

Capítulo 76. Análisis del número óptimo de servidores en filas de supermercados mediante teoría de colas.

Elsa Elena Corona Mayoral
Delia del Carmen Gamboa Olivares
Adalberto Torreblanca Zorrilla
Noemí del Carmen Tenorio Prieto

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz
<https://doi.org/10.46990/iQuatro.2023.15.5.76>

Resumen

Se realizaron muestreos en la línea de cajas de un supermercado con superficie total aproximada de 10,000 m² durante cuatro semanas en diferentes intervalos de tiempo con el objetivo de optimizar el número de servidores disponibles. Una vez concluido el muestreo, se realizó la prueba Kruskal-Wallis con el fin de determinar si los cuatro grupos de análisis provenían de la misma población y que no existiera diferencias significativas entre ellos.

Posteriormente, después de haberse asegurado de que no hubiera diferencias significativas entre grupos, se simularon los datos obtenidos en ProModel con el fin de obtener un modelo del sistema actual. Finalmente, en base en los resultados obtenidos y a la experiencia adquirida en campo se dio una propuesta sobre el número óptimo de cajas en el supermercado y para justificar dicha propuesta se generó un modelo futuro en Simio.

Palabras clave

Modelo, ProModel sistema, simio.

Introducción

Se conoce como línea de espera según (Carro Paz & González Gómez, 2016) a una “hilera formada por uno o varios clientes que aguardan para recibir un servicio”(p. 1), es evidente que dichas hileras forman parte de la vida diaria, puesto que las personas esperan en filas para adquirir un boleto en el cine, comprar la despensa en un supermercado, esperar su turno en la ventanilla del banco o solicitar alimentos en algún establecimiento de comida rápida, entre otras tantas actividades. Las personas están enormemente acostumbradas a esperar considerables cantidades de tiempo en filas, sin embargo, para (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009) “Los problemas de las líneas de espera son un reto y una frustración para las personas que tratan de resolverlos” (p.296).

Esto ocurre porque en un momento dado la demanda de un servicio es mayor que la capacidad del servidor y como resultado las entidades se acumulan en la cola generando una fila extensa. En otras palabras, el número de personas que requieren el suministro de servicio es mayor que el número de cajas disponibles que proveen el servicio y como consecuencia se forma una gran hilera en la que los clientes deben esperar una cantidad de tiempo indefinida para ser atendidos. Desde la perspectiva de la empresa es lógico es contar con un número bajo de servidores disponibles que realicen el servicio para poder reducir costos, sin embargo, esta suposición es desacertada, dado que, el cliente se puede marchar insatisfecho por la cantidad de tiempo que esperó para ser atendido, este descontento puede no ser una buena opción pues supondrían un aumento de costos tanto a corto como a largo plazo.

A pesar de los grandes avances tecnológicos diseñados para disminuir líneas de espera, la gestión de colas aún permanece como un reto para todos los empresarios y propietarios. Evidentemente cuando las filas no se gestionan adecuadamente traerá como resultado

clientes inconformes, disminución en las ventas y pérdida de lealtad por parte de los clientes. Lo ideal en la realidad empresarial es que cada elemento de la organización se encuentre optimizado, esto es, que todas las actividades se planifiquen de tal forma que se puedan obtener los mejores resultados posibles. Parte de estos elementos que deben ser optimizados son los fenómenos de espera que se generan día a día en nuestras actividades diarias implicando un balance entre el costo beneficio de tener servidores con baja operación, por lo que el objetivo de este estudio es tener el número mínimo de operadores considerando la gestión de colas.

Para ayudar a solucionar esta problemática la herramienta más adecuada a utilizar es la Teoría de Colas, la cual brinda información cuantitativa muy beneficiosa para tomar decisiones y diseñar sistemas de espera. Una competencia que todo Ingeniero Industrial debe poseer es la de identificar y analizar los problemas donde se involucren los modelos de línea de espera y solucionarlos, es por ello que en esta investigación se abordó el tema de los problemas de servicio al cliente ocasionados por las colas en los centros comerciales, y se propusieron diversas soluciones mediante el uso de los softwares de simulación de Simio y ProModel. Para lograr esto, es muy importante poseer un conocimiento amplio en el área de la probabilidad y estadística, puesto que la esencia de la teoría de colas se basa en distribuciones de probabilidad y requiere de varias herramientas de estadística inferencial para su entendimiento.

Para concluir, se mencionan algunos artículos relacionados con esta investigación: “El artículo Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente” (Gómez, 2008, p. 51-63), es un estudio muy interesante y completo por la metodología que aborda. Cabe mencionar que, la estructura del presente trabajo nace a raíz de la metodología de dicho artículo en donde se ejemplifica cómo se puede llevar a cabo un muestreo en un estudio de colas y que herramientas de estadística inferencial utilizar para validar los datos obtenidos. “El journal Gestión Eficiente de Colas en Supermercados: Un caso de estudio de la ciudad Makardi, Nigeria” (Igwe, Onwumere y Egbo, 2014, p.185-192), es un ejemplo claro de lo importante que es administrar adecuadamente los tiempos en las líneas de espera, además es interesante observar los resultados obtenidos y el impacto positivo que se obtuvo al aplicar la teoría de colas. “El artículo Análisis de la operación de pago y envío de ventas en el supermercado utilizando la teoría de las colas” (Priyangika y Cooray, 2016, p. 393-396) fue de gran ayuda para la realización de la presente investigación, puesto que, proporciona un marco teórico muy completo y entendible sobre el tema teoría de colas. A pesar de que en el presente trabajo no se aborda dicho marco teórico, éste tuvo que ser estudiado y comprendido antes de comenzar a muestrear en las líneas de caja del supermercado.

Objetivo

Reducir los tiempos de espera del cliente en las cajas de un supermercado entre semana, mediante un análisis con dos softwares de simulación.

Hipótesis

El uso de los recursos en las cajas de un supermercado es suficiente para reducir los tiempos de espera del cliente en la fila.

Metodología

Muestreo

Se realizaron los muestreos en las líneas de caja de un supermercado de lunes a viernes en distintos horarios. No se consideraron los fines de semana, puesto que, es cuando

existe más afluencia de personas pudiendo sesgar el comportamiento de los datos. Asimismo, se evitaron tomar los datos en horas pico y días festivos. Los datos recabados durante las 4 semanas fueron: promedio de tasa de llegada, desviación estándar de tasa de llegadas, primera llegada del cliente, número de servidores disponibles y tiempo de procesamiento. Particularmente, fueron determinados estos datos puesto que son los necesarios para programar las simulaciones en ProModel y Simio.

Los días y horarios en los que se efectuaron los muestreos se observan en la Tabla 76.1.

Tabla 76.1
Horarios y semanas de muestreo en líneas de caja

Intervalo 1: 14:00-14:30 Hrs.
Intervalo 2: 13:00-13:30 Hrs.
Intervalo 3: 16:00-16:30 Hrs.
Intervalo 4: 18:00-18:30 Hrs.

Prueba Kruskal-Wallis

En un supermercado existe mucha variabilidad en la afluencia de personas, por ejemplo, en fines de semana, quincenas o días festivos tiende a haber más aglomeración de personas. Es por eso que se debe asegurar que los datos vengan de una misma población y no tengan diferencia significativa. En este caso, en base a los datos obtenidos de las tasas de llegada se calcularon las medianas en cada uno de los intervalos de muestreo y posteriormente, se realizó la prueba Kruskal-Wallis en el software Minitab (disponible por 30 días de manera gratuita en internet como periodo de prueba), con el fin de tener la certeza de que todos los datos tuvieran una distribución de comportamiento de Poisson y que no existiera diferencia entre ellos.

Para realizar esta prueba no paramétrica en primer lugar, se le dio clic a la pestaña Estadísticas, luego se posicionó el mouse en la cinta No paramétricos y finalmente se le dio clic a la opción Kruskal-Wallis tal y como se muestra en la Figura 76.1. En segundo lugar, para la opción Respuesta se eligió la columna Mediana de tasas de llegada, mientras que para la opción Factor se eligió la columna Grupos tal y como se muestra en la Figura 76.2.

Figura 76.1
Prueba Kruskal-Wallis en Minitab

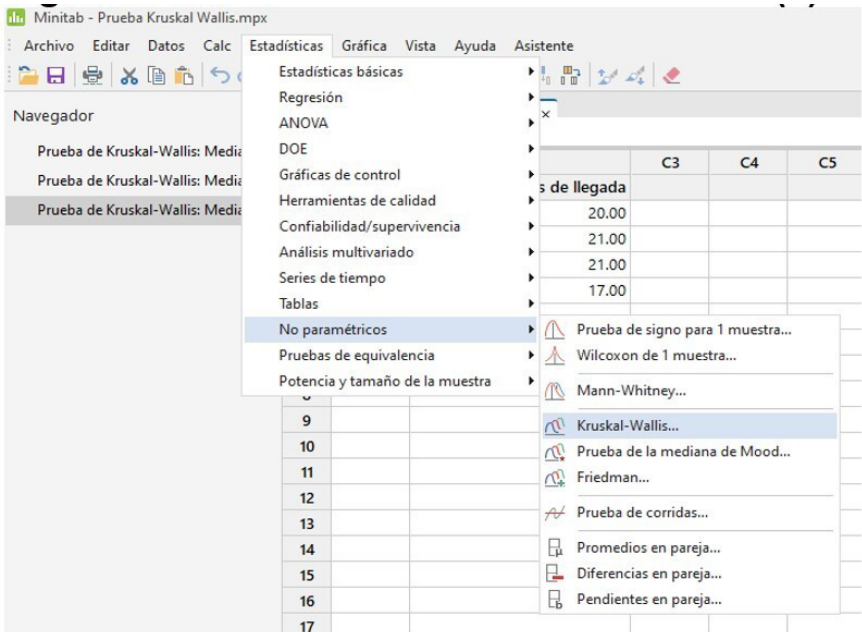
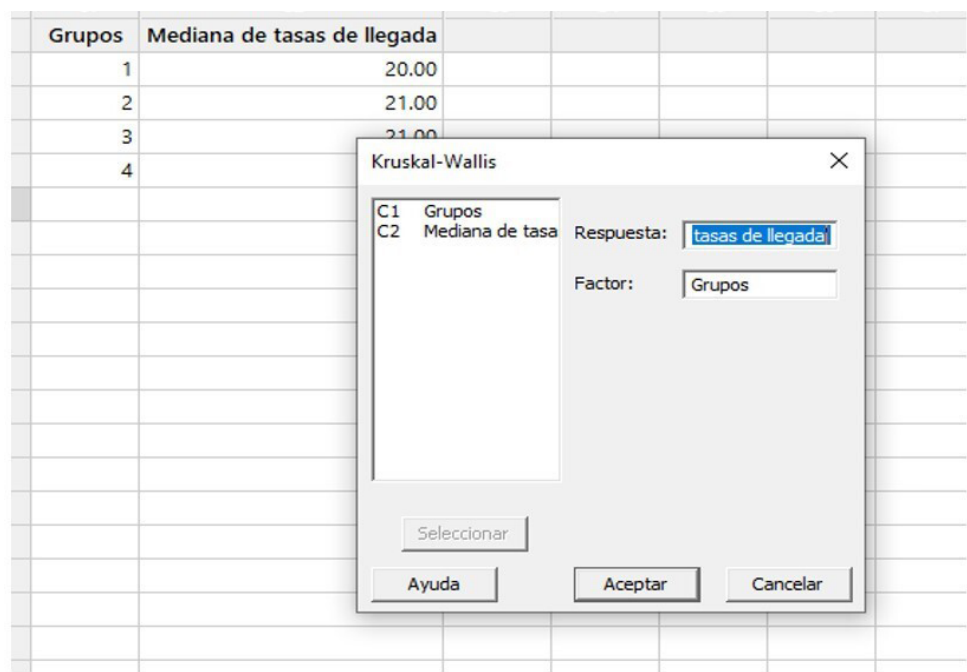


Figura 76.2
Prueba Kruskal-Wallis en Minitab



ProModel

Después de haber concluido las 4 semanas de muestreo se determinaron los siguientes estadísticos: tasa de llegadas (frecuencia), primera llegada del cliente, número de servidores y tiempo de procesamiento (wait). Dichos datos obtenidos fueron los que se utilizaron para efectuar las tres corridas de simulación en el software ProModel. En primer lugar, se construyeron las locaciones, en el presente estudio se consideraron 4, ya que, en promedio había 4 servidores disponibles cuando se efectuó el muestreo, esto se observa en la Figura 76.3.

Posteriormente, se construyó la entidad, la cual para el presente estudio son los clientes, puesto que son los que entran, pasan un tiempo y salen del sistema. En otras palabras, se les considera entidad porque son los que son procesados durante la simulación. La entidad Cliente construida se puede observar en la Figura 76.4.

Luego, se programaron los arribos para los cuales se usaron los datos de frecuencia de llegadas y la primera llegada del cliente. La programación de los arribos en este software se puede visualizar en la Figura 76.5. Finalmente, se construyó el proceso, para el cual se utilizó el dato del tiempo de procesamiento. Cabe mencionar que, en ProModel este dato se programa con la palabra wait y dicha programación se observa en la Figura 76.6.

Figura 76.3
Locaciones

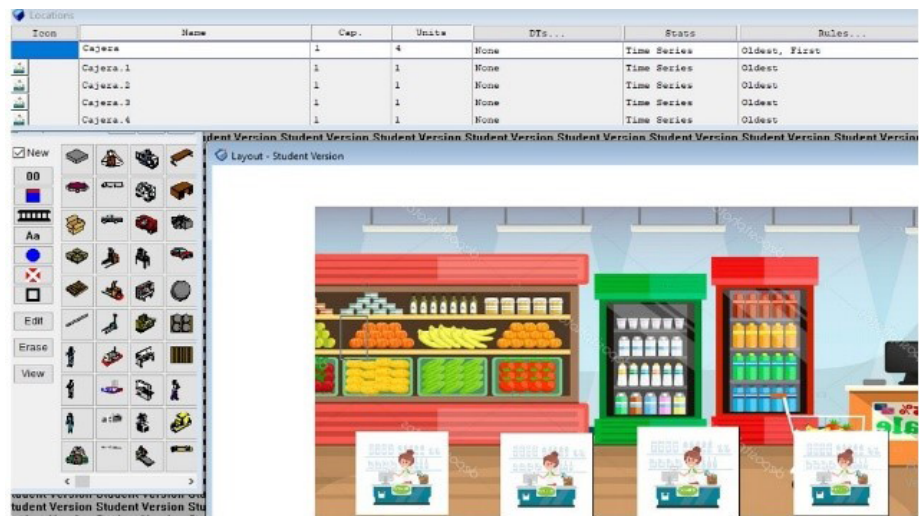


Figura 76.4
Entidades

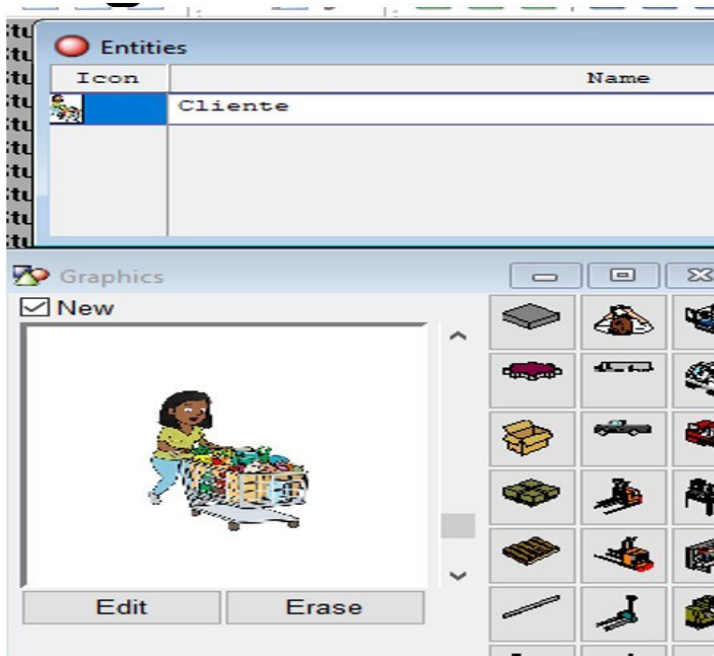


Figura 76.5
Arribos

Entity...	Location...	Qty Each...	First Time...	Occurrences	Frequency	Logic...	Disable
Cliente	Cajera	1	0.25	INF	0.51		No

Figura 76.6
Process

Entity...	Location...	Operation...
Cliente	Cajera	WAIT 2.93

Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	Cliente	EXIT	FIRST 1	

Simio

En base a lo observado durante las 4 semanas de muestreo se realizó una propuesta de mejora con el fin de que las cajas del supermercado tuvieran menos tiempo ocioso. Para justificar el comentario propio se realizaron otras tres corridas de simulación, pero en esta ocasión en el software Simio. A raíz de los estadísticos dados y el entendimiento del sistema de colas, se determinó el número óptimo de servidores no solo cualitativamente sino cuantitativamente. Para construir dicho modelo, en primer lugar, se construyeron las Facilities Source y Sink. Cabe mencionar que, dichas Facilities siempre deben construirse en un modelo de Simio, ya que Source genera las entidades y Sink las retira del sistema. En segundo lugar, se construyó el Model Entity a la cual se le asignó el nombre de Cliente. Posteriormente, se construyeron 2 Servers a los cuales se les dio el nombre de Caja 1 y Caja 2. Todos los elementos descritos previamente pueden observarse en las Figuras 76.7, 76.8 y 76.9. Es importante decir que, los datos utilizados para la construcción del modelo fueron dos, primero se necesitó el tiempo promedio de frecuencia de tasas de llegadas, el cual fue programado en la Facility Source, tal y como se puede apreciar en la Figura 76.7, mientras que el otro dato fue el tiempo de procesamiento que se programó en los Servers Caja 1 y Caja 2, lo cual se puede ver en la Figura 76.8.

El último paso a seguir en la construcción de este modelo fue el añadir cuatro Paths,

de tal forma que se interconectarán cada una de las Facilities, el primer Path se construyó de Source a la Caja 1, el segundo Path de Source a la Caja 2, el tercer Path de la Caja 1 a Sink y el cuarto y último Path de la Caja 2 a Sink. Todos estos Paths, visualizados como flechas y nodos en el modelo, se pueden observar en las Figuras 76.7, 76.8 y 76.9.

Como último comentario, se creó una Sequency Table dándole 50 % de probabilidad a cada uno de las Servers, esta decisión se determinó basándose en la Regla de Laplace que establece que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos. La Sequency Table construida se puede apreciar en la Tabla 76.2. Finalmente, para que la Sequency Table respete la instrucción dada se debe programar en la Entity Source y para esto se debe agregar en la parte de Table Row Reference, tal y como se muestra en la Figura 76.9.

Figura 76.7
Modelo construido en Simio y programación de tasas de llegada en la Facility Source

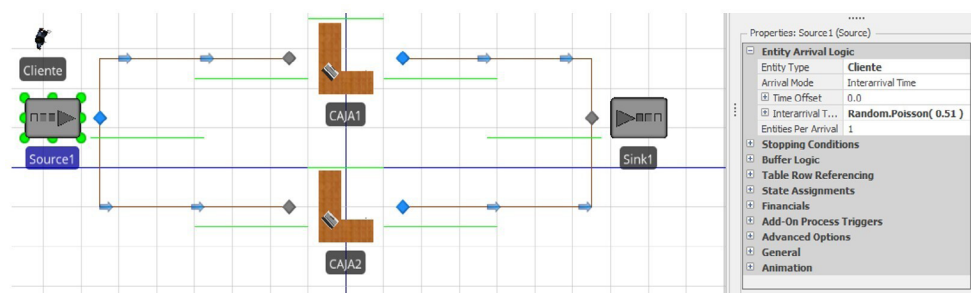


Figura 76.8
Programación de tiempo de procesamiento en los Servers Caja 1 y Caja 2

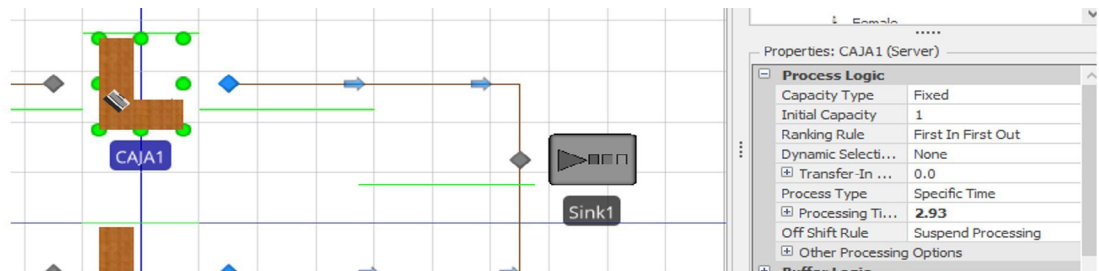


Figura 76.9
Programación de la Sequency Table en la Facility Source

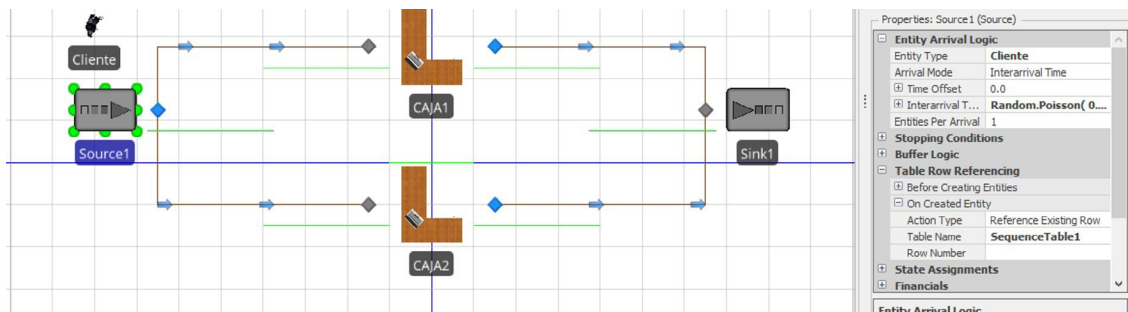


Tabla 76.2
Sequency Table

SEQUENCE TABLE 1		
	Sequence	Real Property 1
1	Input@CAJA1	50
2	Input@CAJA2	50

Resultados

Muestreo

Los datos obtenidos después de 4 semanas de estudio para cada uno de los intervalos se muestran a continuación en las Tablas 76.3, 76.4, 76.5 y 76.6. Cabe mencionar que, los días que se realizó el muestreo en promedio había 4 cajas disponibles.

Tabla 76.3
Promedio de frecuencia de tasas de llegada

GRUPO		MEDIAS POR GRUPOS
Intervalo 1: 14:00-14:30 hrs.		32.89
Intervalo 2: 13:00-13:30 hrs.		27.71
Intervalo 3: 16:00-16:30 hrs.		28.72
Intervalo 4: 18:00-18:30 hrs.		33.43
Tasa de llegada	30.69	Cada 30.69 segundos llega un cliente a la fila
Tasa de llegada	0.51	Cada 0.51 minutos llega un cliente a la fila

Tabla 76.4
Desviación estándar de tasas de llegada

GRUPO		DESVIACIÓN ESTÁNDAR POR GRUPOS
Intervalo 1: 14:00-14:30 hrs.		4.93
Intervalo 2: 13:00-13:30 hrs.		5.49
Intervalo 3: 16:00-16:30 hrs.		3.46
Intervalo 4: 18:00-18:30 hrs.		6.02
Tasa de llegada	4.98	segundos
Tasa de llegada	0.08	minutos

Tabla 76.5
Primer arribo de clientes

PRIMERA LLEGADA	
Primer cliente llega al segundo	15.1
Primer cliente llega al minuto	0.25

Tabla 76.6
Tiempo de procesamiento

TIEMPO DE PROCESAMIENTO (WAIT / ADVANCE)	
2.93	minutos
175.61	segundos

Prueba Kruskal-Wallis

Tal y como se mencionó en el apartado Metodología para poder llevar a cabo esta prueba no paramétrica se requirió primeramente realizar el cálculo de las medianas de las tasas de frecuencia. Dichos datos estadísticos se presentan a continuación en la Tabla 76.7.

Tabla 76.7
Medianas por grupos para prueba Kruskal-Wallis

GRUPO	MEDIANAS POR GRUPOS
Intervalo 1: 14:00-14:30 hrs.	20.00
Intervalo 2: 13:00-13:30 hrs.	21.00
Intervalo 3: 16:00-16:30 hrs.	21.00
Intervalo 4: 18:00-18:30 hrs.	17.00

El segundo paso fue agrupar las medianas en una hoja de cálculo de Minitab e inmediatamente se procedió a realizar la prueba no paramétrica dando como resultado los estadísticos observados en la Tabla 76.8.

Tabla 76.8
Resultado de prueba Kruskal-Wallis

Prueba de Kruskal-Wallis: Mediana de tasas de llegada vs. Grupos				
Estadísticas descriptivas				
Grupos	N	Mediana	Clasificación de Medias	Valor de Z
1	1	20	2.0	-0.45
2	1	21	3.5	0.89
3	1	21	3.5	0.89
4	1	17	1.0	-1.34
General	4		2.5	

PRUEBA			
Hipótesis nula- Ho: Todas las medianas son iguales.			
Hipótesis alterna- H1: Al menos una mediana es diferente.			
Método	GL	VALOR H	VALOR P
No ajustado para empates	3	2.70	0.440
Ajustado para empates	3	3.0	0.392
La aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta cuando algunos tamaños de muestra sean menores que 5.			

Interpretación de la Tabla 76.8

Lo más importante de los resultados obtenidos es el Valor p, para el estudio en cuestión se consideró el del Método Ajustado para Empates, puesto que, a lo largo del muestreo realizado se obtuvieron tiempos de llegada que sucedieron simultáneamente. Por lo tanto, $p = 0.392$. Es importante mencionar que, la prueba Kruskal-Wallis en Minitab por naturaleza se realiza a un grado de confiabilidad del 95% por lo que el valor de α es igual a 0.05.

Teniendo en cuenta que si:

- $\text{Valor } p \leq \alpha$. Las diferencias entre algunas de las medianas son estadísticamente significativas.
- $\text{Valor } p > \alpha$. Las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas.

Dado que 0.392 es mayor que 0.05 se concluye que no existe diferencia significativa entre las medianas de los 4 grupos, lo que significa que provienen de la misma población y por ende tienen el mismo tipo de distribución.

Se utiliza la prueba Kruskal Wallis en lugar de la de ANOVA, ya que este tipo de estudio relacionado con la teoría de colas no tiene una distribución de tipo normal. Teóricamente se dice que tiene una distribución de Poisson.

ProModel

Después de haber construido las locaciones, entidades, arribos y procesos, tal y como se mostró en el apartado Metodología, se procedió a simular el modelo durante 1 hora. Los estadísticos que interesan para el presente estudio son el tiempo que pasan los clientes en la fila esperando a ser atendidos y el tiempo en que las cajas están sin trabajar por falta de clientes, es decir, el tiempo ocioso en minutos. En este caso, la información pertinente se presenta en las Tablas 76.9 y 76.10.

Tabla 76.9
Estadísticos locaciones

Name	Schedu- led Time (HR)	% Opera- tion	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked	% Down
Cajera 1	1.00	95.47	0.00	4.53	0.00	0.00	0.00
Cajera 2	1.00	94.62	0.00	5.38	0.00	0.00	0.00
Cajera 3	1.00	93.77	0.00	6.23	0.00	0.00	0.00
Cajera 4	1.00	92.92	0.00	7.08	0.00	0.00	0.00
Cajera	4.00	94.19	0.00	5.81	0.00	0.00	0.00

Tabla 76.10
Estadísticos entidades

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Ope- ration (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
Cliente	76.00	4.00	2.93	0.00	0.00	2.93	0.00

Respecto al tiempo que las cajas están sin trabajar por falta de clientes se puede observar en la tabla 9 que en la columna de % Idle las cajas tienen cierto porcentaje de tiempo ocioso: 4.53, 5.38, 6.23 y 7.08 respectivamente. Este fenómeno se observó durante los días que se estuvo realizando el muestreo, ya que se pudo notar que de las 4 cajas disponibles siempre había al menos 2 que se quedaban sin clientes en la fila durante varios minutos. Por otro lado, respecto al tiempo que los clientes esperan en la fila a ser atendidos se puede observar en la tabla 10 que en la columna Avg Time Waiting (MIN) las personas no esperan tiempo alguno en la fila, es decir pasan directamente a ser atendidos debido a la constante inactividad de los servidores.

Es aquí donde se denota una falta de gestión adecuada de las colas debido a que el supermercado está teniendo cajas sin estar operando. Si bien es cierto que los clientes no esperan tiempo alguno en la fila y podrían estar satisfechos por ello; también es cierto que, si esperaran de 2 a 3 minutos en la fila, la satisfacción sería incluso la misma, ya que, los clientes por naturaleza están acostumbrados a esperar cierta cantidad de tiempo en las filas.

Por último, resultaría más rentable para el supermercado disminuir la disponibilidad de cajas de 4 a 2 en los horarios estudiados, de tal forma que se disminuya el tiempo ocioso en las mismas y que los clientes esperen, pero solo unos pocos minutos.

Se considera que, con este cambio el supermercado aumentaría sus utilidades. Para probarlo se realizó la simulación en el software Simio considerando solamente 2 cajas disponibles. Después de programar el modelo se obtiene un reporte de simulación con una gran

cantidad de estadísticos, sin embargo, los que más competen al presente estudio son los mostrados en las Tablas 76.11 y 76.12. Con esta nueva modificación, se observa en el apartado TimeOnLink de la Tabla 76.11 que el tiempo promedio en la fila de la Caja 1 es igual a 0.78 minutos. Por lo tanto, al reducir el número de cajas disponibles a dos, los clientes demorarían menos de 1 minuto esperando en la fila y se eliminarían los tiempos ociosos en las cajas porque al menos 1 cliente estaría esperando a ser atendido. Cabe mencionar que, lo mismo pasaría en la fila de la caja dos, como se observa en la Tabla 76.12 en esta fila las personas esperarían en promedio 0.84 minutos. De igual forma, es una solución viable el tener disponible únicamente dos servidores, puesto que, los clientes esperan un tiempo mínimo en la fila y las cajas siempre están trabajando, trayendo como beneficios clientes que no se desesperan por esperar grandes cantidades de tiempo en la fila y erradicación de tiempos de ocio en las cajas.

Tabla 76.11
Estadísticos de la Fila de la Caja 1

Path 1	(Travelers)	Content	NumberOnLink	Maximum	3.0000
				Average	0.0794
		Flow Time	TimeOnLink	Minimun (Hours)	0.0013
				Maximum (Hours)	0.0013
				Average (Hours)	0.0013
		Throughput	NumberEntered	Total	21.0000
			NumberExited	Total	21.0000

Tabla 76.12
Estadísticos de la Fila de la Caja 2

Path 2	(Travelers)	Content	NumberOnLink	Maximum	4.0000
				Average	0.1012
		Flow Time	TimeOnLink	Minimun (Hours)	0.0014
				Maximum (Hours)	0.0014
				Average (Hours)	0.0014
		Throughput	NumberEntered	Total	24.0000
			NumberExited	Total	24.0000

Discusión

Se espera en un futuro realizar estudios similares al trabajo realizado, pero en días con más afluencia de personas, es decir, en fines de semana, quincenas o días festivos. Esto con el fin de comparar los comportamientos de los datos en días hábiles con días en donde las personas se aglomeran en las filas; este estudio da la pauta para poder ampliar y delimitar en estudios posteriores para diseñar un estudio en periodos con cuellos de botellas marcados como fines de semana, para un análisis de más fiabilidad a situaciones críticas.

Conclusiones

Para el presente estudio el tamaño de la muestra no fue representativa, dado que se realizó en días y horario de semana diferente al comportamiento de los días de quincena o de horas pico.

Por lo tanto la hipótesis se cumple dado que los clientes no pasan demasiado tiempo de espera en la fila de la caja, pero se observa que la reducción de tiempo esperada mediante los métodos de simulación aplicados no es representativa por no ser en días y horas pico,

además se identifica un incremento de la productividad al reducir el número de los recursos a emplearse en horas y días no pico, generando la oportunidad para una toma de decisión que redunde en la calidad del servicio en los tiempos de espera.

Referencias

- Chase, R., Aquilano, N., y Jacobs, R. (2009). "Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros", duodécima edición, México, D.F., McGraw Hill.
- Peter J. Brockwell y Richard A. Davis (2016). "Introduction to Time Series and Forecasting", Third Edition, Switzerland, Springer.
- Stephen A. White., PHD and Derek Miers.(2008). "BPMN Modeling and Reference Guide. Understanding and Using BPMN", Florida, USA, Future Strategies Inc.
- Sturrock D., Kelton W., Muñoz D. (2019). "Simio y Simulación: Modelado, Análisis, Aplicaciones" Quinta Edición, Independently Published.
- Pegden, D. (2017). "Deliver On Your Promise", PA,USA, Simio LLC.
- García, E., García H., Cárdenas, L.(2013). "Simulación y Análisis de Sistemas con ProModel", segunda edición, Naucalpán de Juárez, Pearson.
- Dunna, E., Reyes, H., y Barrón, L. (2013). "Simulación y análisis de sistemas con ProModel", segunda edición, Naucalpán de Juárez, Pearson.
- Gómez, F. (2008). "Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente," Revista Universidad EAFIT, vol. 44, no. 150, pp. 51-63."
- Igwe, A., Onwumere, J. y Egbo, O. (2014). "Efficient Queue Management in Supermarkets: A Case Study of Makurdi Town, Nigeria", "European Journal of Business and Management", vol. 6, no. 39, pp. 185-192.
- Priyangika, J. y Cooray, T. (2016). "Analysis of the Sales Checkout Operation in Supermarket Using Queuing Theory," Universal Journal of Management, vol. 4, no. 7, pp. 393-396.
- Azarang M. y García E. (S/A). Simulación y análisis de modelos estocásticos. Capítulo 3. Simulación. Mc. Graw Hill. México
- Barton, P. I. (1992). The modelling and simulation of combined discrete/continuous process.
- Benson, D. (1996). Simulation Modeling and Optimization using Promodel. Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference.
- Coss Bu, R. (2007). Simulación. Un enfoque práctico. Departamento de Ingeniería Industrial. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 2ª. Edición. México. Editorial: Limusa.