

Evaluación de una política de apertura de cajas usando simulación con SIMIO®

L. Fuentes Rosas^{1*}, A.G. López Cabrera¹, L.G. Tobón Galicia¹, C.G. Moras Sánchez²

¹Tecnológico Nacional/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Prol. Av. Veracruz, Esq. Héroes de Puebla s/n, Col. PEMEX, C.P. 95180, Tierra Blanca; Veracruz, México.

²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. División de Estudios de Posgrado e Investigación.

*Liliana.fuentes@itstb.edu.mx

Área de participación: Ingeniería Industrial

Resumen

Se realizó un estudio de simulación a la política de apertura de cajas en una tienda de autoservicio ubicada en la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz; se analizaron las siguientes medidas de desempeño: tiempo promedio de permanencia en el sistema, tiempo promedio de permanencia en la cola y utilización de servidores. Cabe mencionar que el sistema cuenta con dos cajeras, manteniendo solamente una de ellas en servicio las 8 horas del turno, la otra cajera solamente entra en funciones cuando la cola registra un máximo de siete clientes (política impuesta por la dueña). Se probaron dos alternativas: a) mantener abiertas las dos cajas y b) abrir la segunda caja cuando la cola registre un tamaño de cinco clientes. Los resultados de ambas alternativas arrojan mejoras al sistema actual.

Palabras clave: Simulación, SIMIO®, líneas de espera.

Abstract

A simulation study was made on the policy of opening the boxes at a Self-service store in the city of Tierra Blanca, Veracruz; The following performance measures were analyzed: average time spent in the system, average time spent in the queue and use of servers. It is worth mentioning that the system has two cashiers, only one of them in service 8 hours a day, the other cashier only comes into operation when the queue registers a maximum of seven clients (policy imposed by the owner). Two alternatives were tested: a) open the two boxes and b) open the second box when the queue registered a size of five customers. The results of both alternatives show improvements to the current system.

Key words: Simulation, SIMIO®, queues.

Introducción

Las organizaciones lucrativas actualmente se mueven en un mundo sumamente competitivo consecuencia de la globalización, mantener cautivos a los clientes exige de ellas estrategias varias que involucran la venta de productos de calidad acompañados de un servicio de igual o mayor calidad, de tal forma que no se conceda la posibilidad al cliente de que éste pueda moverse hacia otro proveedor. Dentro de las estrategias de servicio están las de procurar que el cliente espere lo menos por su producto, y que el tiempo que espera, que es inevitable, trascorra de tal modo que no provoque malestar. Una de las áreas más importantes de la dirección de operaciones es la de conocer las líneas de espera o colas, y, sobre todo, aprender a administrarlas. En una economía como la actual, se hacen colas todos los días, desde el momento que, al levantarse por la mañana, hay que esperar porque el único baño está ocupado; cuando se conduce un automóvil por la ciudad se van formando colas en cada semáforo que está en rojo, en un supermercado la cola del pan, de la carne, etc. Incluso en el momento de pagar se forman colas. Puede afirmarse que existe más de un usuario de un recurso limitado. Cuando la cola se compone de objetos inanimados que esperan algún tipo de procesamiento, el problema es básicamente económico: qué longitud debe tener la cola, cuál es el nivel aceptable de inventario en curso, cuánto equipo hay que comprar y otras preguntas similares. Cuando la cola está formada por personas que esperan un servicio, el

problema tiene aspectos psicológicos además de los económicos, que son bastante más difíciles de cuantificar (De La Fuente y Pino, 2001)

El presente artículo aborda la investigación sobre las medidas de desempeño de las líneas de espera que se forman en una tienda de autoservicio ubicada en la Ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, México. Es una tienda expendedora de productos de abarrotes, que cuenta con dos cajas para el cobro, de las cuales solamente una permanece abierta durante el día, la otra caja solo se abre si se llega a registrar un número de siete clientes esperando. Esta política de apertura de caja fue establecida por la dueña de la tienda de una manera empírica, cabe mencionar que también obedece a un aspecto económico pues no paga el salario de dos cajeras, en el tiempo que la segunda caja no está habilitada, la persona encargada de cobrar realiza actividades tales como el común de los empleados.

Metodología

Para la evaluación de la presente política de apertura de cajas se realizó un estudio de simulación siguiendo la metodología propuesta por Law y Kelton (2000) y que consta de 10 pasos, tal como se ilustra en la figura 1.



Figura 1. Metodología para un estudio de simulación según Law y Kelton (2000)

Formulación del problema

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la política de apertura de cajas que opera en la tienda de autoservicio y compararla contra las alternativas de mantener abiertas ambas cajas con una unifila y la de modificar la actual política a 5 clientes esperando. La meta consiste en que los clientes realicen sus pagos correspondientes en el menor tiempo posible.

Recolección de datos y definición del modelo

Las variables independientes de las cuales se tomaron datos fueron: tiempo entre llegadas, tiempo de selección (tiempo promedio que le toma a los clientes escoger los productos que van a comprar) y tiempo de pago. Se tomaron datos durante 45 días y se generaron las bases correspondientes. El tratamiento estadístico que se les realizó a cada una de las variables fue el de pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov Smirnov y Anderson

Darling), para ello se utilizó el *Stat::Fit* resultando que las tres variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. El ajuste para la variable tiempo entre llegadas se muestra en la figura 2.

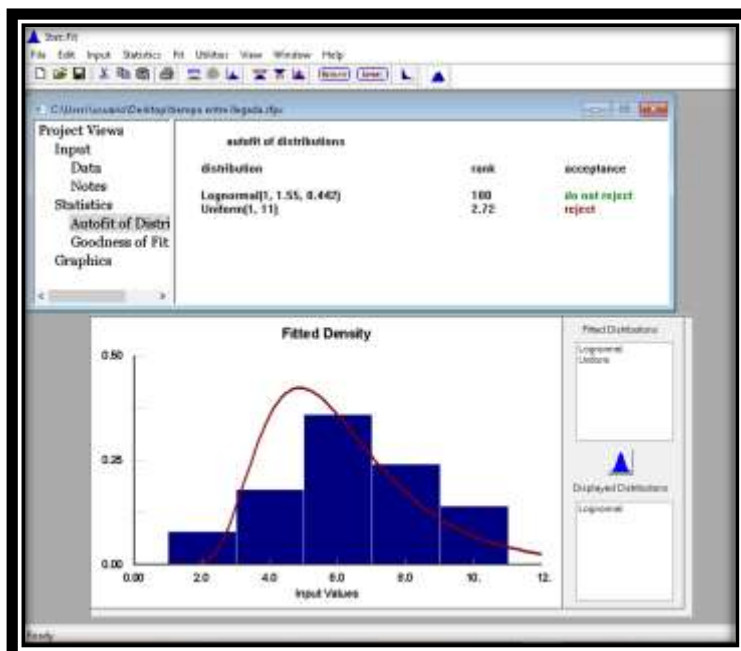


Figura 2. Tratamiento estadístico de la variable tiempo entre llegadas

El proceso que el cliente realiza en la tienda se ilustra en la figura 3, esto es el modelo conceptual del sistema bajo estudio.

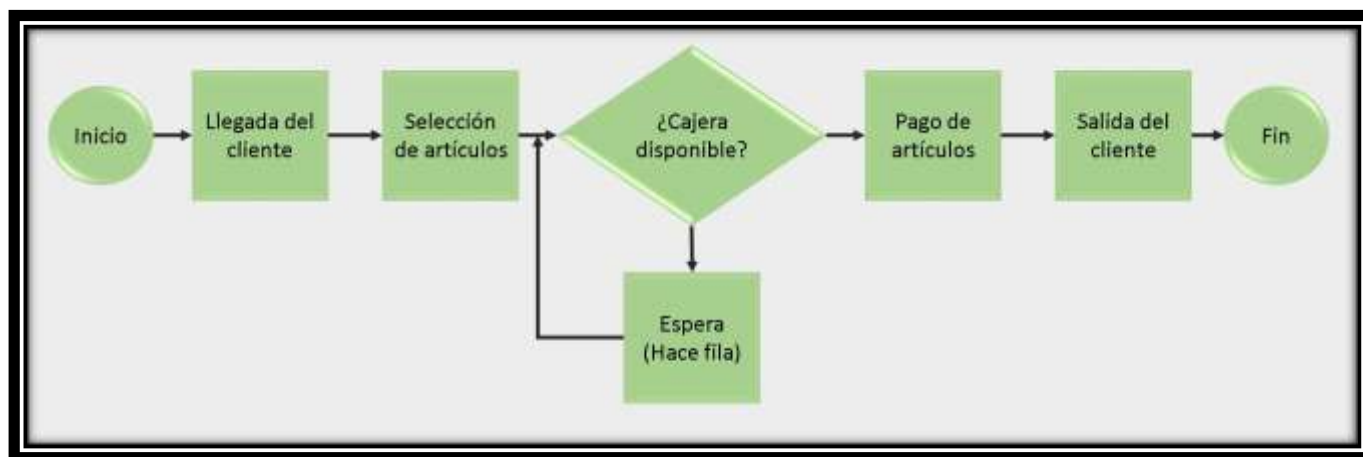


Figura 3. Modelo conceptual del sistema: tienda de autoservicio

Verificación del modelo

El modelo conceptual fue presentado y explicado al encargado de la tienda quien verificó dicho proceso.

Construcción del programa

La traducción del modelo conceptual al lenguaje de SIMIO® requirió el uso de elementos que se enlistan en la tabla 1, entre otros.

Tabla 1. Elementos principales para la construcción del modelo

Elemento del sistema	Elemento en SIMIO®
Entrada a la tienda	Source
Cajeras	Serves
Trayectoria	TimePath y Path
Salida de la tienda	Sink
Política de cajas	Monitor (Definitions); Política de apertura (Processes)
Clientes	Model Entity

La figura 4 muestra la vista en 3D del modelo construido en SIMIO®, y la figura 5 muestra la vista en 2D.



Figura 4. Modelo en vista 3D



Figura 5. Modelo en vista 2D

Pruebas piloto

Se corrieron diez pruebas piloto del modelo para asegurar que la animación estaba correcta y además para recabar información útil para el siguiente paso.

Validación del modelo

En el argot de simulación se dice que un modelo es útil o no; para que el modelo sea útil debe ser representativo del sistema que se está estudiando; es decir, los datos que arroje el modelo de simulación deben ser, estadísticamente, iguales a los reales. Para realizar la validación de un modelo se utiliza la prueba t-pareada en donde la hipótesis nula sustenta que los datos simulados son iguales a los del sistema real contra la hipótesis alterna de que no lo son. Todas las variables implicadas deben ser sometidas al proceso de validación. En la tabla 2 se muestra el procedimiento de la variable: tiempo de servicio.

Sea:

X_j = tiempo promedio en minutos del tiempo de servicio del sistema real.

Y_j = tiempo promedio en minutos del tiempo de servicio del modelo de simulación.

Tabla 2. Datos apareados de la variable tiempo de servicio

	DATOS (en minutos)		$Z_j = X_j - Y_j$	$(Z_j - Z_{j0})^2$
	Reales	Simulados		
Corridas	X_j	Y_j		
1	4.83	3.39	1.4433333	2.128681
2	1.47	2.06	-0.5933333	0.33369878
3	2.88	1.76	1.1233333	1.297321
4	1.65	2.28	-0.63	0.37740544
5	1.78	2.08	-0.296667	0.078961
6	2.58	1.9	0.6833333	0.488601
7	1.62	2.56	-0.943333	0.86056544
8	2.08	2.15	-0.066667	0.002601
9	1.72	2.54	-0.823333	0.65232544
10	1.47	1.52	-0.053333	0.00141878
	TOTAL		-0.15667	6.221579
	PROMEDIO		-0.01567	

Se construyó un intervalo de confianza al 95% para Z, en donde $Z_i = X_j - Y_j$ resultando ser (-0.6103, 0.5790).

El resultado muestra que el intervalo incluye al cero, con lo que se concluye: con un nivel de confianza del 95% se tiene un modelo válido, representativo del sistema tienda de autoservicio, sustentando la igualdad de los datos reales y simulados y si acaso hay diferencia ésta es insignificante y se debe a fluctuaciones aleatorias.

Diseño de experimentos

Para evitar el problema de tomar decisiones basados en una sola observación (replicación y/o corrida), se determinó el número óptimo de ellas por medio del siguiente procedimiento:

$$n^*(\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2_{(n)}}{i}} \leq \beta \right\}$$

La tabla 3, muestra los resultados del tiempo promedio de servicio de 10 corridas piloto independientes. Se estableció un error absoluto β de 0.020 minutos y un nivel de confianza del 90%:

$\bar{X} = 2.224$
 $s^2 = 0.271$
 $\beta = 0.020$
 $\alpha = 0.10$

$$n^*(0.020) = \min \left\{ i \geq 10 : t_{i-1,0.05} \sqrt{\frac{0.271}{i}} \leq 0.020 \right\}$$

El resultado determinó que el número de replicaciones óptimo es 21 corridas del programa.

Corrida del programa

El programa de simulación se corrió 21 veces.

Tabla 3. Datos de 10 corridas de tiempo promedio de servicio

Corridas	Tiempo promedio de servicio en minutos
1	3.39
2	2.06
3	1.76
4	2.28
5	2.08
6	1.9
7	2.56
8	2.15
9	2.54
10	1.52
Media	2.224
Varianza	0.271604444

Análisis de resultados

Después de haber ejecutado las 21 corridas, se tienen los resultados que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Medidas de desempeño del sistema actual (tienda de autoservicio)

Medida de desempeño	Valor
Utilización de la Caja 1	95.17%
Utilización de la Caja 2	75.37%
Tiempo promedio de espera por cliente en la cola	7.98 minutos
Tiempo máximo de espera por cliente en la cola	23.70 minutos
Tiempo promedio en la tienda	13.12 minutos
Tiempo máximo en la tienda	38.50 minutos

Se probaron dos alternativas:

- a) Alternativa 1: Mantener las dos cajas abiertas durante todo el tiempo
- b) Alternativa 2: Modificar la política de apertura de segunda caja cuando se registren 5 clientes.

Ambas alternativas se modelaron y se corrieron 21 veces. La tabla 5 realiza la comparación de ellas contra el sistema real.

Tabla 5. Comparación de medidas de desempeño sistema real versus alternativas

Medida de desempeño	Sistema real	Alternativa 1	Alternativa 2
Utilización de la Caja 1	95.17	60.65	94.01
Utilización Caja 2	75.7	60.50	75.48
Tiempo promedio en la tienda (minutos)	13.12	6.51 (reducción del 50.38)	10.75 (reducción del 18.06)
Tiempo máximo en la tienda (minutos)	38.50	26.59 (reducción del 30.93)	32.79 (reducción del 14.83)
Tiempo promedio de espera en la cola (minutos)	7.98	0.37 (reducción del 95.36)	5.36 (reducción del 32.83)
Tiempo máximo de espera en la cola (minutos)	23.70	3.82 (reducción del 83.88)	16.95 (reducción del 28.48)

Si el enfoque de mejora fuera la reducción de tiempo que un cliente pasa en la cola de las cajas, la alternativa 1 debería de implementarse; por supuesto hay otros factores a considerar, sobre todo el económico con respecto al pago de salario de la caja 2.

La alternativa 2 mantiene los factores de utilización de las cajas casi al mismo nivel que el sistema real, pero sí arroja disminuciones importantes en cuanto a tiempos de espera, por lo que podría elegirse como la alternativa ideal a implementar.

Resultados y discusión

La alternativa 1 que sugiere que ambas cajas permanezcan abiertas logra disminuciones sumamente atractivas con respecto a tiempo de espera en la cola, sin embargo, tiene la limitante de que el factor de utilización de las cajas llega apenas a un 60% y debe pagarse el salario de otra cajera.

La alternativa 2 mantiene los factores de utilización de las cajas casi al mismo nivel que actualmente, sin embargo, sí disminuye los tiempos de permanencia en la cola por lo que podría mantenerse el costo del servicio como actualmente se maneja aprovechando la ventaja de la disminución.

Trabajo a futuro

Es importante que el aspecto económico robustezca las alternativas, pues siempre los dineros son recursos celosamente cuidados por las organizaciones, razón por la cual, se tiene el compromiso de incluir el análisis económico a las alternativas propuestas.

Conclusiones

Se obtuvo, con un 95% de confianza, un modelo de simulación representativo del sistema real (tienda de autoservicio) con base en dicho modelo se analizaron medidas de desempeño para conocer el comportamiento de la tienda, el interés mayor versó sobre el tiempo que los clientes pasan en la cola esperando que la cajera les cobre sus compras. Se evaluaron dos alternativas y los resultados arrojaron disminución en los indicadores de tiempo (en la cola y en el sistema) lo cual puede traducirse en mejoras al sistema actual.

La técnica de simulación resultó ser de gran utilidad para la modelación del sistema, además de predecir el comportamiento de dicho sistema bajo escenarios propuestos.

El simulador SIMIO® permitió la modelación con una animación muy realista, y con una programación amigable, por lo que su uso se recomienda ampliamente.

Referencias

1. De la Fuente, D. y Pino, R. (2001). Teoría de líneas de espera. Modelos de colas. España: Ed. Servicios de Publicaciones, Universidad e Oviedo.
2. Fuentes, L.; Moras, C.G.; Tobón, L. G.; Rojas, L. y López, A.G. (2016). Evaluación de un Sistema de semáforos en un cruce peligroso de la Ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, usando simulación con SIMIO®. *Revista de la Ingeniería Industrial*, (10), 1, 67-79.
3. Gutiérrez, J.T; Silva, M.L.; Gutiérrez, E.O.; Portillo, I. y Salcido, A. (2016). Utilización de la simulación para mejorar las líneas de espera, *Revista de la Ingeniería Industrial*, (10), 1, 50-59.
4. Kelton, W.D; Sturrock, J.S. y Muñoz, D.F. (2012) Simio y Simulación: Modelado, análisis y aplicaciones. México: Simio LLC.
5. Law, A.M. y Kelton, W.D. (2000). Simulation Modelling and Analysis. Estados Unidos de América: Mc Graw Hill.