PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS
PROFESOR: PEDRO GAZMURI S.
ICS 2123 – FUNDAMENTOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS ESTOCÁSTICOS
2/2018

Tarea N°1

Joaquín Ossandón Stanke

28 de Agosto de 2018

En este modelo de simulación se representa computacionalmente la evolución en el tiempo del sistema Supermercado. El estado del sistema estará dado por el valor de las variables de estado, las cuales se irán modificando en el tiempo en instantes definidos por eventos aleatorios. En este caso, existen tres tipos de eventos que determinan el avance en el tiempo: la llegada de una persona al Supermercado, la llegada de una persona que estaba comprando en el supermercado a alguna de las cajas, y la salida de una persona del Supermercado una vez atendida por la caja. Este avance en el tiempo por instantes nos permitirá tener resultados sobre el comportamiento del Supermercado de un día o más en tan solo segundos.

En este caso las variables de estado que se crearon para representar el sistema fueron:

- *Próxima llegada*: Tiempo de registro de la próxima llegada obtenido aleatoriamente por una función exponencial.
- *Clientes*: Lista de clientes que se va actualizando cada vez que entra una persona al Supermercado.
- *Llegadas a la cola*: Lista con los registros de las próximas llegadas a las colas de los diferentes clientes, determinadas por instancias exponenciales.
- *Próximas salidas*: Lista con los registros de las próximas salidas de clientes para cada caja determinadas por instancias exponenciales.
- *Cola más corta*: Cola con menos cantidad de gente.
- *Colas*: Lista con las colas de cada caja, las cuales incluyen los clientes actuales.
- *Tiempo actual*: Reloj de simulación.

Las variables como próxima llegada (a supermercado y a las colas) y próxima salida están determinadas por eventos aleatorios. Cada una de ellas fue representada como eventos exponenciales, las cuales se iban actualizando con una instancia de una variable aleatoria exponencial cada vez que ocurría el suceso. Para esto se utilizó el método de la transformada inversa de una variable exponencial, usando instancias de una variable aleatoria uniforme entre 0 y 1.

Para realizar esta simulación se ocupó el programa *Python* con las librerías *random* (para generar las variables aleatorias uniforme), *collections* (para utilizar el módulo *deque()* y así crear las colas), y *datetime* para representar el reloj de la simulación. En el programa se incorpora un arreglo que contiene las posiciones de los eventos a ocurrir en cierto instante, guardando el tiempo del más próximo evento para avanzar a él luego de la finalización del cambio de las variables de estado.

Uno de los principales datos de salida del modelo relevantes para el entendimiento del Supermercado es el tiempo de espera de los clientes en la cola. Es por esto por lo que se registra cada uno de ellos para cada cliente y luego se realiza una ponderación para obtener lo requerido. En lo que sigue se muestra una tabla con diez repeticiones de la simulación, junto a los tiempos de demora del programa *Python* en ejecutar cada repetición y el respectivo tiempo promedio de espera en la cola. Además, a continuación se incorpora el diagrama modelo de la simulación para ver de forma más clara cómo funciona el programa.

Variables del diagrama de flujo

- *NCAJAS*: Número de cajas abiertas en el Supermercado.
- *NCOL[i]:* Cantidad de personas en la cola i.
- *NCLIENTES*: Cantidad de clientes (lista) en el Supermercado.
- *TLLEG[i]*: Tiempo de llegada del cliente i al Supermercado.
- *TPE1*: Tiempo de la próxima llegada de un cliente al Supermercado.
- *TPE2[i]:* Tiempo de la próxima atención completada de la cola. En el diagrama abarca también el índice del cliente que terminó de atenderse.
- *TPE3[i]:* Tiempo de la próxima llegada a la caja de un cliente. En el diagrama abarca también el índice del cliente que llega a la caja.
- *ESTOT:* Suma de los tiempos de espera.

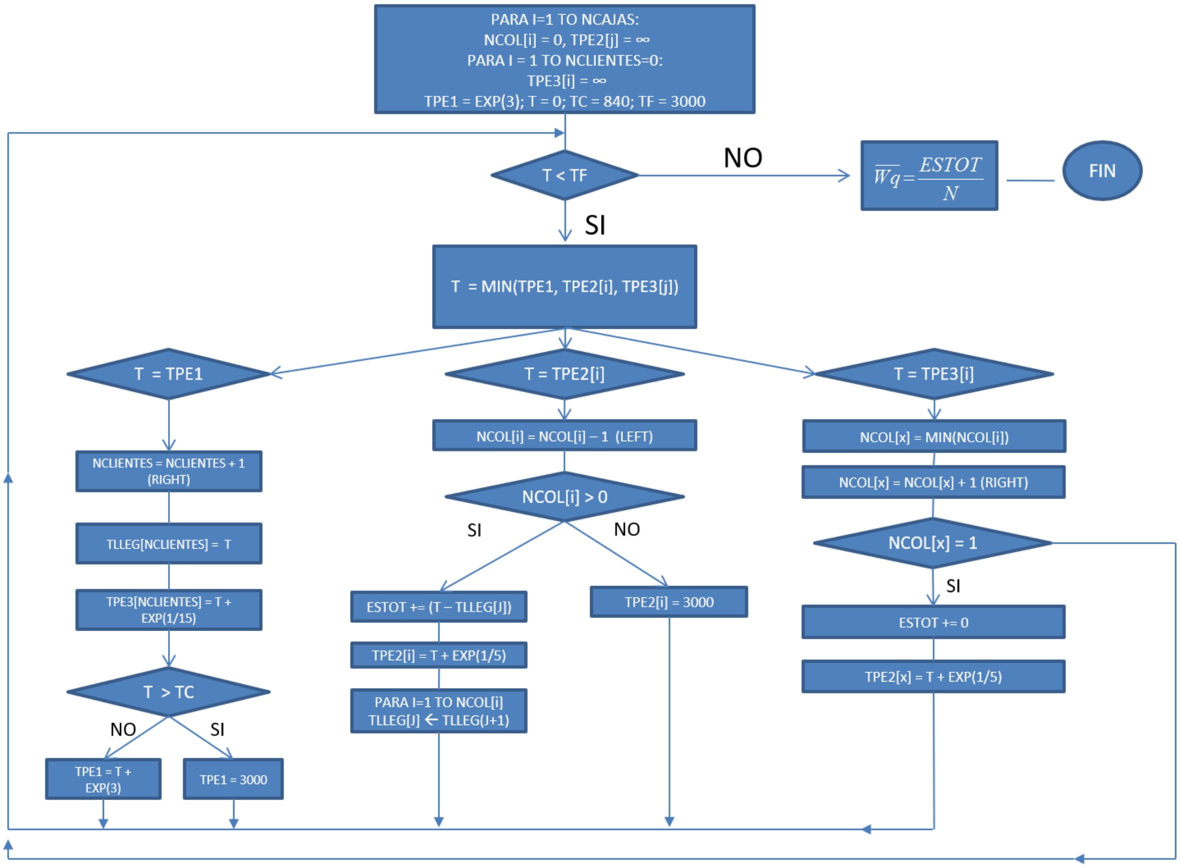

Imagen 1: Diagrama de modelación de la simulación

En primer lugar, se definen las variables de inicio, donde se define que cada cola está vacía, los tiempos de atención son infinitos para cada caja, y los tiempos de llegada a la caja también (dado que no hay clientes en el sistema). Por otra parte, se define el próximo tiempo de llegada como la respectiva variable aleatoria exponencial. Se define el parámetro TC (840 minutos) como tiempo de cierre del Supermercado y TF como un tiempo final de simulación (en este caso 3000 minutos solo por motivos computacionales, dado que luego del cierre del Supermercado existe gente que se demora en comprar y luego pagar).

Se comprueba en cada iteración del algoritmo si el tiempo actual es menor al tiempo final. Si este es menor entonces se procede a avanzar en el primer suceso a ocurrir. Si este suceso es *TPE1* (tiempo de la próxima llegada), entonces se suma un cliente a la lista de clientes y se registra su tiempo de llegada. Además, se define su tiempo de llegada a las cajas como el tiempo actual más una variable aleatoria exponencial. Luego se verifica si el tiempo actual es mayor al tiempo en que cierra el Supermercado, si es mayor entonces se define la próxima llegada en el infinito y si no, entonces se define la próxima llegada como el tiempo actual más la correspondiente variable exponencial. Se repite el proceso.

Por otra parte, si el próximo suceso es una atención completada en la cola i, entonces se avanza a este tiempo y se toma a *"i"* como el índice de la cola en que ocurre el suceso. Dado esto, se quita un cliente de la cola y se verifica si el largo de la cola restante es mayor a 0. Si es mayor a 0, entonces se suma el tiempo de espera del primer cliente en la cola i (nominado como J en el diagrama) y se redefine el próximo tiempo de atención de la cola en cuestión. Si la cola no es mayor a 0, entonces la cola está vacía ahora y por tanto su tiempo de próxima atención es infinito. Se repite el proceso.

Por último, si el próximo suceso es una llegada a las cajas del cliente "*i"*, se avanza a este tiempo y define a *NCOL[x]* como la cola "x" como la más corta en ese tiempo. Dado esto, se suma el cliente a la cola "x" y se verifica la cantidad de personas en la cola. Si hay exactamente una persona en la cola, entonces se suma un tiempo de espera igual a 0 (dado que llegó un cliente y antes estaba vacía, por lo que se procede a atender inmediatamente) y de define también la próxima atención. En caso contrario, se repite el proceso nuevamente. Si el tiempo actual es mayor que el tiempo final, entonces se retorna el tiempo de espera promedio de los clientes en la cola.

Repetición	**Tiempo promedio de espera en la cola**	**Tiempo de ejecución de la simulación**	**Percentil 90**
1	2 minutos y 29.31732571578131 segundos	0.9903876844206642 segundos	8 minutos y 4.951240925874352 segundos
2	2 minutos y 36.54910077794221 segundos	0.9909341464075048 segundos	8 minutos y 34.65398408886131 segundos
3	2 minutos y 14.260915549641515 segundos	0.9274108122345126 segundos	7 minutos y 43.278420117409894 segundos
4	2 minutos y 31.61216170155469 segundos	1.04462854943881 segundos	8 minutos y 23.963153537160018 segundos

5	2 minutos y 48.35516325697892 segundos	0.9677488966144793 segundos	8 minutos y 45.672494196269966 segundos
6	3 minutos y 4.81611062074105 segundos	1.0317596158027618 segundos	9 minutos y 53.78051217036198 segundos
7	2 minutos y 24.34136240961548 segundos	1.0184726305416456 segundos	8 minutos y 8.979061406250821 segundos
8	2 minutos y 20.84253493952722 segundos	0.937640153961152 segundos	7 minutos y 53.89730802788801 segundos
9	3 minutos y 8.534048774903962 segundos	0.9504007798160244 segundos	9 minutos y 55.562667040670775 segundos
10	1 minuto y 42.41620620668309 segundos	0.9445021083094222 segundos	6 minutos y 8.888005116036268 segundos

Tabla 1: Resumen de las ejecuciones de la simulación.