de pago = " + tiempoPago * 100 +
        "\nThread.sleep(" + tiempoPago*100 + ")" +
        "\nPersona " + id + " liberando la cola " + asignadas +
        "\n-----\n";

        imprimir.send(info);
    }
}

package ejercicio4;

import messagepassing.*;

/**
 * Clase que representa al controlador central del sistema.
 * Se encarga de asignar colas a las personas, controlar el acceso concurrente y
 * gestionar la liberación.
 */

public class Controlador extends Thread {

    private MailBox enviar, colaR, colaL, liberar, pantalla;

    private boolean colaRLibre = true, colaLLibre = true; //Estados de las
colas

    private Selector s; //Para manejar múltiples buzones

    private volatile boolean activo = true; //Controlar el flujo de ejecución
del hilo

    private MailBox[] buzonesPersonas; // Buzones individuales por persona

    /**
     * Constructor del controlador.
     *
     * @param enviar Buzón de solicitudes de personas
     * @param colaR Cola derecha
     * @param colaL Cola izquierda
     * @param liberar Buzón de liberación de cola
     * @param pantalla Buzón para imprimir mensajes

```

```

    * @param buzonesPersonas Arreglo de buzones para responder a cada persona
    */

    public Controlador(MailBox enviar, MailBox colaR, MailBox colaL, MailBox
liberar, MailBox pantalla, MailBox[] buzonesPersonas) {

        this.s = new Selector();

        this.enviar = enviar;

        this.liberar = liberar;

        this.colaR = colaR;

        this.colaL = colaL;

        this.pantalla = pantalla;

        this.buzonesPersonas = buzonesPersonas;

        //Añadir buzones al selector

        s.addSelectable(enviar, false);

        s.addSelectable(colaR, false);

        s.addSelectable(colaL, false);

        s.addSelectable(liberar, false);

        s.addSelectable(pantalla, false);

    }

    /**

    * Permite detener el bucle principal del hilo controlador.

    */

    public void terminar() {

        activo = false;

    }

    /**

    * Bucle principal del controlador. Atiende mensajes según disponibilidad
de colas y realiza asignaciones.

    * Utiliza selector para evitar bloqueo activo.

    */

    public void run() {

```

```

while (activo) {

    //Actualiza las condiciones
    colaR.setGuardValue(colaRLibre);
    colaL.setGuardValue(colaLLibre);
    switch (s.selectOrBlock()) {

        case 1: // solicitud cola

            Object id = enviar.receive();

            String cajaAsignada;

            int tiempoPago = (int) (Math.random() * 10) + 1;

            cajaAsignada = (tiempoPago >= 5) ? "R" : "L";

            String respuesta = tiempoPago + "," + cajaAsignada;

            buzonesPersonas[(int) id].send(respuesta);

            break;

        case 2: // Entrada a cola R

            id = colaR.receive();

            colaRLibre = false;

            buzonesPersonas[(int) id].send("ok");

            break;

        case 3: // Entrada a cola L

            id = colaL.receive();

            colaLLibre = false;

            buzonesPersonas[(int) id].send("ok");

            break;

        case 4: // liberar

            Object cola = liberar.receive();

            if (cola.equals("R")) colaRLibre = true;

            else colaLLibre = true;

            break;

        case 5: // imprimir

```

```

        Object mensaje = pantalla.receive();

        if(mensaje.equals("TERMINAR")) {

            terminar();

        }else {

            System.out.println(mensaje);

        }

        break;

    }

}

}

package ejercicio4;

import messagepassing.*;

/**
 * Clase principal que inicia la simulación de personas comprando y pagando en colas.
 * Gestiona hilos y controla la concurrencia mediante el uso de buzones.
 */

public class Ejercicio4 {

    public static final int NUM_PERSONAS = 50; //Número personas en la simulación

    public static Thread[] Personas = new Thread[NUM_PERSONAS]; //Arreglo de
hilos

    /**
     * Método principal que lanza la ejecución del programa.
     * Crea los buzones, inicia al controlador y lanza todos los hilos
Persona.
     *
     * @param args No se utilizan argumentos de entrada.
     */

    public static void main(String[] args) {

        //Buzones para la comunicación

```

```

MailBox enviar = new MailBox();

MailBox colaR = new MailBox();

MailBox colaL = new MailBox();

MailBox liberar = new MailBox();

MailBox pantalla = new MailBox();

MailBox[] buzonesPersonas = new MailBox[NUM_PERSONAS];

//Se crea el controlador

        Controlador controlador = new Controlador(enviar, colaR, colaL,
liberar, pantalla, buzonesPersonas);

        controlador.start(); //Lo lanzamos

//Creamos los clientes

for (int i = 0; i < NUM_PERSONAS; i++) {

        buzonesPersonas[i] = new MailBox();

                Personas[i] = new Thread(new Persona(i, enviar,
buzonesPersonas[i], colaR, colaL, liberar, pantalla));

        }

//Inicializamos los hilos

for (Thread persona : Personas) {

        persona.start();

        }

}

}

```