

# Trabajo Eventos Discretos con SIMLIB

Grupo 3 ModSim\_306  
Juan Pablo Carmona Muñoz  
Jonathan Andres Jimenez Trujillo  
Juan Diego Preciado Mahecha

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial  
Bogota D.C.  
2020

## Ejercicio 1.2

Clientes llegan con tiempos entre llegadas EXPO (5) a un sistema de un servidor con tiempo de servicio EXPO (4.25). Todos los tiempos en min. Cada cliente que llega compara la longitud de la cola con su tolerancia para esperar. Si el número de clientes en la cola es mayor que su tolerancia, el cliente no ingresa al sistema. La tolerancia está representada por una distribución TRIA (3, 6,15).

Los clientes que ingresan al sistema esperan únicamente un periodo limitado de tiempo. Este tiempo de espera se distribuye ERLANG-2(15). Adicionalmente la decisión de renunciar está basada no solo en el tiempo de espera, sino en la ubicación que esté en la cola una vez se cumpla el tiempo de espera (zona de permanencia). Esta zona de permanencia se distribuye POIS (0.75)

Desarrollar el simulador del sistema descrito para evaluar:

- a) Espera promedio en el sistema
- b) Espera promedio en la cola
- c) Espera promedio de clientes que renuncian
- d) Número promedio de clientes en la cola
- e) Ocupación del servidor
- f) Número de clientes que renuncian
- g) Número de clientes que no ingresan

Modificar los parámetros para lograr que todas las situaciones se presenten en el mismo. Realizar cinco ejecuciones de 2000 min. cada una y elaborar un informe técnico para una persona técnica.

### Parámetros de entrada

- Minutos de simulación
- Cantidad de simulaciones
- Exponencial de llegada
- Exponencial de tiempo de servicio
- Parámetros de la triangular para ingresar al sistema
- Tiempo de espera ERLANG
- Media de Poisson de permanencia

### Variables del modelamiento

- Estado del servidor
- Cantidad de personas en la cola
- Tiempo que esperará una persona
- Posición en la cola de cada persona

### Descripción de eventos y tipo de evento

- **Llegada de una persona:** cuando llega una persona se analizan si va a ingresar al sistema o si se retira, si ingresa al sistema se determina cuánto tiempo va a esperar en cola o si puede pasar directamente al servidor en caso de que éste se encuentre libre
- **Cumplimiento de tiempo de espera:** una vez se cumple el tiempo de espera de una persona se mira si está en la zona de permanencia para determinar si siguen en la fila o si se retira.

- **Fin del servicio:** se da cuando el servidor termina de atender a una persona y hará pasar al siguiente en caso de que haya alguien más en la cola.

## Listas y sus atributos

- **Fila de personas:** esta lista va a almacenar la información de todas las personas que estén en ella (tiempo de llegada, posición en la fila, tiempo que va a esperar antes de irse) además de la cantidad de persona que están esperando.

## Contadores y acumuladores:

- Total de tiempo esperado por todas las personas en la cola
- Cantidad total de personas que ingresaron a la cola
- Cantidad de personas que no entraron a la cola
- Tiempo de uso del servidor
- Tiempo esperado por personas que renunciaron
- Cantidad de personas que renunciaron

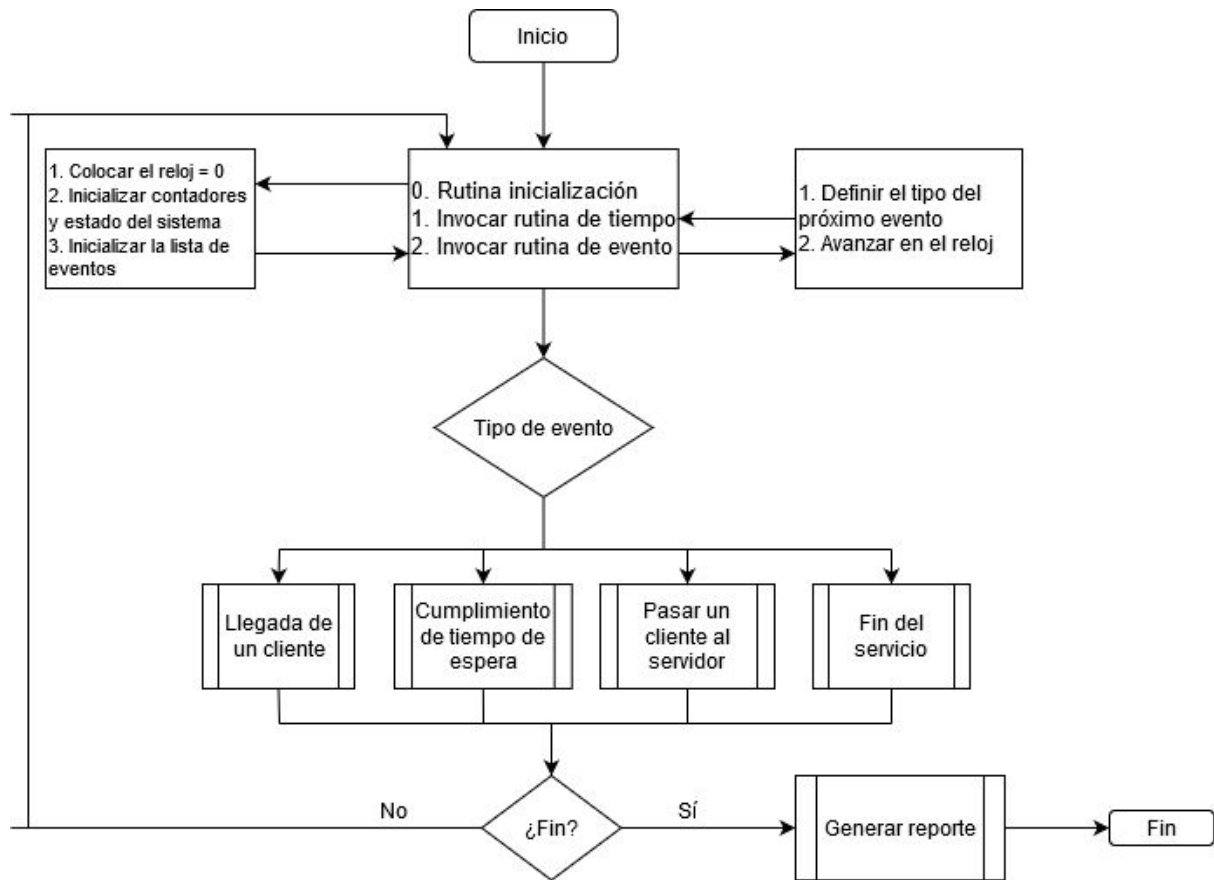
## Medidas de desempeño

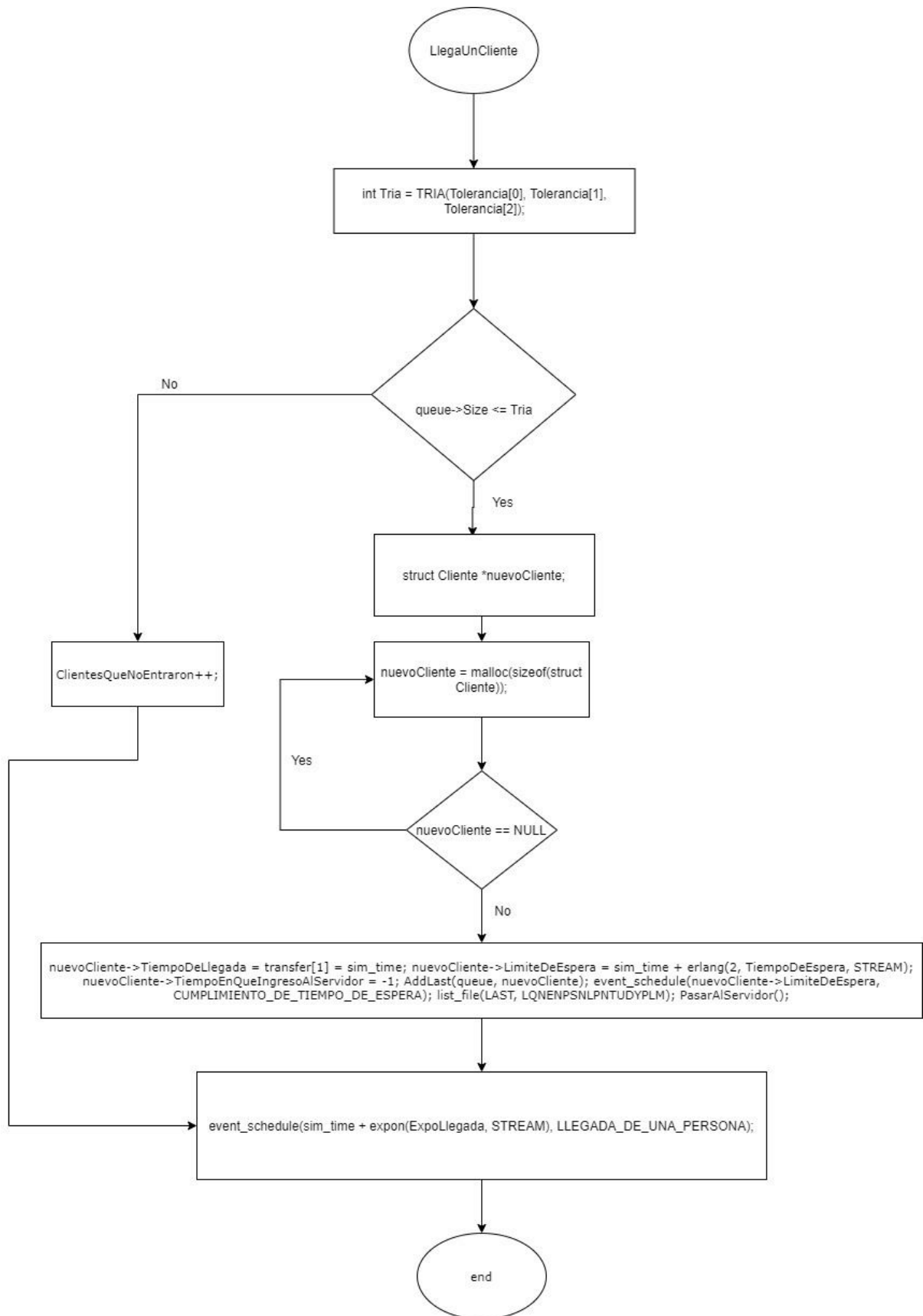
- Espera promedio en el sistema
- Espera promedio en la cola
- Espera promedio de clientes que renuncian
- Número promedio de clientes en la cola
- Porcentaje de tiempo de uso del servidor en relación con el tiempo total de la simulación
- Cantidad de clientes que renuncian
- Cantidad de personas que no ingresan

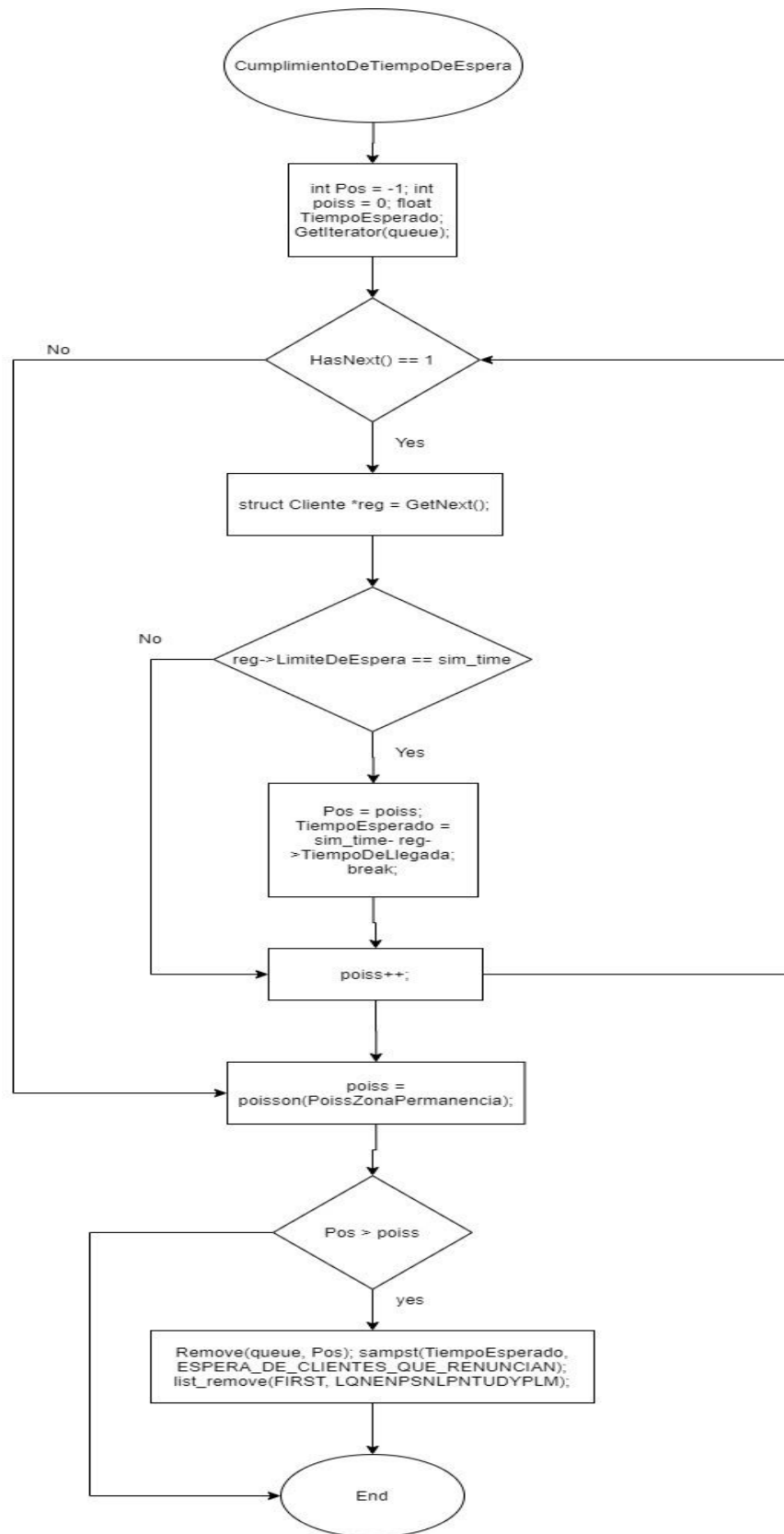
## Subprogramas y su propósito

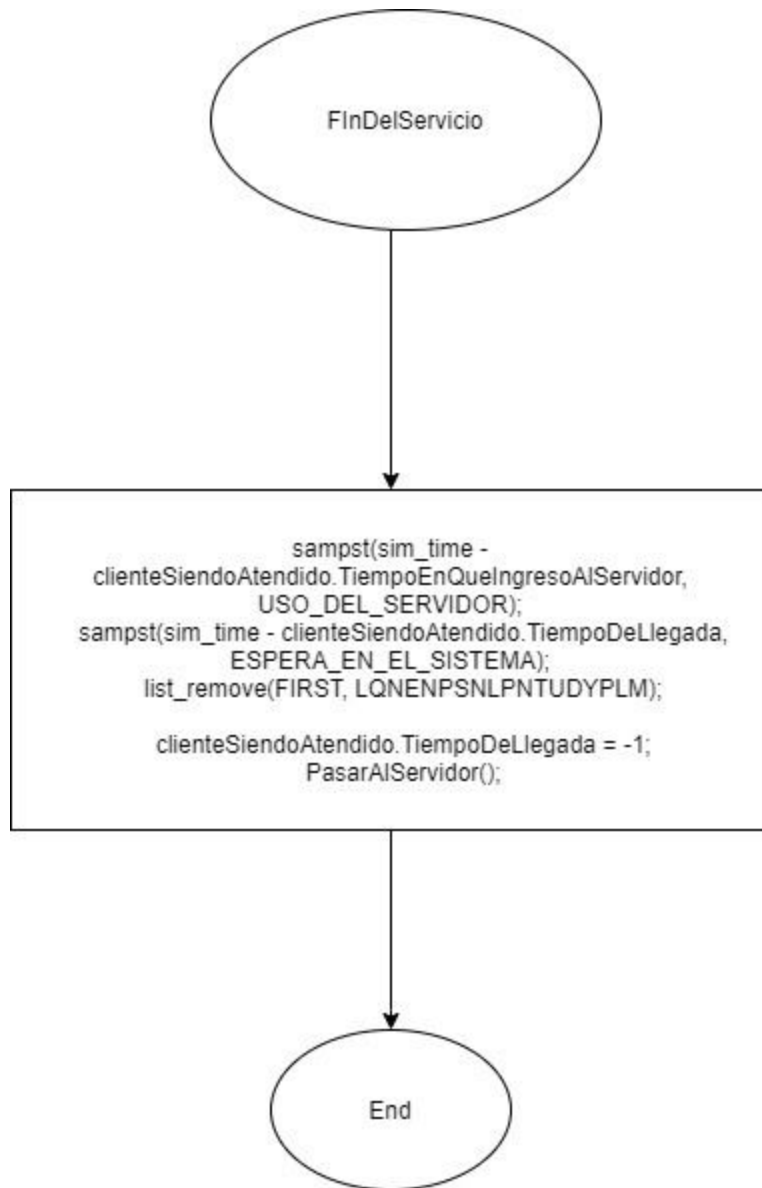
- **Ingresar cliente:** cuando llega a un cliente determina si va a ingresar a la cola o no, en caso de que vaya a ingresar lo añade a la lista y toma su tiempo de llegada, además de calcular el tiempo que va a esperar.
- **Renunciar:** cuando un cliente cumple su tiempo de espera en la cola se analiza si se encuentra en la zona de permanencia, si no está en dicha zona se retira el cliente de la fila y se actualizan los contadores y/o acumuladores.
- **Pasar un cliente al servidor:** pasa al siguiente cliente al servidor retirandolo de la fila, estima su tiempo de atención y marca el servidor como ocupado, además actualiza los contadores y/o acumuladores necesarios.
- **Terminar servicio:** retira al cliente que estaba siendo atendido por el servidor y lo marca como disponible, llama al subprograma **pasar un cliente al servidor** y actualiza los contadores y/o acumuladores necesarios.

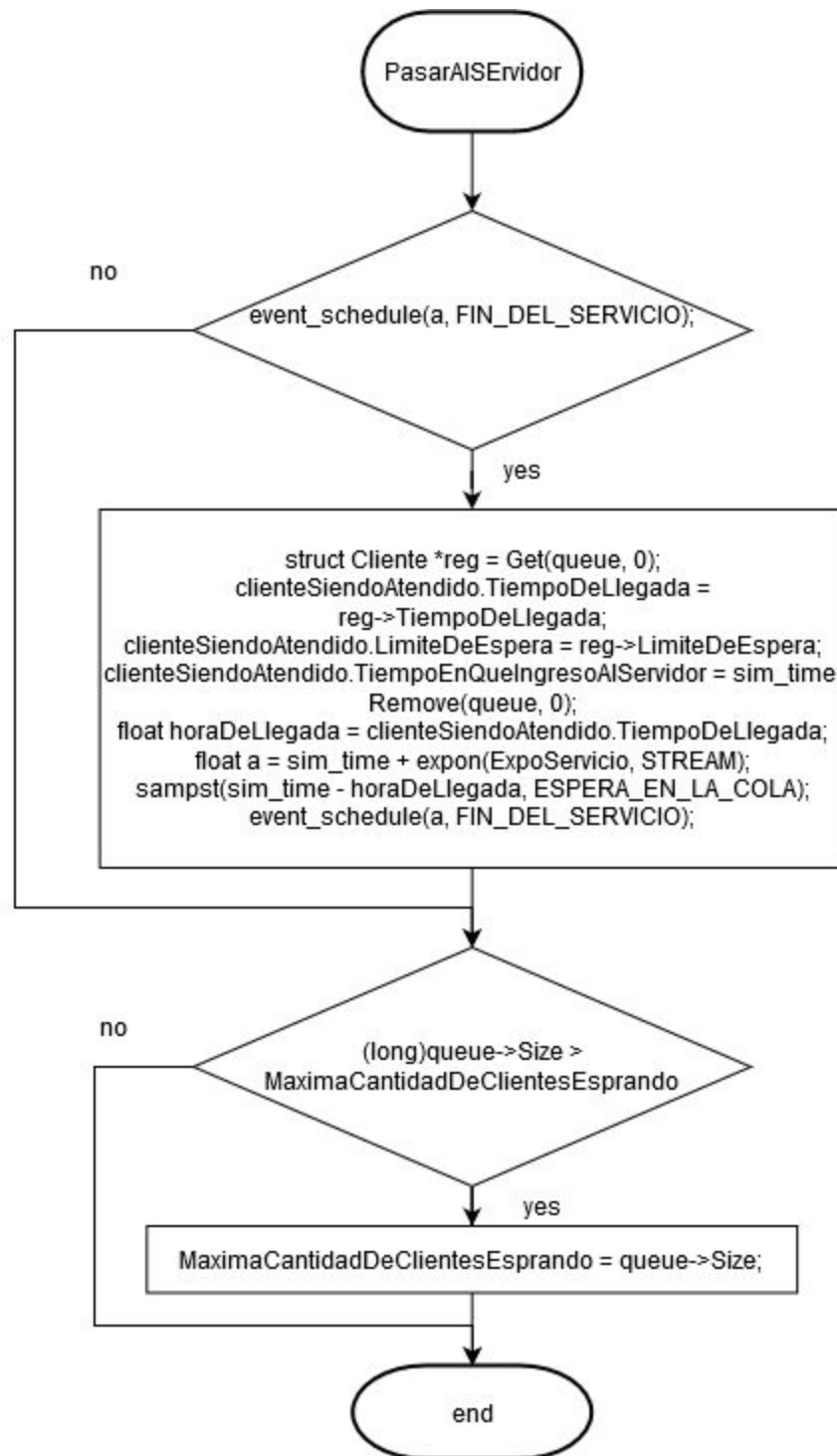
## Diagramas de flujo











## Análisis de resultados

### Simulación 1:

Lista N° 1: Espera en la cola



Lista N° 2: Espera en el servidor

Lista N° 3: Espera en el sistema

Lista N° 4: Espera de clientes que renunciaron

sampst variable number	Average	Number of values	Maximum	Minimum
1	5.62666	358.000	36.4092	0.00000
2	3.99651	358.000	35.7222	0.00857544
3	9.62317	358.000	37.6259	0.0229492
4	6.68103	58.0000	21.3054	0.969849

File number	Time average	Maximum	Minimum
1	1.91514	10.0000	0.00000

1 no entraron a la fila

La fila alcanzó un máximo de 9 clientes

Al finalizar la simulación había 0 personas en la fila

Time simulation ended: 2001.215 minutos

### Simulación 2:

Lista N° 1: Espera en la cola

Lista N° 2: Espera en el servidor

Lista N° 3: Espera en el sistema

Lista N° 4: Espera de clientes que renunciaron

sampst variable number	Average	Number of values	Maximum	Minimum
1	8.78688	336.000	37.1480	0.00000
2	5.01271	335.000	26.0812	0.00572205
3	13.8183	335.000	44.6738	0.0243835

4	7.31984	77.0000	24.1876	0.381836
---	---------	---------	---------	----------

File number	Time average	Maximum	Minimum
1	2.59759	10.0000	0.00000

2 no entraron a la fila  
 La fila alcanzó un máximo de 9 clientes  
 Al finalizar la simulación habia 1 personas en la fila  
 Time simulation ended: 2000.257 minutos

### Simulación 3:

Lista N° 1: Espera en la cola  
 Lista N° 2: Espera en el servidor  
 Lista N° 3: Espera en el sistema  
 Lista N° 4: Espera de clientes que renunciaron

sampst variable number	Number of Average	values	Maximum	Minimum
1	6.01896	386.000	30.5127	0.00000
2	3.95065	385.000	23.1617	0.00769043
3	9.98526	385.000	42.9329	0.00817871
4	6.79845	38.0000	24.5422	0.529510

File number	Time average	Maximum	Minimum
1	2.05103	10.0000	0.00000

0 no entraron a la fila  
 La fila alcanzó un maximo de 9 clientes  
 Al finalizar la simulación habia 0 personas en la fila  
 Time simulation ended: 2000.295 minutos

#### Simulación 4:

Lista N° 1: Espera en la cola

Lista N° 2: Espera en el servidor

Lista N° 3: Espera en el sistema

Lista N° 4: Espera de clientes que renunciaron

sampst variable number	Number of Average	values	Maximum	Minimum
1	6.12299	363.000	39.0980	0.00000
2	4.17051	362.000	29.2156	0.000183105
3	10.2820	362.000	43.8089	0.0463943
4	5.23635	42.0000	12.2203	0.221191

File number	Time average	Maximum	Minimum
1	1.97567	9.00000	0.00000

1 no entraron a la fila

La fila alcanzó un maximo de 8 clientes

Al finalizar la simulación había 1 personas en la fila

Time simulation ended: 2003.220 minutos

#### Simulación 5:

Lista N° 1: Espera en la cola

Lista N° 2: Espera en el servidor

Lista N° 3: Espera en el sistema

Lista N° 4: Espera de clientes que renunciaron

sampst variable number	Number of Average	values	Maximum	Minimum
1	7.04517	361.000	40.5078	0.00000

2	4.51433	361.000	32.1445	0.0184021
3	11.5595	361.000	44.0331	0.0223389
4	7.53370	55.0000	18.1440	0.833923

---

File number	Time average	Maximum	Minimum
1	2.28683	9.00000	0.00000

---

0 no entraron a la fila

La fila alcanzó un máximo de 8 clientes

Al finalizar la simulación había 0 personas en la fila

Time simulation ended: 2005.984 minutos

**Análisis:** Al realizar la simulación 5 veces en un tiempo de 2000 minutos cada una, se puede observar que en cada una de ellas el tiempo promedio de uso del servidor fue menor que el tiempo promedio de espera en la cola, además, la espera promedio en la cola fue menor que el tiempo promedio que esperaron las personas que se retiraron.

## Ejercicio 2.6

Los clientes llegan a un banco según un proceso de Poisson con media de 180 por hora. Seis cajeros atienden a los clientes, quienes tienen la opción de realizar una de cuatro diferentes transacciones. La probabilidad de realizar cada una de las transacciones y su tiempo medio de servicio se muestran en la siguiente tabla; en cada categoría el tiempo de servicio está distribuido exponencialmente y no se puede realizar más de un tipo de transacción por servicio.

Se ofrecen dos alternativas para hacer colas:

- Los clientes forman una sola cola y cuando un cajero está disponible, la persona al frente de la cola pasa a ser atendido.
- Colas separadas para cada cajero. Si un cajero está libre cuando un cliente llega, el cliente recibe servicio con ese cajero. De otra manera, el cliente va a la cola que tenga menos gente. Después de esto, el cliente espera según un proceso PEPS hasta que pueda realizar su transacción y después sale del banco.

Construya un modelo de simulación y corra el modelo por 8 horas; compare los resultados de las dos alternativas de hacer fila. ¿Cuál de las dos alternativas reduce el tiempo de espera y por qué?

<b>Categoría de la transacción</b>	<b>Frecuencia relativa</b>	<b>Media (seg.)</b>
<b>1</b>	<b>0.15</b>	<b>45</b>
<b>2</b>	<b>0.29</b>	<b>75</b>
<b>3</b>	<b>0.32</b>	<b>120</b>
<b>4</b>	<b>0.24</b>	<b>180</b>

#### Parametros de entrada:

1. Reloj de la simulación
2. Media de llegada al banco
3. Media de servicio 1
4. Media de servicio 2
5. Media de servicio 3
6. Media de servicio 4

#### Variables de modelamiento

- Clientes esperando en cada fila
- Estado del cajero
- Tiempo esperado en cada cajero

#### Descripción de eventos y tipo de evento

<b>Descripción del suceso</b>	<b>Tipo suceso</b>
Cliente llega al banco	1
Cliente entra a un cajero	2
Cliente sale de un cajero	3

#### Listas y sus atributos

<b>Lista</b>	<b>Atributo 1</b>	<b>Atributo 2</b>	<b>Atributo 3</b>	<b>Atributo 4</b>
Fila cajero 1	Tiempo de llegada	-	Número de fila	Número de cajero
Fila cajero 2	Tiempo de llegada	-	Número de fila	Número de cajero

Fila cajero 3	Tiempo de llegada	-	Número de fila	Número de cajero
Fila cajero 4	Tiempo de llegada	-	Número de fila	Número de cajero
Fila cajero 5	Tiempo de llegada	-	Número de fila	Número de cajero
Fila cajero 6	Tiempo de llegada	-	Número de fila	Número de cajero
Lista eventos	Tiempo de llegada	Tipo de suceso	-	-

### **Contadores y/o acumuladores**

- Tiempo esperado en cada fila
- Tiempo de servicio
- Cantidad de clientes atendidos

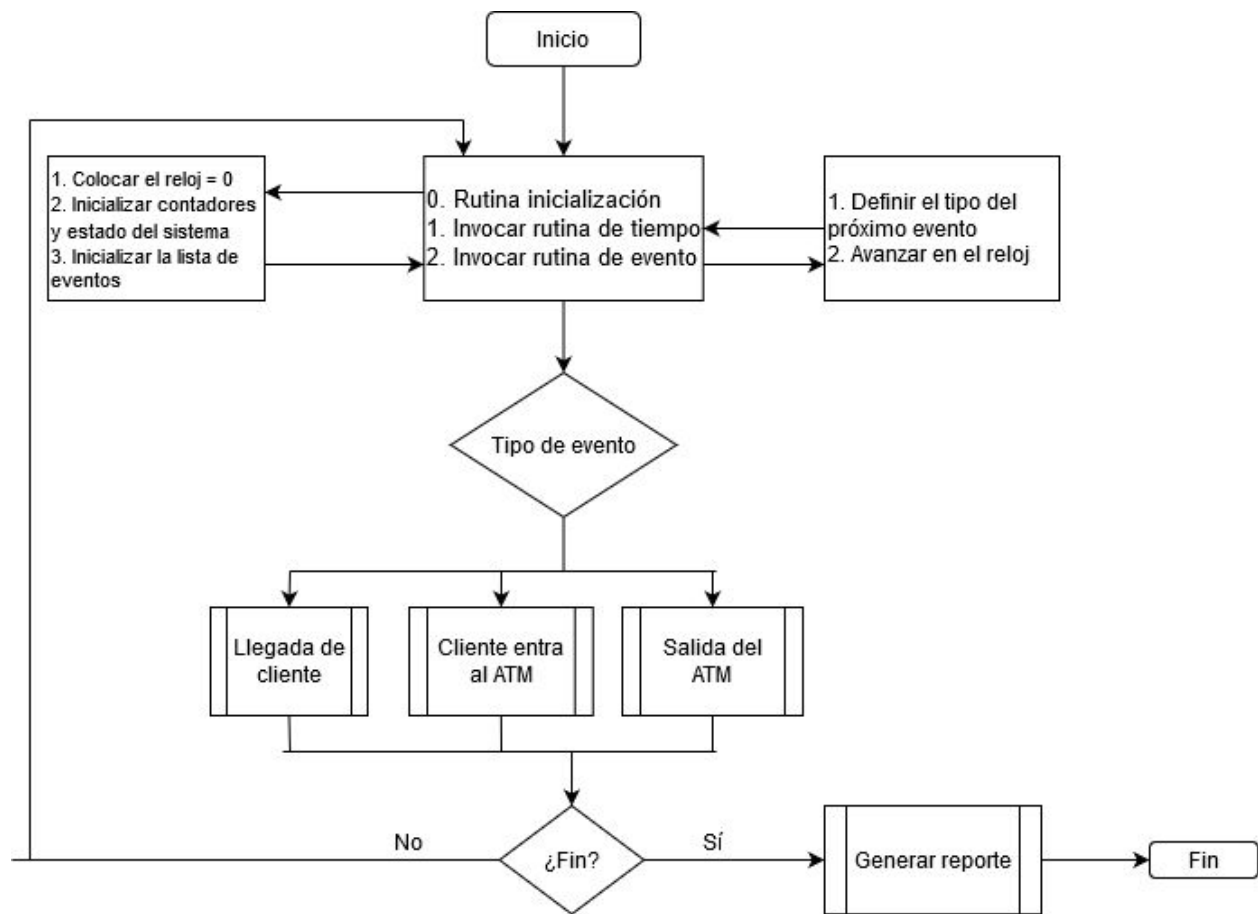
### **Medidas de desempeño**

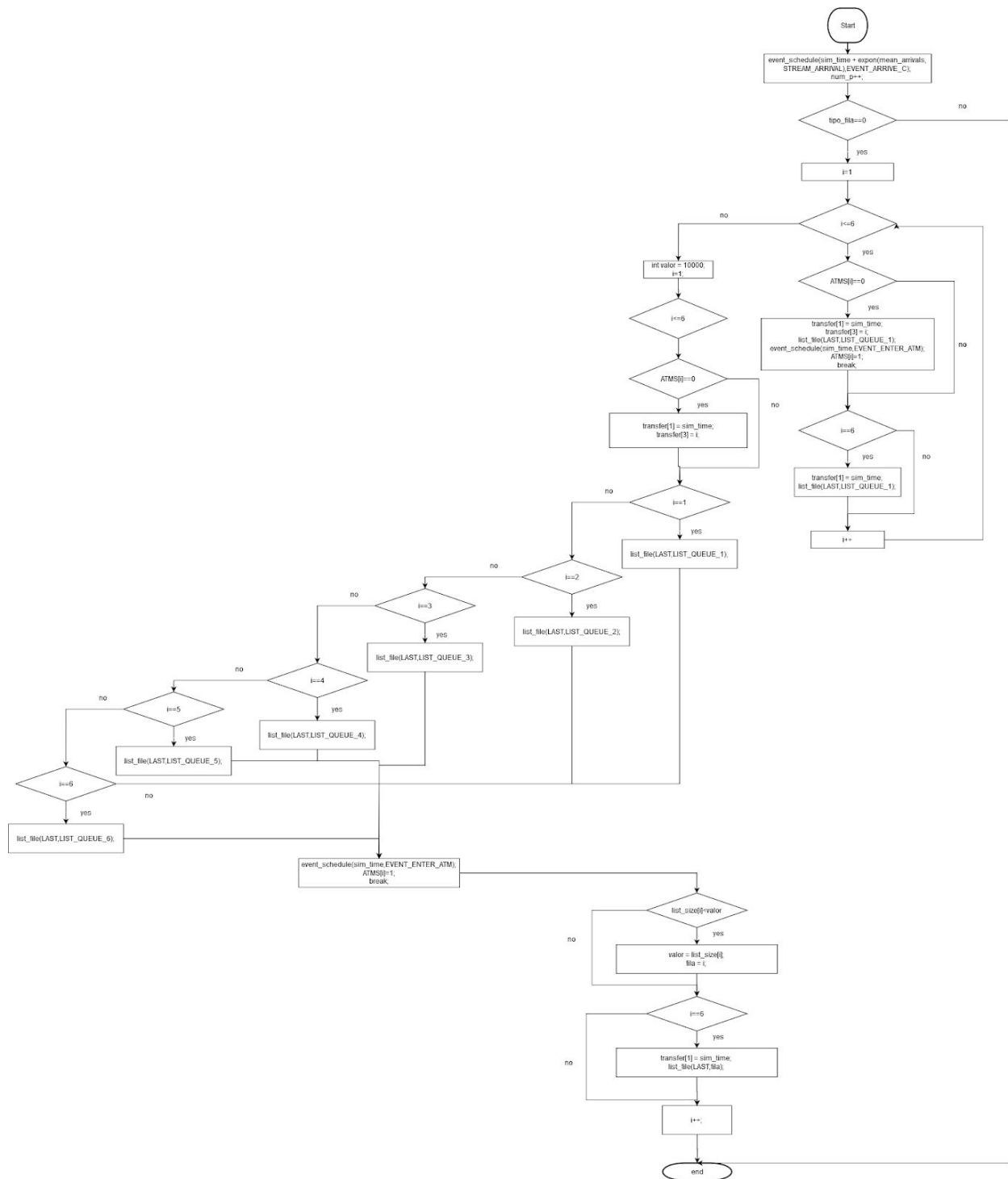
- Tiempo promedio de espera en las filas
- Tiempo promedio del servicio

### **Subprogramas y proposito**

- No se requieren subprogramas

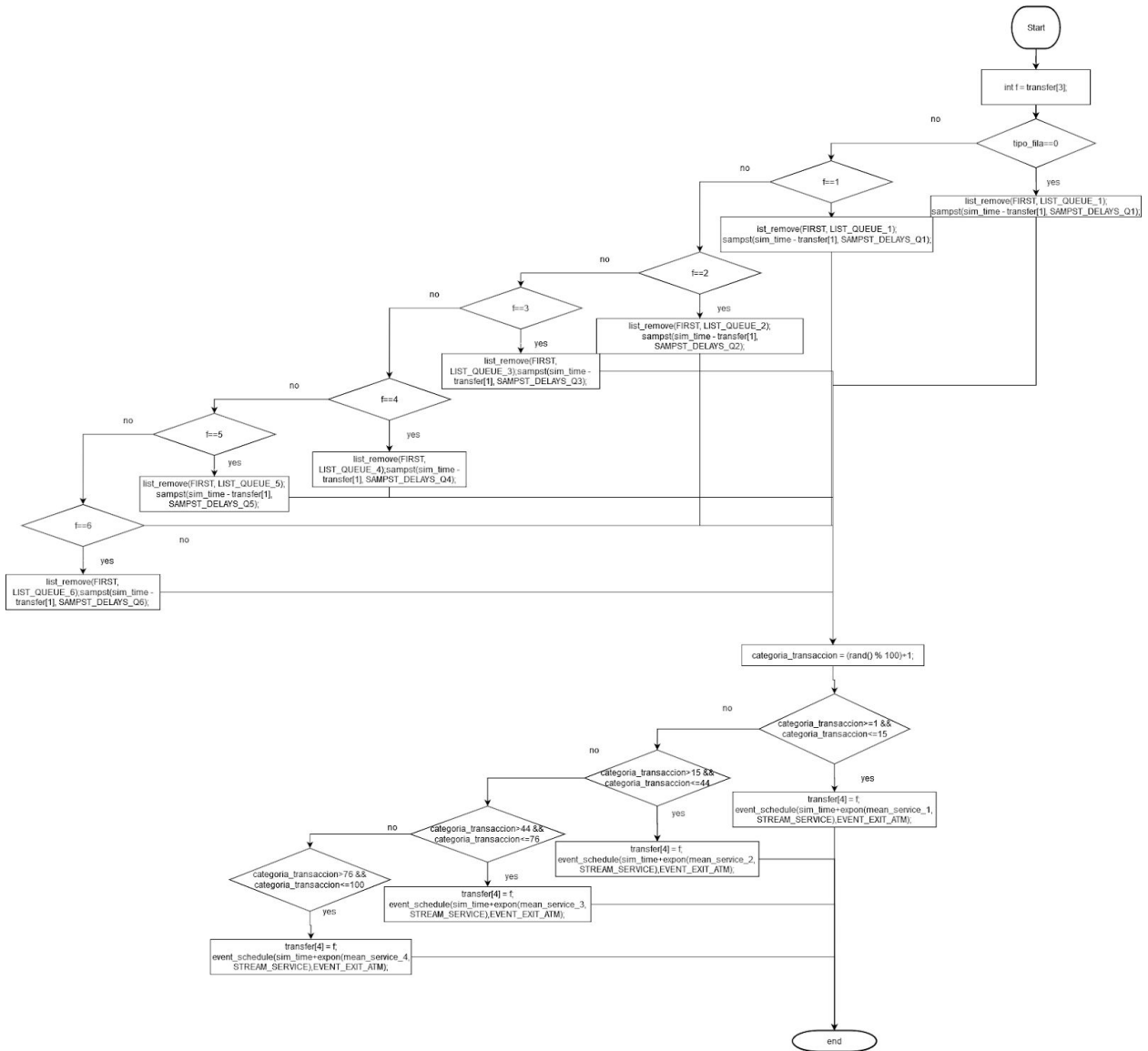
## Diagramas



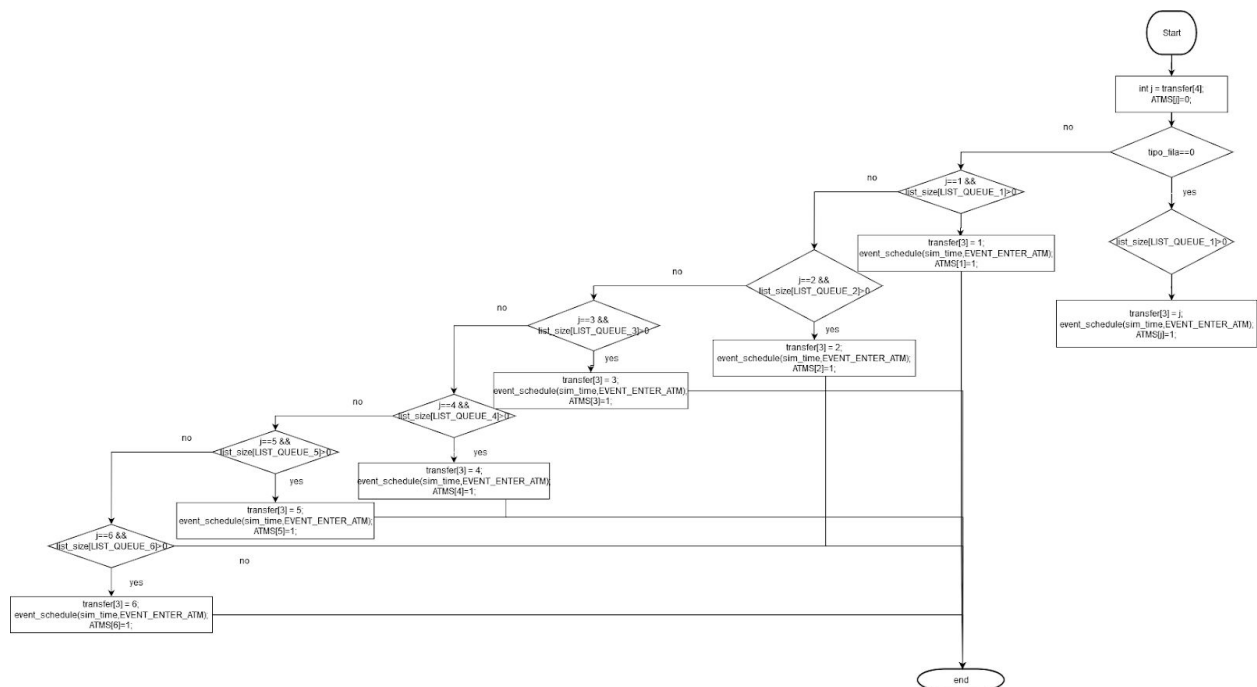


<https://drive.google.com/file/d/1gJnVeVJ27euQBDQ-CfZFBXoTtfGT3Wya/view?usp=sharing>





<https://drive.google.com/file/d/1FE8XvetWQBdfvUDjHb3bvRab4YVMUpiH/view?usp=sharing>



<https://drive.google.com/file/d/1FXzOeJGissLNqDTPodYG3LtwmjiMiJXF/view?usp=sharing>

## Análisis de resultados:

Cuando hay una sola fila por 6 cajeros:

Simulacion	Promedio de espera
1	2.73208
2	3.3712
3	4.72735
4	3.91792
5	4.69391
6	3.74483
7	6.2636
8	6.2636
9	7.05964
10	4.46332
	4.723745

Cuando hay 6 filas por los 6 cajeros:

Simulacion	Promedio de espera general en todas las filas
1	6.785995
2	4.560539
3	5.53317
4	3.891746
5	3.921588
6	3.659697
7	4.77693
8	3.299342
9	3.46358
10	7.073319
	4.6965906

Al realizar la simulación por 8 horas 10 veces obtenemos los resultados de las tablas con los cuales podemos comparar los dos sistemas de filas que utilizó el banco, sin embargo podemos darnos cuenta que aunque en las 6 filas nos dio un promedio menor de espera, la diferencia es tan insignificante que un caso real no se notaría lo cual nos da como conclusión y respondiendo a la pregunta planteada, vemos que ambos sistemas de filas se demoran casi exactamente **lo mismo**, sin embargo la teoría de colas, con las cadenas de markov nos dicen que la clave está en la distribución, lo que se traduce como que si hay varios puntos de atención o en nuestro caso varios cajeros, lo mejor es hacer **una sola fila** para que de esta forma todas las demoras y retrasos se distribuyan uniformemente entre el total de personas

## Ejercicio 2.7

Dos máquinas, A y B se encuentran a 50 m una de otra. Se cuenta con un montacargas para transportar piezas de A a B. El montacargas arranca hacia B cuando se juntan N piezas. En B se descarga y regresa vacío a A. El tiempo de recorrido está distribuido normalmente  $\mu=3$  minutos y  $\sigma=5$  segundos. La máquina A produce 54 piezas/hora con una distribución Poisson. Si el tiempo para cargar y descargar las piezas es 10 segundos. Calcule el valor de N para minimizar el tiempo de espera por pieza en A.

### Parametros de entrada:

1. Reloj de la simulación
2. Número N de piezas
3. Media de producción de piezas en máquina A
4. Media del tiempo de recorrido
5. Desviación del recorrido

### Variables de modelamiento

- Estado del montacargas
- Piezas esperando
- Tiempo de espera en máquina A

### Descripción del evento y tipo de evento

- **Producir una pieza en A:** Se produce cuando una pieza es producida en la máquina A, y se verifica si el número de piezas que haya en ese momento es igual o mayor al número N, si si es igual y el montacargas no está activo carga las piezas y se va hacia B, y si el número es menor a N se mete a la cola y continua el siguiente evento. Este evento es un evento de tipo **llegada**.
- **Empezar el recorrido del montacargas:** Se producen cuando al número de piezas en la máquina es mayor o igual que N y el montacargas no está en uso, entonces se remueven las piezas de la cola y vamos mirando los tiempos de llegada con los de subida al montacargas y programamos la llegada a la máquina B. este evento es de tipo **Inicio del servicio**.
- **Descargar las piezas en B:** Se produce cuando el montacargas llega a la máquina B, a lo cual se descargan las piezas y se programa la llegada del montacargas a la máquina A. Este evento es de tipo **llegada**.
- **Montacargas llega a A:** Se produce cuando el montacargas llega a la máquina A, en ese momento se verifican el número de piezas para saber si empezar a cargar o seguir esperando. Este evento es de tipo **llegada**.

### Listas y sus atributos

- Lista de piezas en máquina A: esta lista de tipo fifo se almacenan los tiempo de llegada o producción de las piezas, además de la cantidad de piezas que hay en la lista.

### Contadores y/o acumuladores

- Tiempo esperado en la máquina A
- Cantidad de piezas en la fila de la máquina A

### Medidas de desempeño

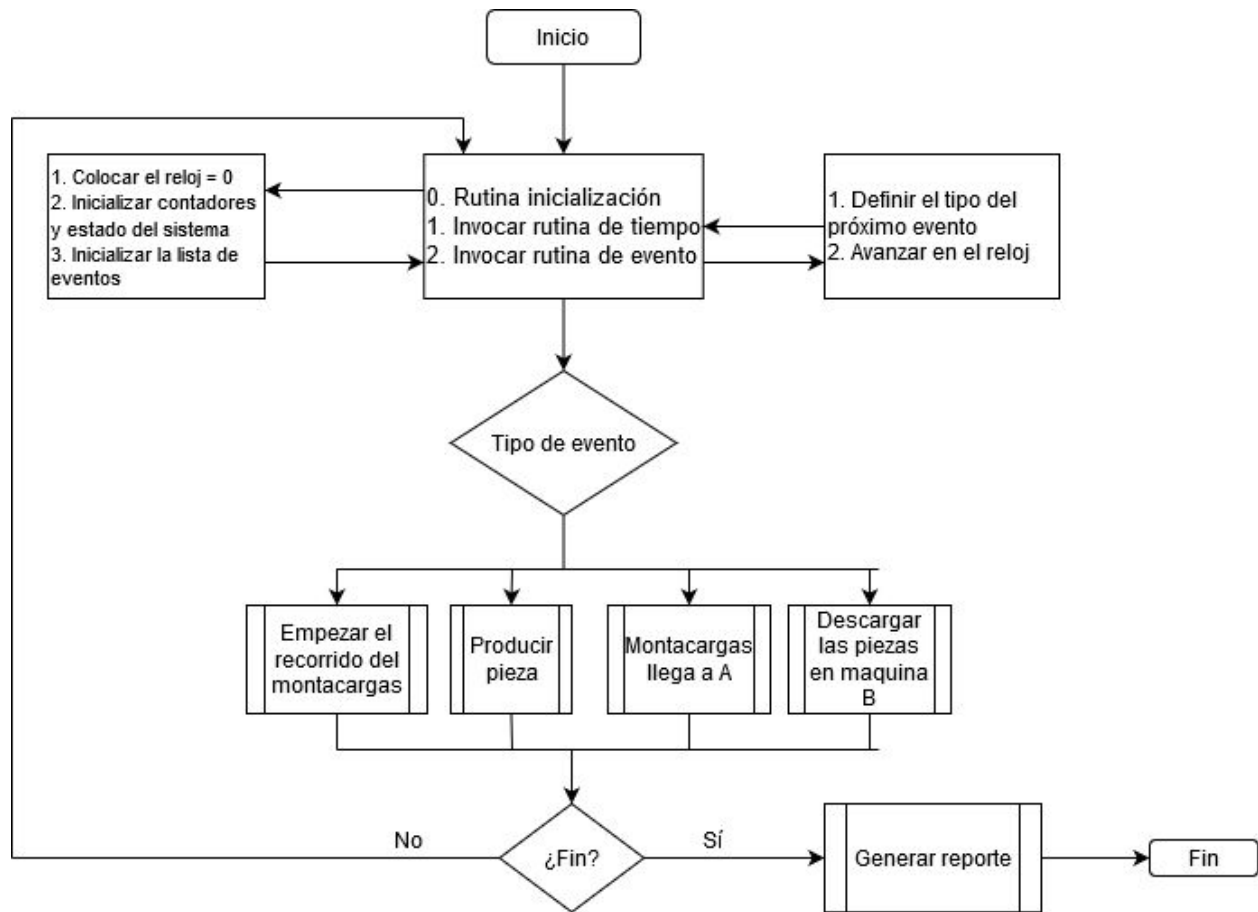
- Tiempo promedio de espera en la máquina A
- Cantidad de piezas que llegaron a la máquina B
- Tiempo máximo que una pieza espero en A
- Tiempo mínimo que una pieza espero en B

### Subprogramas y proposito

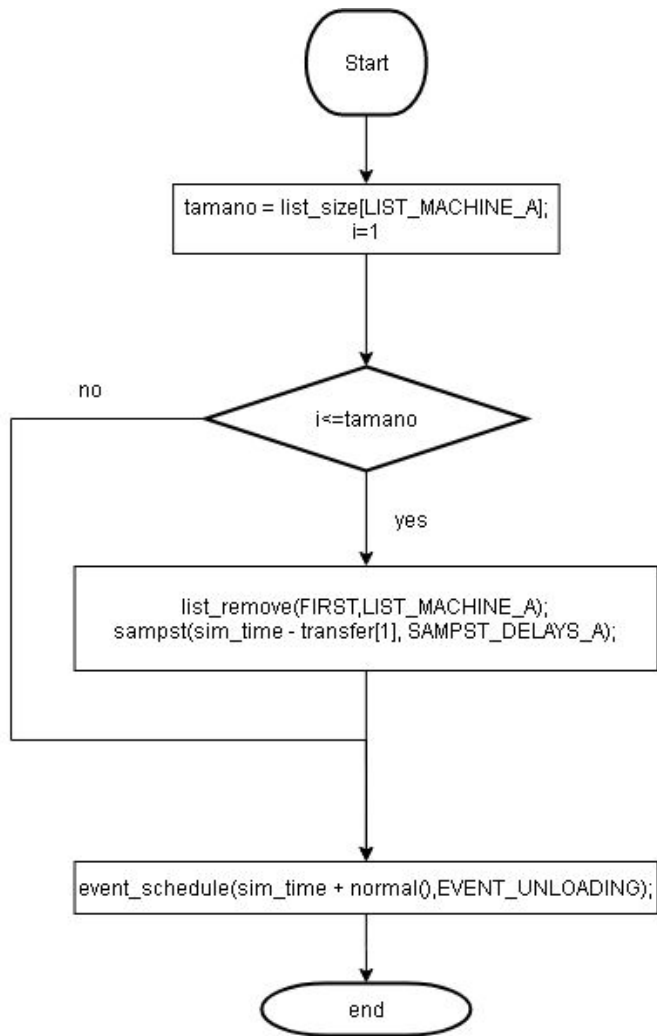
- No se usaron subprogramas

### Diagramas

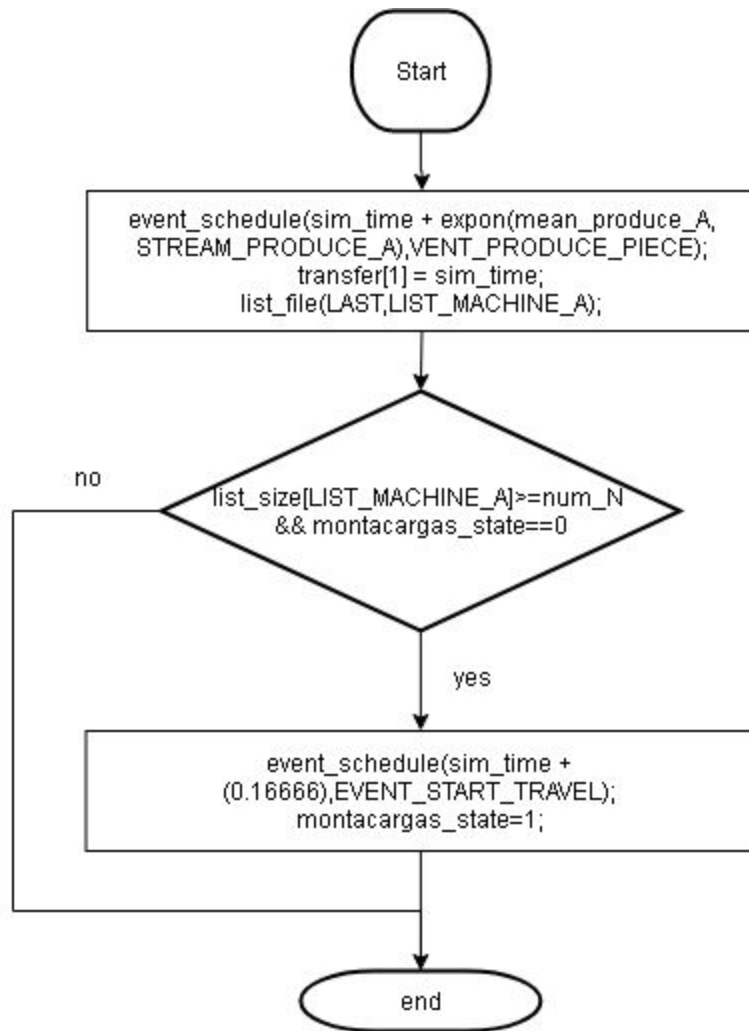
- Diagrama general



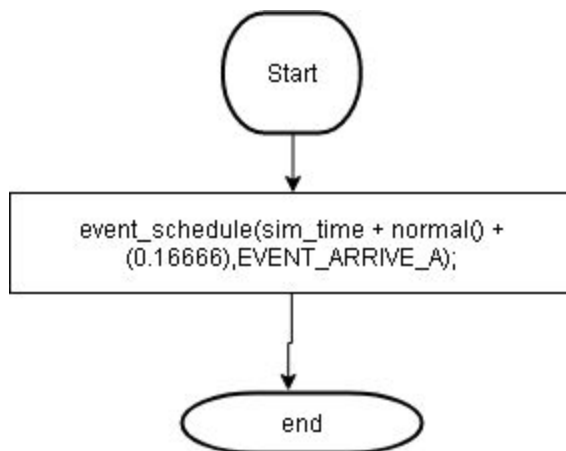
- Empezar viaje de maquina A a maquina B



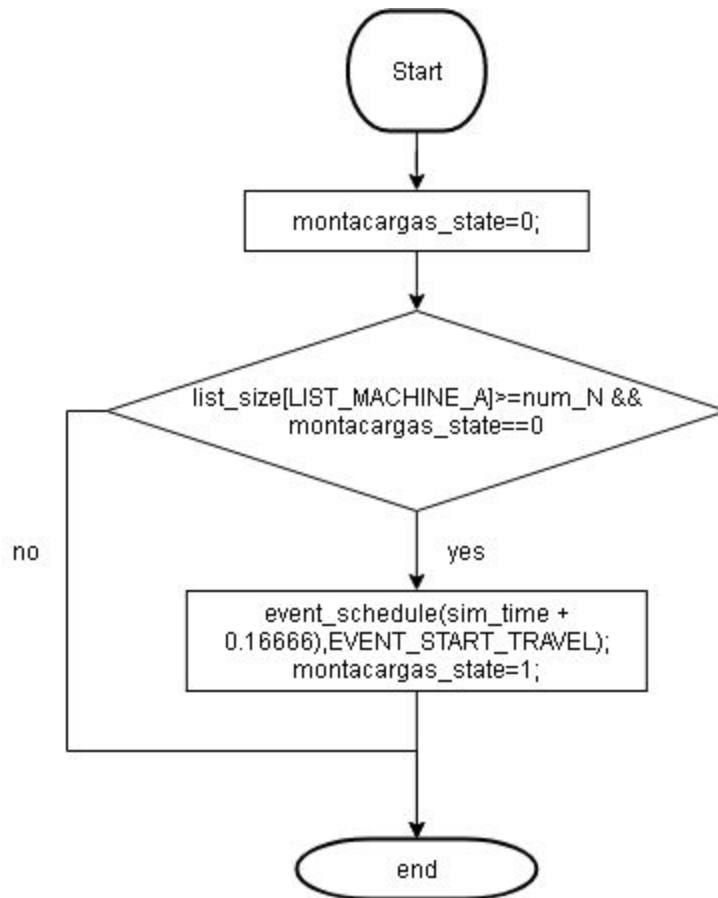
- **Producir pieza en la máquina A**



- **Descargar piezas del montacargas**



- Llegada de montacargas a la maquina A



## Análisis de resultados

Al simular 10 veces el programa por 8 horas cada uno obtenemos los siguientes resultados en general:

N	Promedio de espera	Numero de piezas procesadas	maximo tiempo esperado	minimo tiempo esperado
1	3.06448	448.5	6.327125	0.004295349
2	3.097785	432	9.45366	0.0210419
3	3.14811	432	10.7905	0.02664185
4	3.056695	425.5	10.93015	0.024799368
5	2.99232	439.5	8.85483	0.018623375
6	3.401825	415	13.1622	0.0291996
7	3.757325	427	15.4488	0.02362065
8	4.074105	440.5	16.09475	0.01408385
9	4.73202	439.5	20.489	0.000213623
10	4.760615	441	18.5706	0.00901794



En la tabla anterior podemos ver cuando el número de piezas para que arrancara el montacargas era 5 se consigue el menor tiempo de espera promedio en la fila A, así como también es el 2 mejor tiempo máximo de espera a lo cual respondiendo a la pregunta planteada en el ejercicio, el valor de N para minimizar el tiempo de espera por pieza en A es igual a **CINCO(5)**.

## Ejercicio 2.8

Los barcos llegan a un puerto con tiempos entre llegadas que son variables aleatorias exponenciales IID con una media de 1,25 días. El puerto tiene un muelle con dos amarres y dos grúas para descargar los barcos; los barcos que llegan cuando ambos amarres están ocupados se unen a una cola FIFO. El tiempo para que una grúa descargue un barco se distribuye de manera uniforme entre 0,5 y 1,5 días. Si solo hay un barco en el puerto, ambas grúas descargan el barco y el tiempo de descarga (restante) se reduce a la mitad. Cuando dos barcos están en el puerto, una grúa trabaja en cada barco. Si ambas grúas están descargando un barco cuando llega un segundo barco, una de las grúas comienza inmediatamente a servir al segundo barco y el tiempo de servicio restante del primer barco se duplica. Suponiendo que no haya barcos en el puerto en el momento 0, ejecute la simulación durante 90 días y calcule el tiempo mínimo, máximo y promedio que los barcos están en el puerto (que incluye su tiempo de amarre). También estimar la utilización esperada de cada amarre y de las grúas. Use el flujo 1 para los tiempos de llegada y el flujo 2 para los tiempos de descarga.

### Parámetros de entrada

- Días de simulación

### Variables del modelamiento

- Barcos esperando
- Estado de las grúas (ocupadas o libres)
- Barcos que están siendo descargados

### Descripción de eventos y tipo de evento

- **Llegada de un barco al puerto:** se produce cuando un barco llega al puerto, si las grúas están ocupadas el barco se une a la cola, en otro caso el barco pasa a la zona de las grúas para ser descargado. Este evento es un evento de tipo **llegada**.
- **Un barco termina de ser descargado:** cuando un barco termina de ser descargado sale de la zona de las grúas, si la cola está vacía y la otra grúa está trabajando ambas grúas pasarán a trabajar en el barco restante, pero si hay más barcos en la cola el primero de ellos pasará para comenzar con la descarga. Este evento es un evento de tipo **finalización del servicio**.

### Listas y sus atributos

- **Cola de barcos:** en ésta lista de tipo FIFO se almacena la información de los barcos que están esperando para ser descargados como el tiempo de llegada al puerto, además de a cantidad de barcos que están esperando.

### Contadores y acumuladores:

- Total de tiempo acumulado que esperaron todos los barcos
- Total de barcos atendidos en el puerto
- Total de tiempo de uso de las grúas

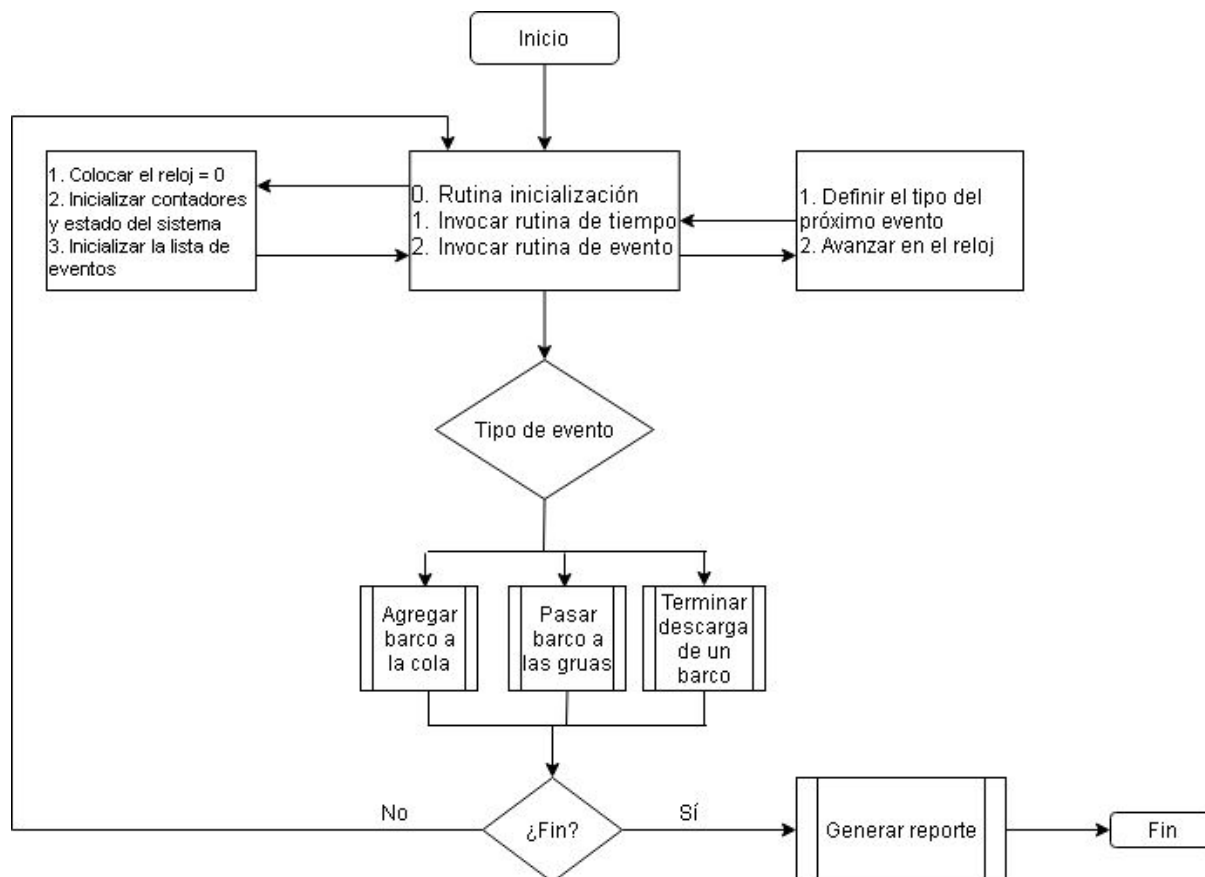
## Medidas de desempeño

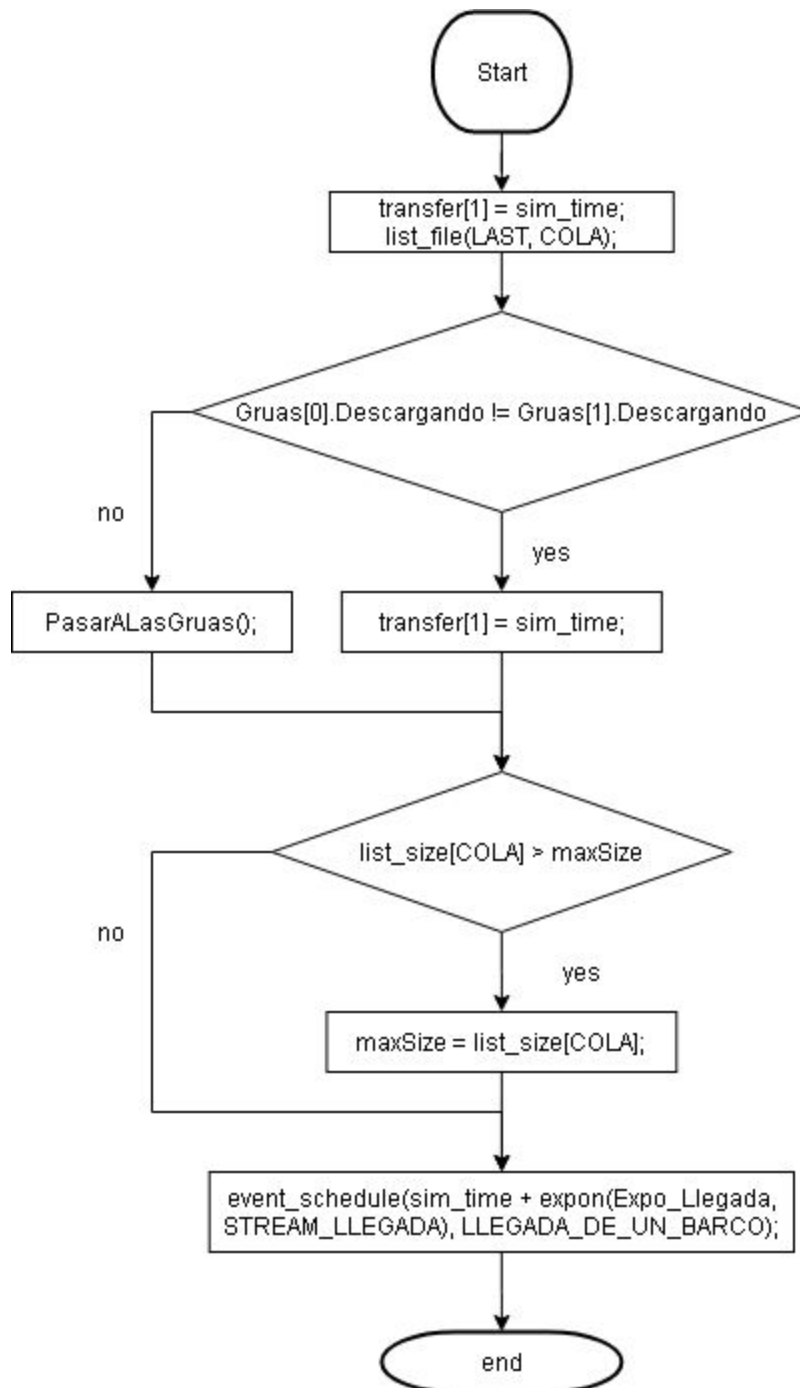
- Tiempo promedio esperado por los barcos en la fila
- Tiempo de uso de cada grúa
- Cantidad máxima de barcos que estuvieron en cola
- Tiempo máximo que un barco esperó
- Tiempo mínimo que un barco esperó

## Subprogramas y su propósito

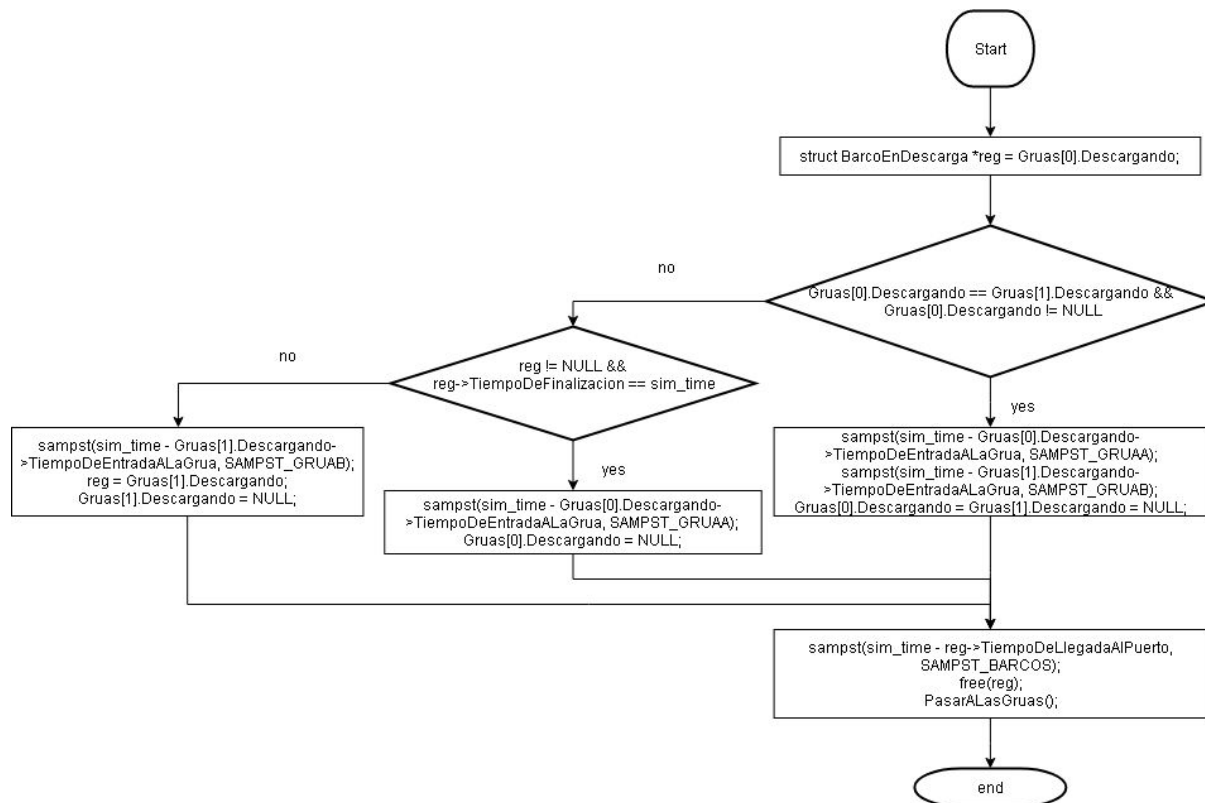
- **Añadir un barco a la cola:** agrega un barco al final de la cola de espera
- **Pasar un barco a las grúas:** se encarga de hacer pasar el siguiente barco a la zona de descarga y calcula su tiempo de salida según las condiciones dadas dependiendo de la cantidad de grúas que van a trabajar en él, en caso de que ambas grúas estuvieran trabajando en un mismo barco se recalcula su tiempo de descarga.
- **Terminar descarga:** cuando un barco termina de ser descargado libera la grúa que estaba trabajando en él, si hay barcos en cola se hace pasar el siguiente, pero si no hay barcos en cola y hay otro barco en la zona de grúas la ambas grúas pasan a trabajar en él y se recalcula su tiempo de finalización de desembarque.

## Diagramas de flujo









## Análisis de resultados

Lista N° 1: Fila de los barcos en el puerto

Lista N° 2: Barcos que pasaron por la grúa A

Lista N° 3: Barcos que pasaron por la grúa B

Lista N° 4: Barcos que ingresaron al sistema

sampst variable number	Average	Number of values	Maximum	Minimum
1	105.824	74	1891.27	0
2	916.804	65	2069.41	366.496
3	887.397	48	2101.85	366.496
4	1100.46	73	3457.26	366.496

El máximo número de barcos que esperaron en la cola fue 2

Time simulation ended: 131965.891 minutes

**Análisis:** Llegaron 74 barcos al puerto de los cuales 73 se terminaron de descargar, de los 73 descargados el promedio de tiempo que pasaron en el puerto fue de 1100.12 minutos, el barco que menos estuvo en el sistema duró 367 minutos y el que más se demoró estuvo 3457. En la fila los barcos esperaron en promedio 105.455 minutos y el máximo número de barcos que estuvieron esperando en la fila fueron 2.

Por último, la grúa A se utilizó un total de 59514 minutos y la grúa B se usó un total de 39921.57 minutos.