

Simulación de servicio en la cafetería principal “Lunchscool” ubicada en la sede principal de la Universidad Santo Tomás por medio de la simulación de Montecarlo

Linda Lorena Narváez¹, Laura Camila Navarrete², Sebastián Felipe Parra³, Gineth Carolina Torres⁴ Oscar Mauricio Gelves Alarcón⁵.

Resumen - Una de las aplicaciones de la simulación de Montecarlo es la predicción, especialmente cuando existe el azar en variables de los procesos. Para este artículo se realizó la simulación de Montecarlo para dos horas de servicio en la cafetería principal “Lunchscool” de la sede principal de la Universidad Santo Tomás, para esto se realizó una toma de datos y simulación de aproximadamente dos horas cada una, verificación de independencia y uniformidad de los números aleatorios utilizados, finalmente algunos indicadores que muestran el tiempo de servicio, el tiempo de llegada, tiempos de espera, tiempos ociosos promedio y factor de ocupación. Se obtuvo que los números aleatorios son uniformes e independientes, en la toma de datos y simulación los promedios están cero - dos minutos cada uno. Se tienen en cuenta las fórmulas de un sistema de colas m/m/1, dando en la toma de datos explosivo, y en la simulación con graves problemas. Para esto se generan algunas sugerencias mejor explicadas en las conclusiones.

Índice de Términos – Cafetería principal, Simulación de Montecarlo, tiempo de llegada, tiempo de servicio.

Abstract - One of the applications of the Monte-Carlo simulation is prediction, especially when there is chance in process variables. For this article was made the simulation of Monte-Carlo for two hours of service in the main cafeteria “Lunchscool” of the headquarters of Saint Thomas University, for this was made a data collection and simulation of approximately two hours each, verification of independence and uniformity of random numbers used, finally some indicators showing the service time, arrival time, waiting times, average idle times and occupancy factor. It was obtained that random numbers are uniform and independent, in data collection and simulation averages are zero - two minutes each. The formulas of a m/m/1 queuing system are taken into account, giving an explosive data collection, and in the simulation with serious problems. For this some suggestions are generated better explained in the conclusions.

Key Words – Coffee shop, Monte Carlo Simulation, arrival time, time served.

I. INTRODUCCIÓN

La simulación de procesos es una herramienta utilizada por los ingenieros con el objetivo de evidenciar el comportamiento de un sistema al ser expuesto a diferentes factores sin alterar el escenario real. La Universidad Santo Tomás, primer claustro universitario de Colombia, en la sede central de la ciudad de Bogotá, ubicada en la Carrera 9 # 51 - 11, cuenta con 3 servicios de cafeterías, siendo la principal aquella situada en el primer piso del edificio Fray Alberto Ariza y por consecuencia la más transitada y congestiona en las horas de almuerzo. Poder simular el proceso puede permitir en un futuro buscar alternativas que permitan mejorar la atención, y así el servicio que allí se presta.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Simular de servicio en la cafetería principal “Lunchscool” ubicada en la sede Central de la Universidad Santo Tomás de Bogotá por medio de la simulación de Montecarlo.

Objetivos específicos

1. Registrar tiempos entre llegada y de servicio de cada uno de los clientes que ingresen al sistema entre las 12:00 m y las 2:00 pm.
2. Identificar las frecuencias, probabilidades e intervalos de los tiempos registrados.
3. Simular n clientes en el sistema identificando los tiempos de espera de cada uno de los clientes que ingresan en el sistema y el tiempo de ocio que puede llegar a presentar la cafetería.
4. Hallar el tiempo de llegada, servicio, espera y ocioso promedio en la fila
5. Calcular los indicadores del sistema de colas
6. Validar la uniformidad e independencia de los números aleatorios utilizados.

III. MARCO TEÓRICO

¿Qué es la simulación?

Simulación es el desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de manera que se obtenga una imitación de un proceso del sistema a través del tiempo. Por lo tanto, la simulación involucra la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia mediante la manipulación experimental; además, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema. [1]

Las simulaciones tienen el objetivo de duplicar características y comportamientos propios de un sistema real, es decir, imita el comportamiento de un sistema a través de la manipulación de un modelo que representa la realidad [2]. La simulación Monte Carlo (SMC) no es ajena al anterior objetivo, y tiene una característica primordial: permite simular el comportamiento de las variables que inciden en el problema a analizar, cuando se tiene incertidumbre sobre el comportamiento que éstas van a tener y su efecto sobre la variable dependiente, esto a través de una técnica de base científica que brinde mayor soporte a las proyecciones futuras [3].

Los modelos de SMC suelen enfocarse en operaciones detalladas en un sistema, ya sean físicas o financieras. En este sistema se estudia la manera cómo funciona a través del tiempo y se incluyen los efectos de los resultados de un periodo sobre el siguiente [1]. La SMC proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos posibilitando la realización de experimentos con muestreos de números pseudoaleatorios en una computadora. El método es aplicable a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinista [4].

Aplicación de la Simulación Monte Carlo

De forma simplificada, se puede aplicar el Modelo de Monte Carlo en el Excel de la siguiente forma [5]:

1. Estimar la escala de valores que podría alcanzar cada factor, y la probabilidad de ocurrencia asociada a cada valor.
2. Elegir, aleatoriamente, uno de los valores de cada factor, y dependiendo de la combinación seleccionada, computar la tasa de rendimiento resultante.
3. Repetir el mismo proceso una y otra vez, la cantidad de veces que sea necesaria, que permita definir y evaluar la probabilidad de ocurrencia de cada posible tasa de rendimiento. Como existen millones de posibles combinaciones de factores, necesitamos efectuar un número de pruebas suficientemente grande para que pueda apreciarse la posibilidad de ocurrencia de las varias tasas de rendimiento. El resultado al que se llegará será una lista de distintas tasas de rendimiento que podrían lograrse, que puede variar desde una pérdida (si los factores son adversos) hasta la ganancia máxima que sea posible lograr conforme con los pronósticos que se hayan efectuado.
4. Se calcula la tasa media esperada, que es el promedio ponderado de todas las tasas resultantes de las sucesivas pruebas realizadas, siendo la base de ponderación la probabilidad de ocurrencia de cada una.
5. También se determina la variabilidad de los valores respecto del promedio, lo que es importante porque a igualdad de otros factores, la empresa presumiblemente preferirá los proyectos de menor variabilidad.

Pruebas de uniformidad e independencia

- Pruebas de Promedios

Consiste en verificar que los números generados tengan una media estadísticamente igual a $1/2$. La prueba que busca determinar lo anterior es la llamada prueba de medias, en la cual se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0 = \mu = \frac{1}{2}$$

$$H_0 = \mu \neq \frac{1}{2}$$

$$Z_0 = \frac{(\bar{X} - \frac{1}{2})\sqrt{N}}{\sqrt{\frac{1}{2}}}$$

Si $|Z_0| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}$, no se rechaza la hipótesis de los números aleatorios y se determina que proviene de un número uniforme.

- Prueba Chicuadrada

En estadística y estadística aplicada se denomina prueba χ^2 (pronunciado como "ji-cuadrado" y a veces incorrectamente como "chi-cuadrado") a cualquier prueba en la que el estadístico utilizado sigue una distribución χ^2 si la hipótesis nula es cierta. Algunos ejemplos de pruebas χ^2 son:

- La prueba χ^2 de Pearson, la cual tiene numerosas aplicaciones:
 - La prueba χ^2 de frecuencias
 - La prueba χ^2 de independencia
 - La prueba χ^2 de uniformidad (bondad de ajuste)
- La prueba χ^2 de Pearson con corrección por continuidad o corrección de Yates
- La prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

La prueba χ^2 de Pearson es considerada como una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (bondad de ajuste), indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas, de haberlas, se deben al azar en el contraste de hipótesis. También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia [6].

La fórmula que da el estadístico es la siguiente:

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Fe_i - Fo_i)^2}{Fe_i}$$

Si el valor del estadístico, es menor que el valor de la tabla, no se rechaza la uniformidad de los números aleatorios.

- Prueba Corridas Arriba y Abajo

Una prueba de Corridas es un método que nos ayuda a evaluar el carácter de aleatoriedad de una secuencia de números estadísticamente independientes y números uniformemente distribuidos. Es decir, dado una serie de números determinar si son o no aleatorios. Este método es uno de los más sencillos, ya que solo implica la diferencia de los números que están arriba o debajo de los medios, pero su sencillez no implica que su importancia sea menor.

Las fórmulas que dan el estadístico son las siguientes:

$$\mu_{Co} = \frac{2n - 1}{3}$$

$$\sigma_{Co} = \frac{16n - 29}{90}$$

$$Z_o = \left| \frac{Co - \mu_{Co}}{\sigma_{Co}} \right|$$

Si Z_o es mayor que el valor crítico $Z_{\frac{\alpha}{2}}$, se concluye que los números no son independientes y por tanto se rechaza la hipótesis nula o H_o .

Teoría de Colas

“Un sistema de colas se puede describir cómo sigue. Un conjunto de “clientes” llega a un sistema buscando un servicio, esperan si este no es inmediato, y abandonan el sistema una vez han sido atendidos. En algunos casos se puede admitir que los clientes abandonan el sistema si se cansan de esperar. El término “cliente” se usa con un sentido general y no implica que sea un ser humano, puede significar piezas esperando su turno para ser procesadas o una lista de trabajo esperando para imprimir en una impresora en red.

Características de los sistemas de colas

Seis son las características básicas que se deben utilizar para describir adecuadamente un sistema de colas:

- a) Patrón de llegada de los clientes
- b) Patrón de servicio de los servidores
- c) Disciplina de cola
- d) Capacidad del sistema
- e) Número de canales de servicio
- f) Número de etapas de servicio “[7]

Formulas del sistema de Colas

Factor de utilización

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Probabilidad de que no haya unidades en el sistema

$$P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$$

Probabilidad de que haya n unidades en el sistema

$$P_n = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0$$

Número promedio de unidades en cola

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

Número promedio de unidades en el sistema

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$$

Tiempo promedio que una unidad pasa en una cola

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

Tiempo promedio que una unidad pasa en el sistema

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu}$$

Probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar por el servicio

$$P_w = \frac{\lambda}{\mu}$$

Giusty Guerrero De La Hoz – Ing. Industrial

IV. METODOLOGÍA

Población y muestra

Para la selección de la población potencial en la simulación, se estableció un horario de toma de datos comprendido entre 12:00 m y las 2:00 pm, debido a que es el periodo de tiempo en el que la cafetería presenta los niveles más altos de llegada de clientes. Como resultado, la población de estudio seleccionada está representada por 118 personas pertenecientes a la comunidad tomasina.

Diseño del estudio

El presente estudio es cuantitativo, transversal y correlacional. Se realizó un registro cuantitativo de las variables de interés (tiempo de servicio y tiempo entre llegadas) para cada una de las personas que accedieron al servicio de la cafetería en el periodo de tiempo establecido.

Procedimiento

Se inicia el registro de tiempos a las 12:00 m, tomando el tiempo entre llegadas y el tiempo de servicio de cada uno de los clientes que ingresan en el sistema. El tiempo de servicio se debe tener en cuenta solo cuando el cliente llegue a la caja, es atendido y le despachan su pedido; en caso de no encontrarse ningún cliente en el sistema, el tiempo de servicio no se debe registrar. Por otro lado, el tiempo entre llegadas nunca debe dejar de contabilizarse, ya que tiene por objeto registrar el tiempo que tarda en entrar un nuevo cliente al sistema.

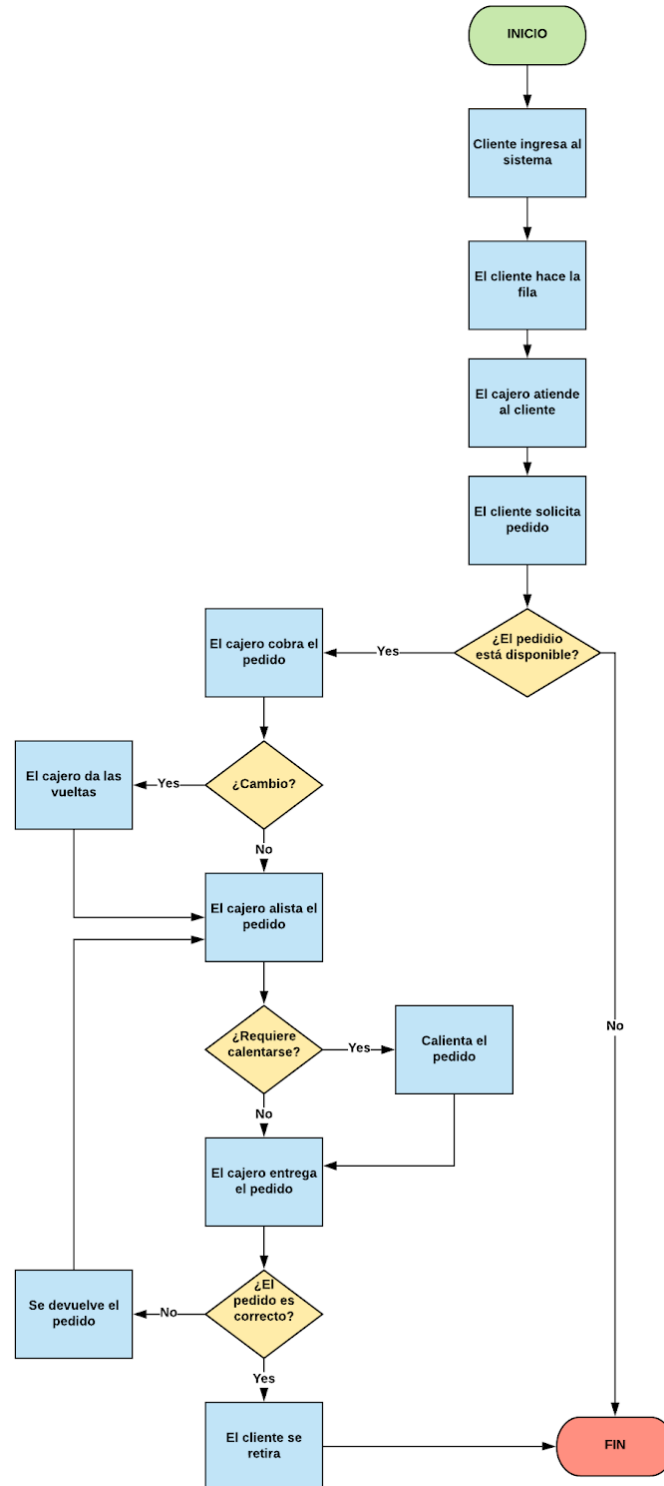
Una vez registrados los tiempos obtenidos en el periodo de tiempo establecido, se procede a simular 118 clientes en el sistema identificando los tiempos de espera de cada uno de los clientes que ingresan en el sistema y el tiempo de ocio que puede llegar a presentar la cafetería.

V. RESULTADOS

Flujograma servicio en cafetería

En la Figure 1 se evidencia el proceso de servicio a los clientes en la cafetería desde que el cliente ingresa el sistema y se ubica en la fila hasta que el cliente recibe el pedido y se retira.

Figure I. Flujograma del proceso de servicio en cafetería



Fuente. Elaboración propia

Tabla de registro de datos

Se registraron los tiempos de llegada y des servicio desde las doce del mediodía, en total se registraron 118 clientes y una finalización del servicio a la una y cuarenta y seis. En la tabla a continuación se registra el cliente, el intervalo de llegada, la hora de llegada, el tiempo de servicio, el inicio de servicio, el final de servicio el tiempo de espera y el tiempo ocioso.

Table I. Registro de datos

Cliente	Intervalo de llegada	Hora de llegada	Tiempo de servicio	Inicio servicio	Final servicio	Tiempo de espera	Tiempo ocioso
1	0	12:00:00 p. m.	2	12:00:00 p. m.	12:02:00 p. m.	00:00	00:00
2	0	12:00:00 p. m.	0	12:02:00 p. m.	12:02:00 p. m.	02:00	00:00
3	1	12:01:00 p. m.	0	12:02:00 p. m.	12:02:00 p. m.	01:00	00:00
4	0	12:01:00 p. m.	0	12:02:00 p. m.	12:02:00 p. m.	01:00	00:00
5	0	12:01:00 p. m.	1	12:02:00 p. m.	12:03:00 p. m.	01:00	00:00
6	2	12:03:00 p. m.	3	12:03:00 p. m.	12:06:00 p. m.	00:00	00:00
7	3	12:06:00 p. m.	1	12:06:00 p. m.	12:07:00 p. m.	00:00	00:00
8	0	12:06:00 p. m.	1	12:07:00 p. m.	12:08:00 p. m.	01:00	00:00
9	0	12:06:00 p. m.	0	12:08:00 p. m.	12:08:00 p. m.	02:00	00:00
10	1	12:07:00 p. m.	1	12:08:00 p. m.	12:09:00 p. m.	01:00	00:00
11	1	12:08:00 p. m.	0	12:09:00 p. m.	12:09:00 p. m.	01:00	00:00
12	0	12:08:00 p. m.	0	12:09:00 p. m.	12:09:00 p. m.	01:00	00:00
13	0	12:08:00 p. m.	0	12:09:00 p. m.	12:09:00 p. m.	01:00	00:00
14	2	12:10:00 p. m.	2	12:10:00 p. m.	12:12:00 p. m.	00:00	01:00
15	1	12:11:00 p. m.	0	12:12:00 p. m.	12:12:00 p. m.	01:00	00:00
16	2	12:13:00 p. m.	1	12:13:00 p. m.	12:14:00 p. m.	00:00	01:00
17	2	12:15:00 p. m.	1	12:15:00 p. m.	12:16:00 p. m.	00:00	01:00
18	1	12:16:00 p. m.	1	12:16:00 p. m.	12:17:00 p. m.	00:00	00:00
19	2	12:18:00 p. m.	2	12:18:00 p. m.	12:20:00 p. m.	00:00	01:00
20	2	12:20:00 p. m.	0	12:20:00 p. m.	12:20:00 p. m.	00:00	00:00
21	0	12:20:00 p. m.	1	12:20:00 p. m.	12:21:00 p. m.	00:00	00:00
22	0	12:20:00 p. m.	1	12:21:00 p. m.	12:22:00 p. m.	01:00	00:00
23	0	12:20:00 p. m.	1	12:22:00 p. m.	12:23:00 p. m.	02:00	00:00
24	0	12:20:00 p. m.	1	12:23:00 p. m.	12:24:00 p. m.	03:00	00:00
25	0	12:20:00 p. m.	1	12:24:00 p. m.	12:25:00 p. m.	04:00	00:00
26	2	12:22:00 p. m.	1	12:25:00 p. m.	12:26:00 p. m.	03:00	00:00
27	1	12:23:00 p. m.	1	12:26:00 p. m.	12:27:00 p. m.	03:00	00:00
28	1	12:24:00 p. m.	1	12:27:00 p. m.	12:28:00 p. m.	03:00	00:00
29	3	12:27:00 p. m.	2	12:28:00 p. m.	12:30:00 p. m.	01:00	00:00
30	0	12:27:00 p. m.	1	12:30:00 p. m.	12:31:00 p. m.	03:00	00:00
31	0	12:27:00 p. m.	1	12:31:00 p. m.	12:32:00 p. m.	04:00	00:00
32	0	12:27:00 p. m.	1	12:32:00 p. m.	12:33:00 p. m.	05:00	00:00

33	1	12:28:00 p. m.	0	12:33:00 p. m.	12:33:00 p. m.	05:00	00:00
34	2	12:30:00 p. m.	0	12:33:00 p. m.	12:33:00 p. m.	03:00	00:00
35	1	12:31:00 p. m.	0	12:33:00 p. m.	12:33:00 p. m.	02:00	00:00
36	1	12:32:00 p. m.	0	12:33:00 p. m.	12:33:00 p. m.	01:00	00:00
37	1	12:33:00 p. m.	0	12:33:00 p. m.	12:33:00 p. m.	00:00	00:00
38	1	12:34:00 p. m.	1	12:34:00 p. m.	12:35:00 p. m.	00:00	01:00
39	0	12:34:00 p. m.	1	12:35:00 p. m.	12:36:00 p. m.	01:00	00:00
40	1	12:35:00 p. m.	1	12:36:00 p. m.	12:37:00 p. m.	01:00	00:00
41	0	12:35:00 p. m.	1	12:37:00 p. m.	12:38:00 p. m.	02:00	00:00
42	0	12:35:00 p. m.	1	12:38:00 p. m.	12:39:00 p. m.	03:00	00:00
43	5	12:40:00 p. m.	1	12:40:00 p. m.	12:41:00 p. m.	00:00	01:00
44	0	12:40:00 p. m.	1	12:41:00 p. m.	12:42:00 p. m.	01:00	00:00
45	0	12:40:00 p. m.	0	12:42:00 p. m.	12:42:00 p. m.	02:00	00:00
46	1	12:41:00 p. m.	0	12:42:00 p. m.	12:42:00 p. m.	01:00	00:00
47	1	12:42:00 p. m.	1	12:42:00 p. m.	12:43:00 p. m.	00:00	00:00
48	1	12:43:00 p. m.	1	12:43:00 p. m.	12:44:00 p. m.	00:00	00:00
49	1	12:44:00 p. m.	1	12:44:00 p. m.	12:45:00 p. m.	00:00	00:00
50	1	12:45:00 p. m.	1	12:45:00 p. m.	12:46:00 p. m.	00:00	00:00
51	1	12:46:00 p. m.	1	12:46:00 p. m.	12:47:00 p. m.	00:00	00:00
52	1	12:47:00 p. m.	0	12:47:00 p. m.	12:47:00 p. m.	00:00	00:00
53	0	12:47:00 p. m.	1	12:47:00 p. m.	12:48:00 p. m.	00:00	00:00
54	1	12:48:00 p. m.	0	12:48:00 p. m.	12:48:00 p. m.	00:00	00:00
55	1	12:49:00 p. m.	2	12:49:00 p. m.	12:51:00 p. m.	00:00	01:00
56	0	12:49:00 p. m.	1	12:51:00 p. m.	12:52:00 p. m.	02:00	00:00
57	0	12:49:00 p. m.	1	12:52:00 p. m.	12:53:00 p. m.	03:00	00:00
58	2	12:51:00 p. m.	1	12:53:00 p. m.	12:54:00 p. m.	02:00	00:00
59	0	12:51:00 p. m.	1	12:54:00 p. m.	12:55:00 p. m.	03:00	00:00
60	2	12:53:00 p. m.	2	12:55:00 p. m.	12:57:00 p. m.	02:00	00:00
61	1	12:54:00 p. m.	1	12:57:00 p. m.	12:58:00 p. m.	03:00	00:00
62	1	12:55:00 p. m.	2	12:58:00 p. m.	1:00:00 p. m.	03:00	00:00
63	3	12:58:00 p. m.	1	1:00:00 p. m.	1:01:00 p. m.	02:00	00:00
64	1	12:59:00 p. m.	1	1:01:00 p. m.	1:02:00 p. m.	02:00	00:00
65	1	1:00:00 p. m.	0	1:02:00 p. m.	1:02:00 p. m.	02:00	00:00
66	0	1:00:00 p. m.	1	1:02:00 p. m.	1:03:00 p. m.	02:00	00:00
67	0	1:00:00 p. m.	2	1:03:00 p. m.	1:05:00 p. m.	03:00	00:00
68	1	1:01:00 p. m.	2	1:05:00 p. m.	1:07:00 p. m.	04:00	00:00
69	0	1:01:00 p. m.	1	1:07:00 p. m.	1:08:00 p. m.	06:00	00:00
70	2	1:03:00 p. m.	1	1:08:00 p. m.	1:09:00 p. m.	05:00	00:00
71	0	1:03:00 p. m.	1	1:09:00 p. m.	1:10:00 p. m.	06:00	00:00
72	0	1:03:00 p. m.	1	1:10:00 p. m.	1:11:00 p. m.	07:00	00:00

73	2	1:05:00 p. m.	1	1:11:00 p. m.	1:12:00 p. m.	06:00	00:00
74	1	1:06:00 p. m.	1	1:12:00 p. m.	1:13:00 p. m.	06:00	00:00
75	2	1:08:00 p. m.	1	1:13:00 p. m.	1:14:00 p. m.	05:00	00:00
76	0	1:08:00 p. m.	0	1:14:00 p. m.	1:14:00 p. m.	06:00	00:00
77	1	1:09:00 p. m.	1	1:14:00 p. m.	1:15:00 p. m.	05:00	00:00
78	1	1:10:00 p. m.	1	1:15:00 p. m.	1:16:00 p. m.	05:00	00:00
79	1	1:11:00 p. m.	1	1:16:00 p. m.	1:17:00 p. m.	05:00	00:00
80	1	1:12:00 p. m.	1	1:17:00 p. m.	1:18:00 p. m.	05:00	00:00
81	0	1:12:00 p. m.	1	1:18:00 p. m.	1:19:00 p. m.	06:00	00:00
82	1	1:13:00 p. m.	1	1:19:00 p. m.	1:20:00 p. m.	06:00	00:00
83	0	1:13:00 p. m.	1	1:20:00 p. m.	1:21:00 p. m.	07:00	00:00
84	2	1:15:00 p. m.	0	1:21:00 p. m.	1:21:00 p. m.	06:00	00:00
85	2	1:17:00 p. m.	1	1:21:00 p. m.	1:22:00 p. m.	04:00	00:00
86	1	1:18:00 p. m.	2	1:22:00 p. m.	1:24:00 p. m.	04:00	00:00
87	3	1:21:00 p. m.	1	1:24:00 p. m.	1:25:00 p. m.	03:00	00:00
88	1	1:22:00 p. m.	1	1:25:00 p. m.	1:26:00 p. m.	03:00	00:00
89	1	1:23:00 p. m.	1	1:26:00 p. m.	1:27:00 p. m.	03:00	00:00
90	0	1:23:00 p. m.	1	1:27:00 p. m.	1:28:00 p. m.	04:00	00:00
91	2	1:25:00 p. m.	1	1:28:00 p. m.	1:29:00 p. m.	03:00	00:00
92	0	1:25:00 p. m.	0	1:29:00 p. m.	1:29:00 p. m.	04:00	00:00
93	0	1:25:00 p. m.	1	1:29:00 p. m.	1:30:00 p. m.	04:00	00:00
94	0	1:25:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	05:00	00:00
95	2	1:27:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	03:00	00:00
96	0	1:27:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	03:00	00:00
97	0	1:27:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	03:00	00:00
98	0	1:27:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	03:00	00:00
99	1	1:28:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	02:00	00:00
100	2	1:30:00 p. m.	0	1:30:00 p. m.	1:30:00 p. m.	00:00	00:00
101	0	1:30:00 p. m.	1	1:30:00 p. m.	1:31:00 p. m.	00:00	00:00
102	0	1:30:00 p. m.	1	1:31:00 p. m.	1:32:00 p. m.	01:00	00:00
103	0	1:30:00 p. m.	0	1:32:00 p. m.	1:32:00 p. m.	02:00	00:00
104	2	1:32:00 p. m.	0	1:32:00 p. m.	1:32:00 p. m.	00:00	00:00
105	2	1:34:00 p. m.	0	1:34:00 p. m.	1:34:00 p. m.	00:00	02:00
106	0	1:34:00 p. m.	1	1:34:00 p. m.	1:35:00 p. m.	00:00	00:00
107	1	1:35:00 p. m.	2	1:35:00 p. m.	1:37:00 p. m.	00:00	00:00
108	0	1:35:00 p. m.	1	1:37:00 p. m.	1:38:00 p. m.	02:00	00:00
109	0	1:35:00 p. m.	0	1:38:00 p. m.	1:38:00 p. m.	03:00	00:00
110	0	1:35:00 p. m.	0	1:38:00 p. m.	1:38:00 p. m.	03:00	00:00
111	2	1:37:00 p. m.	2	1:38:00 p. m.	1:40:00 p. m.	01:00	00:00
112	1	1:38:00 p. m.	0	1:40:00 p. m.	1:40:00 p. m.	02:00	00:00

113	0	1:38:00 p. m.	3	1:40:00 p. m.	1:43:00 p. m.	02:00	00:00
114	0	1:38:00 p. m.	0	1:43:00 p. m.	1:43:00 p. m.	05:00	00:00
115	1	1:39:00 p. m.	1	1:43:00 p. m.	1:44:00 p. m.	04:00	00:00
116	2	1:41:00 p. m.	2	1:44:00 p. m.	1:46:00 p. m.	03:00	00:00
117	2	1:43:00 p. m.	0	1:46:00 p. m.	1:46:00 p. m.	03:00	00:00
118	1	1:44:00 p. m.	0	1:46:00 p. m.	1:46:00 p. m.	02:00	00:00

De la tabla anterior se puede identificar que el tiempo de llegada, el tiempo de servicio, el tiempo de espera y el tiempo ocioso promedio es de un minuto en todos los casos.

Simulación de Montecarlo del servicio

Para realizar la simulación, según los datos recogidos anteriormente se realizan las siguientes dos tablas en las cuales se muestran los tiempos entre llegadas, tiempo de servicio, la frecuencia, la probabilidad, la probabilidad acumulada y los intervalos, en las tablas II y III se muestran los datos. Para el tiempo de llegadas se tienen seis tiempos por tanto seis intervalos, y en los tiempos de servicio cuatro tiempos y por tanto cuatro intervalos.

Table II Tiempo entre llegadas

Tiempo entre llegada (min)	Frecuencia	P(x)	Acumulada	Intervalo	
0	49	0,41525	0,41525	0	0,41525
1	41	0,34746	0,76271	0,41525	0,76271
2	23	0,19492	0,95763	0,76271	0,95763
3	4	0,0339	0,99153	0,95763	0,99153
5	1	0,00847	1	0,99153	1
	118				

Table III Tiempo de Servicio

Tiempo de servicio (min)	Frecuencia	P(x)	Acumulada	Intervalo	
0	38	0,32203	0,32203	0	0,32203
1	65	0,55085	0,87288	0,32203	0,87288
2	13	0,11017	0,98305	0,87288	0,98305
3	2	0,01695	1	0,98305	1
	118				

A continuación, se muestra la simulación del servicio iniciando a las doce del medio día y finalizando a las dos y nueve de la tarde, aproximadamente dos horas, en la tabla se muestran los clientes, que fueron en total ciento cuarenta y siete, número aleatorios para llegadas y servicio, el intervalo de llegadas con la hora, el tiempo de servicio, la hora de inicio de servicio y final de servicio, los tiempos de espera y tiempos ociosos.

Table IV Simulación de Montecarlo

Cliente	Aleatorio	Intervalo de llegadas (min)	Hora de llegada	Aleatorio	Tiempo de servicio (min)	Inicio servicio	Final servicio	Tiempo de espera	Tiempo ocioso
1	0,47913	1	12:01:00 p. m.	0,34205	1	12:01:00 p. m.	12:02:00 p. m.	0:00	0:01

2	0,328446	0	12:01:00 p. m.	0,630184	1	12:02:00 p. m.	12:03:00 p. m.	0:01	0:00
3	0,595619	1	12:02:00 p. m.	0,039652	0	12:03:00 p. m.	12:03:00 p. m.	0:01	0:00
4	0,479187	1	12:03:00 p. m.	0,368994	1	12:03:00 p. m.	12:04:00 p. m.	0:00	0:00
5	0,167049	0	12:03:00 p. m.	0,095658	0	12:04:00 p. m.	12:04:00 p. m.	0:01	0:00
6	0,202019	0	12:03:00 p. m.	0,406955	1	12:04:00 p. m.	12:05:00 p. m.	0:01	0:00
7	0,673541	1	12:04:00 p. m.	0,469121	1	12:05:00 p. m.	12:06:00 p. m.	0:01	0:00
8	0,749647	1	12:05:00 p. m.	0,566984	1	12:06:00 p. m.	12:07:00 p. m.	0:01	0:00
9	0,258944	0	12:05:00 p. m.	0,022457	0	12:07:00 p. m.	12:07:00 p. m.	0:02	0:00
10	0,301692	0	12:05:00 p. m.	0,408775	1	12:07:00 p. m.	12:08:00 p. m.	0:02	0:00
11	0,178919	0	12:05:00 p. m.	0,329029	1	12:08:00 p. m.	12:09:00 p. m.	0:03	0:00
12	0,472225	1	12:06:00 p. m.	0,255334	0	12:09:00 p. m.	12:09:00 p. m.	0:03	0:00
13	0,518404	1	12:07:00 p. m.	0,253604	0	12:09:00 p. m.	12:09:00 p. m.	0:02	0:00
14	0,004847	0	12:07:00 p. m.	0,107185	0	12:09:00 p. m.	12:09:00 p. m.	0:02	0:00
15	0,563361	1	12:08:00 p. m.	0,768819	1	12:09:00 p. m.	12:10:00 p. m.	0:01	0:00
16	0,128775	0	12:08:00 p. m.	0,84374	1	12:10:00 p. m.	12:11:00 p. m.	0:02	0:00
17	0,554255	1	12:09:00 p. m.	0,816818	1	12:11:00 p. m.	12:12:00 p. m.	0:02	0:00
18	0,201927	0	12:09:00 p. m.	0,93755	2	12:12:00 p. m.	12:14:00 p. m.	0:03	0:00
19	0,769997	2	12:11:00 p. m.	0,464249	1	12:14:00 p. m.	12:15:00 p. m.	0:03	0:00
20	0,292279	0	12:11:00 p. m.	0,608481	1	12:15:00 p. m.	12:16:00 p. m.	0:04	0:00
21	0,270726	0	12:11:00 p. m.	0,147253	0	12:16:00 p. m.	12:16:00 p. m.	0:05	0:00
22	0,492329	1	12:12:00 p. m.	0,926593	2	12:16:00 p. m.	12:18:00 p. m.	0:04	0:00
23	0,388549	0	12:12:00 p. m.	0,112763	0	12:18:00 p. m.	12:18:00 p. m.	0:06	0:00
24	0,339062	0	12:12:00 p. m.	0,389179	1	12:18:00 p. m.	12:19:00 p. m.	0:06	0:00
25	0,051103	0	12:12:00 p. m.	0,373814	1	12:19:00 p. m.	12:20:00 p. m.	0:07	0:00
26	0,993669	5	12:17:00 p. m.	0,263868	0	12:20:00 p. m.	12:20:00 p. m.	0:03	0:00
27	0,627043	1	12:18:00 p. m.	0,774553	1	12:20:00 p. m.	12:21:00 p. m.	0:02	0:00
28	0,847831	2	12:20:00 p. m.	0,659485	1	12:21:00 p. m.	12:22:00 p. m.	0:01	0:00
29	0,350082	0	12:20:00 p. m.	0,262557	0	12:22:00 p. m.	12:22:00 p. m.	0:02	0:00
30	0,199019	0	12:20:00 p. m.	0,900645	2	12:22:00 p. m.	12:24:00 p. m.	0:02	0:00
31	0,024944	0	12:20:00 p. m.	0,192484	0	12:24:00 p. m.	12:24:00 p. m.	0:04	0:00
32	0,471878	1	12:21:00 p. m.	0,225932	0	12:24:00 p. m.	12:24:00 p. m.	0:03	0:00
33	0,965881	3	12:24:00 p. m.	0,337343	1	12:24:00 p. m.	12:25:00 p. m.	0:00	0:00
34	0,193687	0	12:24:00 p. m.	0,721045	1	12:25:00 p. m.	12:26:00 p. m.	0:01	0:00
35	0,092333	0	12:24:00 p. m.	0,127942	0	12:26:00 p. m.	12:26:00 p. m.	0:02	0:00
36	0,396971	0	12:24:00 p. m.	0,094841	0	12:26:00 p. m.	12:26:00 p. m.	0:02	0:00
37	0,571326	1	12:25:00 p. m.	0,520902	1	12:26:00 p. m.	12:27:00 p. m.	0:01	0:00
38	0,001303	0	12:25:00 p. m.	0,005546	0	12:27:00 p. m.	12:27:00 p. m.	0:02	0:00
39	0,775998	2	12:27:00 p. m.	0,050673	0	12:27:00 p. m.	12:27:00 p. m.	0:00	0:00
40	0,907423	2	12:29:00 p. m.	0,861456	1	12:29:00 p. m.	12:30:00 p. m.	0:00	0:02
41	0,071464	0	12:29:00 p. m.	0,751842	1	12:30:00 p. m.	12:31:00 p. m.	0:01	0:00
42	0,443061	1	12:30:00 p. m.	0,129564	0	12:31:00 p. m.	12:31:00 p. m.	0:01	0:00
43	0,837813	2	12:32:00 p. m.	0,587706	1	12:32:00 p. m.	12:33:00 p. m.	0:00	0:01

44	0,491954	1	12:33:00 p. m.	0,535167	1	12:33:00 p. m.	12:34:00 p. m.	0:00	0:00
45	0,204907	0	12:33:00 p. m.	0,448527	1	12:34:00 p. m.	12:35:00 p. m.	0:01	0:00
46	0,123106	0	12:33:00 p. m.	0,473769	1	12:35:00 p. m.	12:36:00 p. m.	0:02	0:00
47	0,062887	0	12:33:00 p. m.	0,505573	1	12:36:00 p. m.	12:37:00 p. m.	0:03	0:00
48	0,42228	1	12:34:00 p. m.	0,124873	0	12:37:00 p. m.	12:37:00 p. m.	0:03	0:00
49	0,66728	1	12:35:00 p. m.	0,877811	2	12:37:00 p. m.	12:39:00 p. m.	0:02	0:00
50	0,326506	0	12:35:00 p. m.	0,980214	2	12:39:00 p. m.	12:41:00 p. m.	0:04	0:00
51	0,780733	2	12:37:00 p. m.	0,154501	0	12:41:00 p. m.	12:41:00 p. m.	0:04	0:00
52	0,531754	1	12:38:00 p. m.	0,68624	1	12:41:00 p. m.	12:42:00 p. m.	0:03	0:00
53	0,451628	1	12:39:00 p. m.	0,003572	0	12:42:00 p. m.	12:42:00 p. m.	0:03	0:00
54	0,158583	0	12:39:00 p. m.	0,337618	1	12:42:00 p. m.	12:43:00 p. m.	0:03	0:00
55	0,335199	0	12:39:00 p. m.	0,757211	1	12:43:00 p. m.	12:44:00 p. m.	0:04	0:00
56	0,720765	1	12:40:00 p. m.	0,235009	0	12:44:00 p. m.	12:44:00 p. m.	0:04	0:00
57	0,316408	0	12:40:00 p. m.	0,196007	0	12:44:00 p. m.	12:44:00 p. m.	0:04	0:00
58	0,344946	0	12:40:00 p. m.	0,127427	0	12:44:00 p. m.	12:44:00 p. m.	0:04	0:00
59	0,608669	1	12:41:00 p. m.	0,685447	1	12:44:00 p. m.	12:45:00 p. m.	0:03	0:00
60	0,075705	0	12:41:00 p. m.	0,711156	1	12:45:00 p. m.	12:46:00 p. m.	0:04	0:00
61	0,359046	0	12:41:00 p. m.	0,508446	1	12:46:00 p. m.	12:47:00 p. m.	0:05	0:00
62	0,452604	1	12:42:00 p. m.	0,144865	0	12:47:00 p. m.	12:47:00 p. m.	0:05	0:00
63	0,117561	0	12:42:00 p. m.	0,121774	0	12:47:00 p. m.	12:47:00 p. m.	0:05	0:00
64	0,184222	0	12:42:00 p. m.	0,093564	0	12:47:00 p. m.	12:47:00 p. m.	0:05	0:00
65	0,834728	2	12:44:00 p. m.	0,26215	0	12:47:00 p. m.	12:47:00 p. m.	0:03	0:00
66	0,987695	3	12:47:00 p. m.	0,454828	1	12:47:00 p. m.	12:48:00 p. m.	0:00	0:00
67	0,436518	1	12:48:00 p. m.	0,731233	1	12:48:00 p. m.	12:49:00 p. m.	0:00	0:00
68	0,673635	1	12:49:00 p. m.	0,085867	0	12:49:00 p. m.	12:49:00 p. m.	0:00	0:00
69	0,812367	2	12:51:00 p. m.	0,299072	0	12:51:00 p. m.	12:51:00 p. m.	0:00	0:02
70	0,900652	2	12:53:00 p. m.	0,411913	1	12:53:00 p. m.	12:54:00 p. m.	0:00	0:02
71	0,027765	0	12:53:00 p. m.	0,487925	1	12:54:00 p. m.	12:55:00 p. m.	0:01	0:00
72	0,794259	2	12:55:00 p. m.	0,733143	1	12:55:00 p. m.	12:56:00 p. m.	0:00	0:00
73	0,936327	2	12:57:00 p. m.	0,912085	2	12:57:00 p. m.	12:59:00 p. m.	0:00	0:01
74	0,093149	0	12:57:00 p. m.	0,561151	1	12:59:00 p. m.	1:00:00 p. m.	0:02	0:00
75	0,899494	2	12:59:00 p. m.	0,006478	0	1:00:00 p. m.	1:00:00 p. m.	0:01	0:00
76	0,837658	2	1:01:00 p. m.	0,653623	1	1:01:00 p. m.	1:02:00 p. m.	0:00	0:01
77	0,926595	2	1:03:00 p. m.	0,07773	0	1:03:00 p. m.	1:03:00 p. m.	0:00	0:01
78	0,624307	1	1:04:00 p. m.	0,653874	1	1:04:00 p. m.	1:05:00 p. m.	0:00	0:01
79	0,609439	1	1:05:00 p. m.	0,037629	0	1:05:00 p. m.	1:05:00 p. m.	0:00	0:00
80	0,759481	1	1:06:00 p. m.	0,902924	2	1:06:00 p. m.	1:08:00 p. m.	0:00	0:01
81	0,905003	2	1:08:00 p. m.	0,091217	0	1:08:00 p. m.	1:08:00 p. m.	0:00	0:00
82	0,786918	2	1:10:00 p. m.	0,59566	1	1:10:00 p. m.	1:11:00 p. m.	0:00	0:02
83	0,879665	2	1:12:00 p. m.	0,976824	2	1:12:00 p. m.	1:14:00 p. m.	0:00	0:01
84	0,056088	0	1:12:00 p. m.	0,350968	1	1:14:00 p. m.	1:15:00 p. m.	0:02	0:00
85	0,755999	1	1:13:00 p. m.	0,367494	1	1:15:00 p. m.	1:16:00 p. m.	0:02	0:00

86	0,582963	1	1:14:00 p. m.	0,484896	1	1:16:00 p. m.	1:17:00 p. m.	0:02	0:00
87	0,665761	1	1:15:00 p. m.	0,386083	1	1:17:00 p. m.	1:18:00 p. m.	0:02	0:00
88	0,42856	1	1:16:00 p. m.	0,262002	0	1:18:00 p. m.	1:18:00 p. m.	0:02	0:00
89	0,786156	2	1:18:00 p. m.	0,610321	1	1:18:00 p. m.	1:19:00 p. m.	0:00	0:00
90	0,660407	1	1:19:00 p. m.	0,893342	2	1:19:00 p. m.	1:21:00 p. m.	0:00	0:00
91	0,432978	1	1:20:00 p. m.	0,210752	0	1:21:00 p. m.	1:21:00 p. m.	0:01	0:00
92	0,625667	1	1:21:00 p. m.	0,970208	2	1:21:00 p. m.	1:23:00 p. m.	0:00	0:00
93	0,365152	0	1:21:00 p. m.	0,47198	1	1:23:00 p. m.	1:24:00 p. m.	0:02	0:00
94	0,618377	1	1:22:00 p. m.	0,047048	0	1:24:00 p. m.	1:24:00 p. m.	0:02	0:00
95	0,659668	1	1:23:00 p. m.	0,616757	1	1:24:00 p. m.	1:25:00 p. m.	0:01	0:00
96	0,380335	0	1:23:00 p. m.	0,160749	0	1:25:00 p. m.	1:25:00 p. m.	0:02	0:00
97	0,917192	2	1:25:00 p. m.	0,380896	1	1:25:00 p. m.	1:26:00 p. m.	0:00	0:00
98	0,163922	0	1:25:00 p. m.	0,384803	1	1:26:00 p. m.	1:27:00 p. m.	0:01	0:00
99	0,121258	0	1:25:00 p. m.	0,01008	0	1:27:00 p. m.	1:27:00 p. m.	0:02	0:00
100	0,413963	0	1:25:00 p. m.	0,460395	1	1:27:00 p. m.	1:28:00 p. m.	0:02	0:00
101	0,694866	1	1:26:00 p. m.	0,530177	1	1:28:00 p. m.	1:29:00 p. m.	0:02	0:00
102	0,557401	1	1:27:00 p. m.	0,472021	1	1:29:00 p. m.	1:30:00 p. m.	0:02	0:00
103	0,471209	1	1:28:00 p. m.	0,911634	2	1:30:00 p. m.	1:32:00 p. m.	0:02	0:00
104	0,474046	1	1:29:00 p. m.	0,640482	1	1:32:00 p. m.	1:33:00 p. m.	0:03	0:00
105	0,270878	0	1:29:00 p. m.	0,554901	1	1:33:00 p. m.	1:34:00 p. m.	0:04	0:00
106	0,777862	2	1:31:00 p. m.	0,67428	1	1:34:00 p. m.	1:35:00 p. m.	0:03	0:00
107	0,825479	2	1:33:00 p. m.	0,751699	1	1:35:00 p. m.	1:36:00 p. m.	0:02	0:00
108	0,077993	0	1:33:00 p. m.	0,724476	1	1:36:00 p. m.	1:37:00 p. m.	0:03	0:00
109	0,153463	0	1:33:00 p. m.	0,393806	1	1:37:00 p. m.	1:38:00 p. m.	0:04	0:00
110	0,376682	0	1:33:00 p. m.	0,745701	1	1:38:00 p. m.	1:39:00 p. m.	0:05	0:00
111	0,259049	0	1:33:00 p. m.	0,307023	0	1:39:00 p. m.	1:39:00 p. m.	0:06	0:00
112	0,853962	2	1:35:00 p. m.	0,717756	1	1:39:00 p. m.	1:40:00 p. m.	0:04	0:00
113	0,257952	0	1:35:00 p. m.	0,112752	0	1:40:00 p. m.	1:40:00 p. m.	0:05	0:00
114	0,02007	0	1:35:00 p. m.	0,661558	1	1:40:00 p. m.	1:41:00 p. m.	0:05	0:00
115	0,094365	0	1:35:00 p. m.	0,480904	1	1:41:00 p. m.	1:42:00 p. m.	0:06	0:00
116	0,933207	2	1:37:00 p. m.	0,872492	1	1:42:00 p. m.	1:43:00 p. m.	0:05	0:00
117	0,284547	0	1:37:00 p. m.	0,242714	0	1:43:00 p. m.	1:43:00 p. m.	0:06	0:00
118	0,869298	2	1:39:00 p. m.	0,804914	1	1:43:00 p. m.	1:44:00 p. m.	0:04	0:00
119	0,953668	2	1:41:00 p. m.	0,660519	1	1:44:00 p. m.	1:45:00 p. m.	0:03	0:00
120	0,560523	1	1:42:00 p. m.	0,792124	1	1:45:00 p. m.	1:46:00 p. m.	0:03	0:00
121	0,394608	0	1:42:00 p. m.	0,490325	1	1:46:00 p. m.	1:47:00 p. m.	0:04	0:00
122	0,435188	1	1:43:00 p. m.	0,763798	1	1:47:00 p. m.	1:48:00 p. m.	0:04	0:00
123	0,027311	0	1:43:00 p. m.	0,710167	1	1:48:00 p. m.	1:49:00 p. m.	0:05	0:00
124	0,36629	0	1:43:00 p. m.	0,214518	0	1:49:00 p. m.	1:49:00 p. m.	0:06	0:00
125	0,370009	0	1:43:00 p. m.	0,274154	0	1:49:00 p. m.	1:49:00 p. m.	0:06	0:00
126	0,246929	0	1:43:00 p. m.	0,794201	1	1:49:00 p. m.	1:50:00 p. m.	0:06	0:00
127	0,203479	0	1:43:00 p. m.	0,826609	1	1:50:00 p. m.	1:51:00 p. m.	0:07	0:00

128	0,987811	3	1:46:00 p. m.	0,9662	2	1:51:00 p. m.	1:53:00 p. m.	0:05	0:00
129	0,646634	1	1:47:00 p. m.	0,621184	1	1:53:00 p. m.	1:54:00 p. m.	0:06	0:00
130	0,792259	2	1:49:00 p. m.	0,861518	1	1:54:00 p. m.	1:55:00 p. m.	0:05	0:00
131	0,952393	2	1:51:00 p. m.	0,270353	0	1:55:00 p. m.	1:55:00 p. m.	0:04	0:00
132	0,754736	1	1:52:00 p. m.	0,148129	0	1:55:00 p. m.	1:55:00 p. m.	0:03	0:00
133	0,625091	1	1:53:00 p. m.	0,092335	0	1:55:00 p. m.	1:55:00 p. m.	0:02	0:00
134	0,69142	1	1:54:00 p. m.	0,404845	1	1:55:00 p. m.	1:56:00 p. m.	0:01	0:00
135	0,278835	0	1:54:00 p. m.	0,396302	1	1:56:00 p. m.	1:57:00 p. m.	0:02	0:00
136	0,354551	0	1:54:00 p. m.	0,620258	1	1:57:00 p. m.	1:58:00 p. m.	0:03	0:00
137	0,87778	2	1:56:00 p. m.	0,781102	1	1:58:00 p. m.	1:59:00 p. m.	0:02	0:00
138	0,225251	0	1:56:00 p. m.	0,910642	2	1:59:00 p. m.	2:01:00 p. m.	0:03	0:00
139	0,318884	0	1:56:00 p. m.	0,81896	1	2:01:00 p. m.	2:02:00 p. m.	0:05	0:00
140	0,275557	0	1:56:00 p. m.	0,480473	1	2:02:00 p. m.	2:03:00 p. m.	0:06	0:00
141	0,993149	5	2:01:00 p. m.	0,570223	1	2:03:00 p. m.	2:04:00 p. m.	0:02	0:00
142	0,373605	0	2:01:00 p. m.	0,600687	1	2:04:00 p. m.	2:05:00 p. m.	0:03	0:00
143	0,167781	0	2:01:00 p. m.	0,181642	0	2:05:00 p. m.	2:05:00 p. m.	0:04	0:00
144	0,638405	1	2:02:00 p. m.	0,017407	0	2:05:00 p. m.	2:05:00 p. m.	0:03	0:00
145	0,984029	3	2:05:00 p. m.	0,31099	0	2:05:00 p. m.	2:05:00 p. m.	0:00	0:00
146	0,744484	1	2:06:00 p. m.	0,997801	3	2:06:00 p. m.	2:09:00 p. m.	0:00	0:01
147	0,479926	1	2:07:00 p. m.	0,296921	0	2:09:00 p. m.	2:09:00 p. m.	0:02	0:00

Pruebas de uniformidad e independencia de números aleatorios

Para verifca si los números aleatorios generados por medio de Excel cumplen con las condiciones de uniformidad e independencia se les hicieron las pruebas de promedios, chicuadrada, y corridas de arriba y abajo. Estas pruebas se hicieron tanto para los aleatorios se las llegadas como para los aleatorios de los tiempos de servicio.

Pruebas de uniformidad

Se realizo la prueba de promedios primero para los números aleatorios de las llegadas, en la tabla se puede evidenciar el promedio total de aleatorios, la Z_0 , el nivel de confianza y el Z . Al hacer la comparación se obtiene que $Z_0 < Z$, de la siguiente forma $0,341851537 < 1,96$, por tanto, son uniformes.

Table V Prueba promedios llegada

Promedio	0,49186068
Total aleatorios	147
Z_0	0,34185154
Nivel de confianza	95%
Z	1,96

A continuación, se muestra la prueba para los números aleatorios de las llegadas, en la tabla se puede evidenciar el promedio total de aleatorios, la Z_0 , el nivel de confianza y el Z . Al hacer la comparación se obtiene que $Z_0 < Z$, de la siguiente forma $1,188522792 < 1,96$, por tanto, también son uniformes.

Table VI Prueba de promedios servicio

Promedio	0,47170184
----------	------------

Total aleatorios	147
Z_0	1,18852279
Nivel de confianza	95%
Z	1,96

Por otra parte, se realizó la prueba de Chi cuadrada, Se tiene que la población total son ciento cuarenta y siete y la cantidad de intervalos que se buscaron generar fueron siete, por tanto, se obtuvo una frecuencia esperada de veintiuno. Se tiene para ambos casos limites inferior y superior, frecuencia esperada, frecuencia observada y el estadístico de la prueba. Se define un α de 0,05, además se tiene que los grados de libertad son seis. En la tabla este valor corresponde a 12.5916.

Para el caso de las llegadas se tiene que $1,238095238 < 12,5916$ por tanto son uniformes

Table VII Chi cuadrada llegadas

LI	LS	FE	FO		$\frac{(FE - FO)^2}{FE}$
0	0,142857143	21	19	19	0,19047619
0,142857143	0,285714286	21	42	23	0,19047619
0,285714286	0,428571429	21	66	24	0,428571429
0,428571429	0,571428571	21	88	22	0,047619048
0,571428571	0,714285714	21	107	19	0,19047619
0,714285714	0,857142857	21	128	21	0
0,857142857	1	21	147	19	0,19047619
				147	1,238095238

Por otra parte para los números aleatorios del servicio se tiene que $1,714285714 < 12,5916$, por tanto son uniformes

Table VIII Chicuadrada Servicio

LI	LS	FE	FO		$\frac{(FE - FO)^2}{FE}$
0	0,142857143	21	25	25	0,761904762
0,142857143	0,285714286	21	46	21	0
0,285714286	0,428571429	21	68	22	0,047619048
0,428571429	0,571428571	21	90	22	0,047619048
0,571428571	0,714285714	21	110	20	0,047619048
0,714285714	0,857142857	21	130	20	0,047619048
0,857142857	1	21	147	17	0,761904762
				147	1,714285714

Prueba de independencia

Para la prueba de independencia se utilizó la prueba de corridas de arriba y abajo en las cuales se tienen las corridas de cero y de uno además de μ_0 , σ_2 , σ y Z_0 .

Table IX Corridas llegadas

Corridas de 0		Corridas de 1	
1	15	1	17
2	5	2	9

3	7	3	5
4	3	4	0
5	2	5	0
6	1	6	0
7	1	7	1
34		8	0
67	9		1
	33		

Table X Resultado de μ_0 , σ_2 , σ y Z_0 llegadas

μ_0	97,6666667
σ_2	25,8111111
σ	5,08046367
Z_0	6,03619446

A continuación, se muestra la prueba para los números aleatorios de las llegadas, en la tabla se puede evidenciar μ_0 , σ_2 , σ y Z_0 . Al hacer la comparación se obtiene que $Z_0 > Z$, de la siguiente forma 0,96018 < 1,96, por tanto, son independientes.

Table XI Corridas servicio

Corridas de 0		Corridas de 1	
1	21	1	22
2	6	2	8
3	3	3	3
4	2	4	2
5	5	5	1
6	1	6	1
7	0	7	0
38		8	0
75	9		0
	37		

Table XII Resultado de μ_0 , σ_2 , σ y Z_0 servicio

μ_0	97,6666667
σ_2	25,8111111
σ	5,08046367
Z_0	4,46153504

A continuación, se muestra la prueba para los números aleatorios de las llegadas, en la tabla se puede evidenciar μ_0 , σ_2 , σ y Z_0 . Al hacer la comparación se obtiene que $Z_0 > Z$, de la siguiente forma 0,6111 > 1,96, por tanto, son independientes.

Teoría de colas del servicio

Se realizó el análisis de colas del servicio suponiendo que la distribución de llegadas y de servicio se comportan de acuerdo a una distribución exponencial obteniendo el promedio de llegadas, servicio espera tiempo ocioso y cada uno de los indicadores.

Datos tomados

Para este caso se puede observar que el promedio de llegadas es mayor que el del servicio, por tanto, es un sistema explosivo, se deben esperar más o menos 2 minutos y casi no hay tiempo ocioso, la utilización es más alta que la capacidad por tanto los otros indicadores dan negativos.

Table XIII indicadores de colas

Tiempo promedio llegadas	0,881355932
Tiempo promedio servicio	0,822033898
Tiempo promedio espera	0:02
Tiempo ocioso promedio	0:00
ρ	1,07216495
P_0	-0,0721649
P_n	-0,0773727
L_q	-15,929308
L_s	-14,857143
W_q	-18,073638
W_s	-16,857143

Simulación

En este caso se obtiene que la tasa de servicio es mayor a la de llegada, pero son muy cercanas y el factor de utilización es alto, la probabilidad de que no hayan clientes en el sistema es baja, normalmente en la cola hay aproximadamente seis personas y en el sistema siete, el tiempo promedio que una persona puede pasar en la cola es de siete coma treinta y cinco minutos así como también en el sistema seis coma treinta y cinco, y hay una alta probabilidad de que tenga que esperar una persona en el sistema.

Table XIV indicadores de colas

Tiempo promedio llegadas	0,86394558
Tiempo promedio servicio	1
Tiempo promedio espera	0:02
Tiempo ocioso promedio	0:00
ρ	0,8639456
P_0	0,1360544
P_n	0,1175436
L_q	5,4860544
L_s	6,35
W_q	6,35
W_s	7,35

VI. CONCLUSIONES

1. Según lo evidenciado en los indicadores de colas, el sistema tiene problemas graves. En la toma de datos el sistema muestra ser explosivo el factor de utilización de uno punto cero setenta y dos aproximadamente (1,072), la tasa de llegadas es mayor a la de servicio, las colas son largas, en la simulación el factor de utilización es de cero puntos ochocientos sesenta y cuatro (0.864) aproximadamente lo cual lo hace muy alto, los tiempos de espera en la fila y la cantidad de cliente en espera son muy altos.

2. Para mejorar el servicio del lugar se recomienda aumentar el número de servidores, dividir los servicios en lo que piden comidas de mayor tiempo de preparación y en los que piden productos ya listos para entregar, por otra parte, hacer un análisis de los tiempos y procesos al interior de la cocina ya que esta hora muchas personas requieren comidas más complejas.
3. Los números aleatorios utilizados demuestran que son uniformes (método prueba de promedios y chiquadrada), y no independientes (método de corridas arriba y abajo), por lo que se recomienda no trabajar con estos datos si se requiere de su independencia para el análisis.

VII. REFERENCIAS

- [1] Azofeifa, C. (2004). Aplicación de la simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel. Tecnología en Marcha, 17(1), 97-109.
- [2] Rodríguez, L. (marzo de 2011). Métodos Cuantitativos de Organización Industrial. Obtenido de Simulación, Método Monte Carlo: https://www.uclm.es/profesorado/licesio/Docencia/mcoi/Tema4_guion.pdf
- [3] Lledó, P., & Rivarola, G. (2007). Gestión de proyectos (Primera ed.). Buenos Aires: Prentice Hall - Pearson Educación.
- [4] Velásquez, S., & Velásquez, R. (septiembre de 2012). Modelado con variables aleatorias en simulink utilizando simulación Montecarlo. Universidad, Ciencia y Tecnología, 16(64), 203-211.
- [5] Claudio Marcelo. (marzo 2002). Manual de Excel para el cálculo financiero. <http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/excelparafinanzas/montecarlo.htm>
- [6] López Fernando (enero 2010). Prueba de Uniformidad Chiquadrada. <http://iis-simulacion.blogspot.com/2010/01/prueba-de-uniformidad-chi-cuadrada.html>
- [7] J. P. G. Sabater, «Aplicando Teoría de Colas en Dirección de Operaciones,» Valencia., 2015.
- [8] . G. d. l. Hoz, «Formulas del sistema de colas M/M1,» Slideshare, 23 05 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/alconguerrero/formulas-del-sistema-de-cola-mm1>. [Último acceso: 07 03 2020].