Modelos y Simulación
Lic. en Ciencias de la Computación
FaMAF 2024

Trabajo Práctico Especial
Sistema con Operarios

Integrantes del grupo:
Brunello, Florencia: florenciabrunello@mi.unc.edu.ar
Troiano, Santiago: stroiano@mi.unc.edu.ar

Índice

Introducción

En este trabajo de informe presentaremos el problema propuesto por la cátedra y el procedimiento desarrollado por nuestro grupo a fines de resolverlo. El problema consiste en estimar el tiempo medio y desvío estándar que le lleva a un supermercado dejar de funcionar, esto es, tener menos de una cierta cantidad de cajas registradoras en funcionamiento.

El supermercado se organiza de la siguiente manera: posee una determinada cantidad de cajas registradoras en servicio y de repuesto que se setean al comienzo y un sistema de reparación de máquinas que cuentan con uno o dos operarios.

El procedimiento propuesto consta de una simulación que será repetida una cierta cantidad de veces necesarias para aproximar las métricas a tomar. La misma consiste en la construcción del modelo de supermercado, es decir, del seteo de la cantidad de máquinas de cada tipo, ya sean en servicio o de repuesto, y de sus respectivos tiempos de fallo, los cuales tienen una distribución particular. Una vez hecho esto, se analizan dos posibles situaciones reiterativamente hasta el fallo del supermercado.

Dependiendo de si una máquina alcanza su tiempo de fallo antes que otra sea reparada o de si un operario finaliza con la reparación de una máquina antes que otra se rompa procederemos de distintas maneras.

En el primer caso, si se alcanza la cantidad máxima de máquinas defectuosas que puede haber en el supermercado se termina la simulación. Sino, corroboramos si hay una máquina de repuesto disponible la cual será puesta a funcionar y si hay un operario libre al cual se le destinará la máquina defectuosa. En el segundo caso verificamos si hay otra máquina a reparar la cual será enviada al operario que acaba de liberarse.

Algoritmo y descripción de las variables

Variables utilizadas

A continuación introduciremos las variables que utilizamos en los algoritmos de los ejercicios propuestos:

- N: cantidad de cajas registradoras en servicio
- S: cantidad de máquinas de repuesto
- M: cantidad de operarios destinados a la reparación de las máquinas
- Tf: tiempo medio de la distribución exponencial que se usa para calcular el tiempo de fallo de una máquina
- Tr: tiempo medio de la distribución exponencial que se usa para calcular el tiempo de reparación
- tiempo: representa el paso del tiempo de una simulación
- n_defectuosas: cantidad de cajas registradoras defectuosas
- tiempos_reparacion: lista de tiempos de demora de reparación de cada caja (variable aleatoria exponencial de parámetro 1/Tr). La longitud de esta lista es la cantidad de operarios (M).
- tiempos_fallo: lista de tiempos de fallo de cada caja (variable aleatoria exponencial de parámetro 1/Tf). La longitud de esta lista es la cantidad de máquinas (N).
- op_libre: índice del primer tiempo infinito de una lista de tiempos de reparación. Esto indica que una máquina podrá ser reparada al ser ubicada en esa posición y luego asignándole un tiempo de reparación.
- op_a_liberar: índice de la máquina con el menor tiempo de reparación (esto indica que esta acaba de repararse). Representa al operario que será liberado.

Funcionamiento del algoritmo

En el archivo “brunello-troiano.py” adjunto a la entrega de este trabajo, se encuentra el código desarrollado en Python 3 que cuenta con la función sim(). Esta función implementa la resolución de ambos ejercicios y recibe como parámetros las variables N, S, M, Tf, Tr detalladas en la sección anterior.

A continuación explicaremos el funcionamiento de sim(): lo primero que hacemos es setear los parámetros y variables que modelizan el supermercado. El tiempo comienza a correr desde el segundo 0 (*‘tiempo’*), además, hay una cantidad nula de máquinas defectuosas (*'n_defectuosas'*), una lista de M elementos (correspondiente a la cantidad de operarios) que se inicializan con infinito para indicar que el o los operarios están libres y que luego tomará valores de variables aleatorias distribuidas exponencialmente con parámetro 1/Tr (*'tiempos_reparacion'*), y una lista de N elementos (correspondiente a la cantidad de máquinas en uso) con los tiempos de fallo que se inicializan con valores de variables aleatorias distribuídas exponencialmente con parámetro 1/Tf ('*tiempos_fallo'*) que será ordenada de manera ascendente.

Una vez construído el sistema que modeliza el supermercado comenzamos a realizar iteraciones en las que se chequean dos posibles situaciones hasta el fallo del sistema.

La primera ocurre cuando una de las máquinas en uso falla antes que otra sea reparada. En este caso avanzamos el tiempo hasta el momento en que falló la máquina e incrementamos la variable que cuenta el número de máquinas defectuosas. Luego se analizan dos posibles situaciones:

- Si hay repuestos eliminamos la máquina actual defectuosa de la lista de máquinas en uso, añadimos una máquina de repuesto a trabajar y reordenamos la lista de los tiempos de fallo de las máquinas. Seguidamente, en el caso del ejercicio 1, si el operario está libre se le asigna el tiempo que le lleva a la máquina repararse, para el caso del ejercicio 2, se procede de igual manera asignándole este tiempo al operario que esté libre, para lo cual se recorre la lista de *'tiempos_reparacion'* buscando el primer tiempo infinito.
- En caso de no haber repuestos ocurre un fallo en el sistema, por lo que devolvemos el tiempo actual de la simulación.

La segunda situación ocurre cuando una máquina es reparada antes que otra falle. Siendo este el caso recorremos la lista de tiempos de reparación hasta encontrar el mínimo de estos (corresponde al momento en que la máquina terminó de repararse), avanzamos el tiempo hasta ese momento y decrementamos la cantidad de máquinas defectuosas. Como tendremos un operario libre, chequeamos si hay una máquina defectuosa en cuyo caso se la encargamos al operario, sino indicamos que el mismo está libre.

Por último, para el cálculo de las métricas solicitadas generamos una lista de 10000 tiempos de fallo o resultados de ejecutar la simulación a partir de la cual obtenemos la media, el desvío estándar, la varianza, el mínimo, máximo y la mediana de los datos de las simulaciones.

Requerimientos para correr nuestro código

Para correr el código es necesario tener instalado Python3 (nosotros utilizamos la versión 3.10.12). Una vez descargado el archivo “Brunello-Troiano.py” se deben instalar las librerías de numpy, matplotlib y seaborn. Para ello ejecutar los siguientes comandos en una terminal:

- pip install numpy
- pip install matplotlib
- pip install seaborn

Finalmente, correr el comando python3 Brunello-Troiano.py.

Resultados

Gráficos con explicaciones

A continuación presentamos los gráficos obtenidos correspondientes a los histogramas con los valores de 10000 simulaciones de tiempos de fallo. Los datos están agrupados en intervalos de longitud 0.6, 3 y 0.9 meses para el ejercicio 1, 2 y 3 respectivamente.

En cuanto a las características sobresalientes de los gráficos, podemos notar que en general presentan una mayor concentración de datos a la izquierda de la media. Esto ocurre porque si bien hay una menor cantidad de datos correspondientes a tiempos elevados, sus valores son significativamente altos, lo que hace que la media se desplace hacia la derecha.

Por otro lado, notamos que el segundo gráfico presenta un rango de tiempo mayor (0 a 85 meses aproximadamente) comparado al primero cuyo rango es de 0 a 14 meses y al tercero con rango de 0 a 22 meses. Más adelante en el informe veremos que esto depende de la cantidad de operarios y máquinas de repuesto disponibles, parámetros que variamos para analizar el funcionamiento del sistema.

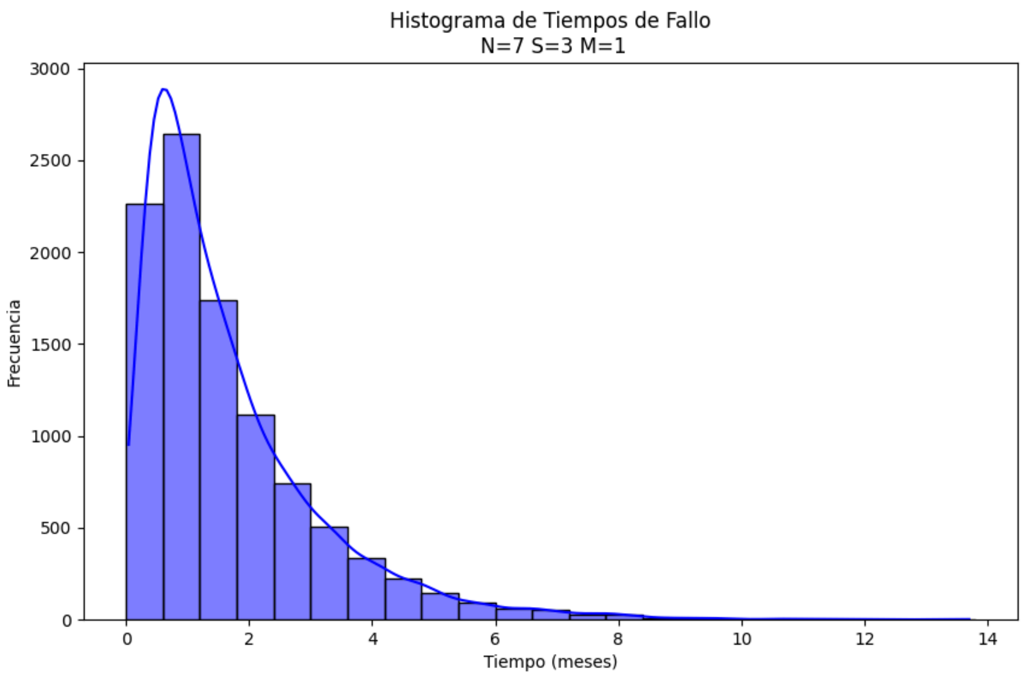

Imagen Nº 1: histograma con los valores de 10000 simulaciones de tiempos de fallo del sistema (Longitud de las barras: 0.6 meses)

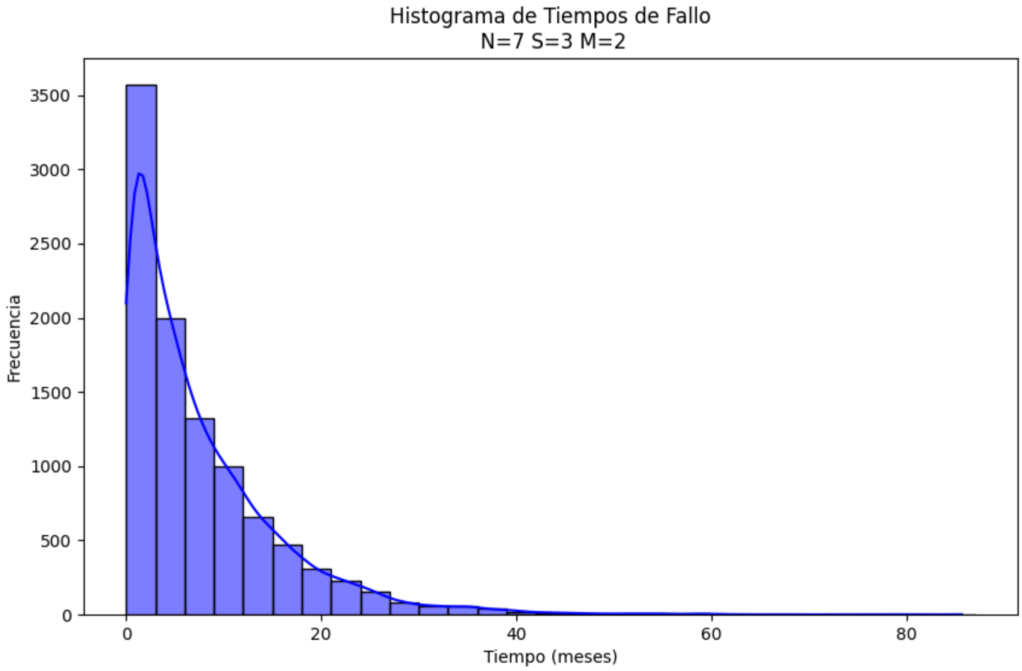

Imagen Nº 2: histograma con los valores de 10000 simulaciones de tiempos de fallo del sistema (Longitud de las barras: 3 meses)

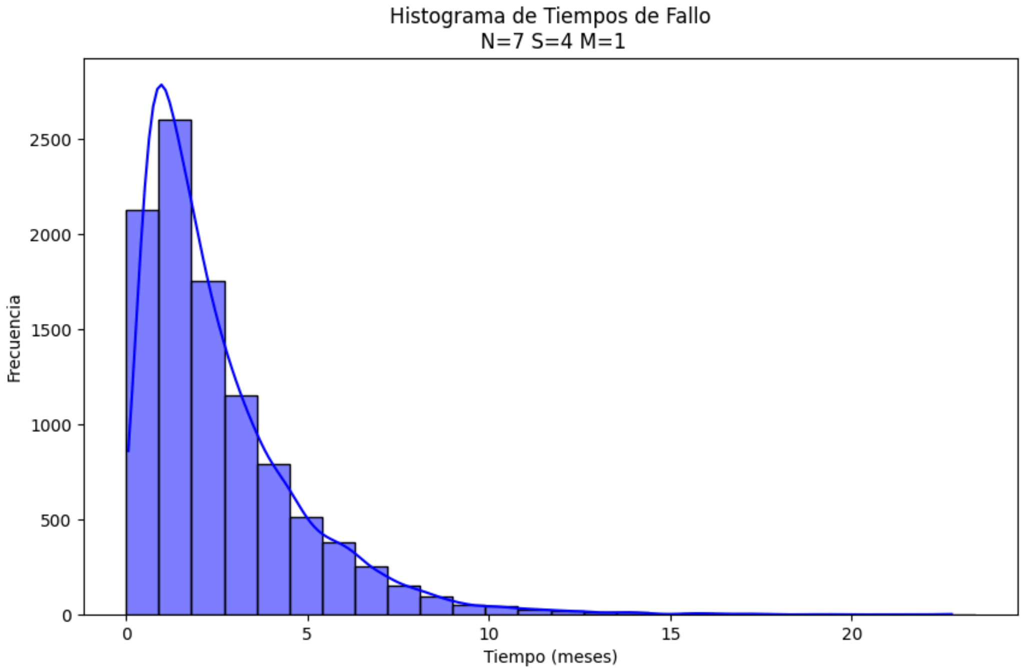

Imagen Nº 3: histograma con los valores de 10000 simulaciones de tiempos de fallo del sistema (Longitud de las barras: 0.9 meses)

Tabla comparativa de los datos obtenidos en cada ejercicio

	N=7 S=3 M=1	N=7 S=3 M=2	N=7 S=4 M=1
Esperanza	1.6740	7.5645	2.5832
Desvío estándar	1.4631	7.9523	2.2112
Mínimo	0.0303	0.0334	0.0629
Máximo	13.7035	85.6376	22.7547

Análisis del problema y comparación de los resultados obtenidos

El análisis que desarrollaremos a continuación está hecho en base a resultados obtenidos luego de correr la simulación 10000 veces, pero es importante notar que hay un factor de aleatoriedad en los valores que toman las variables que hará que se obtengan resultados diferentes en cada iteración.

Podemos observar que la esperanza del tiempo de fallo del supermercado que posee un operario (ejercicio 1) es 4.51 veces menor que el del supermercado con dos operarios (ejercicio 2). Suponemos que esto ocurre porque cuando tenemos un solo operario disponible, las máquinas se reparan linealmente mientras que si tenemos dos operarios, se reparan en paralelo reduciendo el número de cajas rotas hasta dos veces más rápido.

Así, si tenemos un sistema que consta de siete cajas en funcionamiento y tres de repuesto, este fallará cuando haya cuatro máquinas defectuosas al mismo tiempo, osea, cuando hayan solo seis cajas en uso. Luego, si el proceso de reparación es en paralelo este será más eficiente que si fuera lineal, por lo que habrá menos probabilidades de alcanzar la cota superior de cajas rotas.

A partir del valor de la esperanza obtenido correspondiente al ejercicio tres podemos inferir que es conveniente tener un mayor número de operarios que de máquinas de repuesto. Esto ocurre porque tener más repuestos incrementa el tiempo hasta alcanzar el fallo del sistema pero el número de cajas defectuosas se sigue reduciendo linealmente, mientras que tener más operarios permite reparar las máquinas en paralelo.

En cuanto a los tiempos mínimos de fallo del sistema, observamos que al aumentar la cantidad de repuestos (ejercicio 3) la probabilidad de que el tiempo mínimo sea mayor

respecto al del ejercicio uno y dos aumenta pues deberán romperse cinco cajas al mismo tiempo en vez de cuatro.
En relación con los tiempos máximos de fallo del sistema, vemos que al incrementar la cantidad de máquinas de repuesto y mantener la cantidad de operarios (comparación ejercicio uno y tres) le damos un mayor margen de tiempo al operario para reparar las cajas, por lo que el máximo es mayor. Pero, incrementar la cantidad de operarios y mantener la cantidad de máquinas de repuesto (comparación ejercicio uno y dos) hace que el máximo sea significativamente mayor por la velocidad en la que las máquinas son reparadas.

Conclusiones

Como conclusión de las métricas obtenidas a partir del procedimiento implementado por nuestro grupo a fines de resolver el problema podemos decir que la variabilidad en las máquinas de repuesto y en la cantidad de operarios influyen en gran medida en el tiempo de fallo de la simulación.

Si bien aumentar en uno la cantidad de cajas de repuestos hace que el tiempo de fallo del supermercado aumente, aumentar en uno la cantidad de operarios será más eficiente puesto que seguirán habiendo más máquinas de repuesto que de operarios, la reparación será en paralelo y la cantidad de máquinas defectuosas disminuirá hasta dos veces más rápido.

Sin embargo, es necesario notar que no siempre obtendremos un mayor tiempo de fallo al aumentar los operarios. Consideremos los casos en que tengamos una máquina de repuesto y uno o dos operarios. Por lo visto anteriormente esperaríamos que haya una mejora al agregar un operario, no obstante, obtendremos resultados similares con uno o con dos ya que al cumplirse la condición de fallo del sistema (alcanzar S+1 cajas defectuosas) no se le podrá encomendar la caja al operario extra puesto que el sistema ya falló.

Bibliografía

Capítulo 6 del libro Simulación (Segunda Edición ed.) de S. Ross (1999).