

Aplicación de la teoría de líneas de espera en el servicio de biblioteca de una organización educativa en Cartagena, Colombia

Application of Queuing Theory in the Library Service of an Educational Organization in Cartagena, Colombia

Amaury Muñoz-Vergara¹

Resumen

Este trabajo se propone analizar el funcionamiento operacional de la estructura de servicio de la Biblioteca Ramón de Zubiría de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco de Cartagena. Para ello, se toman como referente los parámetros establecidos por la teoría de colas (líneas de espera), los cuales permiten describir la dinámica y eficiencia de las estaciones de servicios a través de distintas medidas de rendimiento. La metodología implementada parte de una investigación exploratoria descriptiva, con un diseño no experimental-transversal, en la que se aplica un muestreo probabilístico para población infinita. El análisis permite concluir que el sistema de servicio tiene una estabilidad a pesar de que las tasas de llegada y de salida a la biblioteca son muy altas, presentando un nivel de ocupación del 95% del sistema general. Por otra parte, subsistemas estudiados como la fotocopiadora, el casillero y la mediateca no son eficientes en la operación debido a que los tiempos ociosos son muy altos.

Palabras clave

Teoría de colas; medidas de rendimiento; servicio.

Abstract

Considering the set parameters in the queuing theory which allow to describe both the dynamics and efficiency of service stations by several yielding measurements, this paper is aimed at analyzing the operational functioning of the service structure of the Ramón de Zubiría Library at the Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco in Cartagena city. The methodology consists of a descriptive and explorative research with a nonexperimental-descriptive design and the implementation of a probabilistic sampling for an infinite population. The analysis allows us to conclude that the service system has stability, despite the fact that the arrival and departure rates at the library are very high, presenting an occupancy level of 95% of the general system. Nevertheless, studied subsystems such as photocopy machines, the lockers and the media library are not efficient in the operation because the idle times are very high.

Keywords

Queuing theory; performance measures; service.

Fecha de recepción: 3 de agosto de 2018
Fecha de evaluación: 20 de noviembre de 2018
Fecha de aceptación: 13 de diciembre de 2018

Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)
Published by Universidad Libre



¹ Magíster en Administración de Empresas de la Universidad del Norte. Estudiante del Doctorado en Administración de la Universidad del Norte, Colombia. Correo electrónico: AMAURY1172@hotmail.com

Introducción

Las colas, filas o líneas de espera son muy comunes en la vida cotidiana. Son pocos los individuos de una sociedad moderna que no hayan tenido que esperar en una cola para subir al autobús o al taxi, para entrar al cine, para pagar en el supermercado, para cortarse el cabello o para inscribirse al iniciar el año escolar (Bierman, Bonini, & Hausman, 1996)

La teoría de líneas de espera proporciona una serie de modelos matemáticos que permiten describir el comportamiento de una gran cantidad de situaciones de servicio, en donde siempre existen una estructura de servicios y un conjunto de clientes que llegan para ser atendidos por esa estructura.

El estudio de las colas tiene que ver con la cuantificación del fenómeno de esperar por medio de medidas de desempeño representativas, tales como longitud promedio de la cola, tiempo de espera promedio en la cola, y el uso promedio de la instalación (TAHA, 2012)

En consecuencia la teoría de líneas de espera y sus modelos son tomados en este trabajo para describir el funcionamiento de la Biblioteca Ramón de Zubiria del Tecnológico Comfenalco, entendiendo que la biblioteca es el sistema de colas en general, donde llegan y salen los clientes a tasas determinadas, también se incluyen de manera específica en el estudio los subsistemas del Servicios de casilleros, servicios de fotocopiado, y la mediateca. Para el alcance del estudio se tomaron cada uno de estos subsistemas como independientes entre sí, donde cada uno se le calcularon sus respectivas tasas de llegadas, de salida y medidas de rendimiento.

Esta biblioteca que fue fundada en el 2006, presenta desde el 2010, una problemática en cuanto al volumen de llegadas (estudiantes y docentes), los cuales sobrepasaban su capacidad de respuesta en algunas horas de operación en términos de servicios. Todo esto como con-

secuencia de un aumento en la población estudiantil.

La biblioteca Ramón de Zubiria funciona como una estructura de servicios, con un horario de operación continuo que se adapta a los requerimientos de su comunidad, con 14 horas y 30 minutos de operación los días: Lunes a Viernes entre las 7:00 a.m. y las 9:30 p.m. y de 11 horas de operación los días sábados de 8:00 a.m. a 6:00 p.m.

El modelo aplicado a la biblioteca comprende un patrón de llegadas y de salidas con distribución poisson, una disciplina de cola FIFO, cada subsistema de trabajo de manera independiente, la fuente de entrada supone población infinita, y no hay límites en cuanto la capacidad de ellos.

El trabajo está estructurado de la siguiente forma: en primer lugar se desarrolla un marco teórico básico sobre los sistemas de colas, o teoría de colas, donde se exponen los principales conceptos y elementos; en segundo lugar se expone la metodología utilizada, la cual comprende la definición del diseño y tipo de investigación, de la población de estudio junto con el proceso de muestreo aplicado, las fuentes de información, y como se recolectaron y analizaron los datos; por último se presentan las conclusiones y recomendaciones.

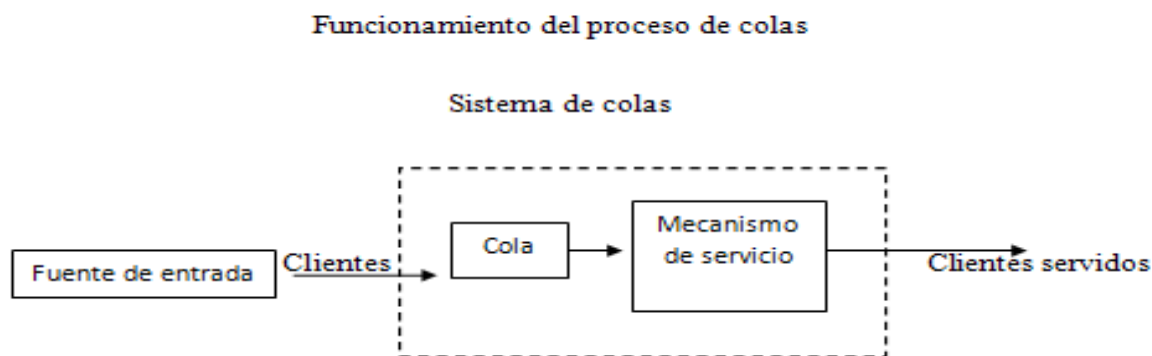
Marco Teórico

Un sistema de colas se puede describir como 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. (García, 2016).

Los actores principales en una situación de colas son el cliente y el servidor. Los clientes llegan a una instalación (servicio) desde de una fuente. Al llegar, un cliente puede ser atendido de inmediato o esperar en una cola si la instalación está ocupada. Cuando una instalación completa un servicio, “jala” de forma automática a un cliente que está esperando en la cola, si lo hay. Si la cola está vacía, la instalación se vuelve ociosa hasta que llega un nuevo cliente (TAHA, 2012).

Para Hiller & Lieberman (2010), el proceso básico de una cola es el siguiente: los clientes requieren un servicio y forman un fuente de entrada, luego ingresan al sistema y se unen a una cola, en un momento determinado, se selecciona a un miembro de la cola para brindarle el servicio, por medio de una disciplina de colas, luego se lleva a cabo el servicio por un mecanismo de servicio y por último el cliente sale del sistema de colas.

La siguiente grafica propuesta por Hiller & Lieberman (2010) se ilustra el anterior enunciado.



Grafica N°1: Funcionamiento básico del proceso de colas.
Fuente: Hiller y Liberman (2010)

Todo sistema de colas comprende seis elementos o características (García, 2016).

1. Patrón de llegada de los clientes
2. Patrón de servicio de los servidores
3. Disciplina de cola
4. Capacidad del sistema
5. Número de canales de servicio
6. Número de etapas de servicio

Patrón de llegada de clientes: En situaciones de cola habituales, la llegada es estocástica, es decir la llegada depende de una cierta variable aleatoria, en este caso es necesario conocer la distribución probabilística entre dos llegadas de cliente sucesivas. Además habría que tener en cuenta si los clientes llegan independiente o simultáneamente. (García, 2016).

Patrón de servicio de los servidores: Los servidores pueden tener un tiempo de servicio variable, en cuyo caso hay que asociarle, para definirlo, una función de probabilidad. (García, 2016). El patrón de servicio es descrito por la tasa de servicio (μ – número de clientes en atendimento en un determinado intervalo de tiempo) o por el tiempo de servicio (T – tiempo necesario para atender el cliente). (Coelho, 2010).

Disciplina de cola: Se refiere a la manera como los clientes son escogidos para entrar en servicio después de una cola ser formada. La disciplina más común se da por la orden de llegada, en la cual el primero que llega es el primero a ser atendido (First in, First out - FIFO o PLPS). Otras alternativas son: el último a llegar es el primero a ser atendido (Last in, First

out - LIFO o ULPS); por el atendimento con prioridad para ciertas clases de clientes, independiente de la hora de llegada en el sistema, muy común para viejos y grávidas (Priority service – PRI); y por la selección de atendimento de forma aleatoria, independiente de la orden de llegada en la cola (Service in random order – SIRO). (Coelho, 2010).

Capacidad del sistema: Es el máximo número de clientes que pueden estar haciendo cola, puede ser finita o infinita. Lo más sencillo a efectos de simplicidad es suponerla infinita. (Cao Abad, 2002).

Número de canales de servicio: Se refiere al número de servidores en paralelo que prestan servicios simultáneos a los clientes. Un sistema de colas puede presentar un o múltiples canales de atendimento, operando independientemente uno del otro. En ese último caso, puede tener una cola única o una cola para cada canal. (Coelho, 2010).

Número de etapas de servicio: Un sistema de colas puede tener apenas una única etapa de Servicio, como en el caso de supermercados y peluquerías, o puede tener varias etapas. En ese caso, denominado de múltiples etapas, el cliente precisa pasar por varias etapas hasta dejar el sistema. (Coelho, 2010).

Se presentan dos periodos fundamentales en un sistema de colas, el primero es conocido como estado transitorio, el cual resulta ser el periodo en el que el sistema no se encuentra operando de manera normal debido a que la circulación de clientes puede estar afectada por situaciones específicas como lo es la apertura de un local comercial en su primeras horas de operación. (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin, 2011).

Por otro lado, en la medida en que la circulación de clientes en un sistema de colas se regula, se inicia un periodo denominado estado estable, el cual resulta “cuando el sistema alcanza la

operación estable o normal” Según, Anderson, et al, (2011) al momento de estudiar un sistema de colas o líneas de espera, resulta apropiado identificar el estado estable del sistema, en tanto este periodo es el que permitirá describir las características operativas del proceso de espera.

Medidas de rendimiento

Siguiendo las consideraciones de Anderson et al. (2011), se debe entender que para describir las características del proceso simple de colas durante el periodo de operación estable, se procede a implementar las siguientes medidas de rendimiento:

- a) Patrón o tasa de llegadas, λ
- b) Patrón o tasa de servicio o salidas, μ
- c) Probabilidad de que no haya unidades en el sistema, $P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$
- d) Cantidad promedio de unidades en la línea de espera, $L_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)}$
- e) Cantidad promedio de unidades en el sistema, $L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$
- f) Tiempo promedio que pasa una unidad en la línea de espera, $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$
- g) Tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema, $W = W_q + \frac{1}{\mu}$
- h) Probabilidad de que una unidad que llegue tenga que esperar, $P = \frac{\lambda}{\mu}$

Metodología

Tipo de Investigación y diseño

Dadas sus características, la presente investigación es de tipo exploratoria-descriptiva en la medida que se pretende estudiar las instalaciones de servicios de la biblioteca Ramón de Zubiria, haciendo mediciones de variables

como el número de personas que ingresan a cada instalación por hora y tiempos de servicios que permitan calcular tasas de servicios o salidas, y medidas de rendimiento, tomando como referencia la teoría de colas, con el fin último de llegar a una descripción inicial del funcionamiento de la misma, lo cual puede ser el punto de partida para el desarrollo de futuras investigaciones rigurosas.

El diseño de investigación es no experimental – transversal, debido a que se pretende hacer mediciones una sola vez en el tiempo.

Población

Los sistemas de colas funcionan como procesos, donde la variable tiempo juega un papel esencial en su funcionamiento, por consiguiente, las variables de estudio están siempre relacionadas con una unidad de tiempo, que para este estudio se identificó como la hora de operación. Para efectos de la presente investigación, se identificó - el número de horas de operación de la biblioteca ramón de Zubiria, como la población de estudio. Por lo tanto al ser la biblioteca con todas sus instalaciones un servicio que funciona permanentemente en el tiempo, el número de horas de operación es infinita. Identificamos a la población como infinita, donde la unidad de observaciones son las horas de operación de la biblioteca y sus instalaciones de servicio. Dado la naturaleza de la población infinita, se tomó la decisión de realizar un muestreo para obtener una muestra aleatoria.

Muestra

Para obtener la muestra se trabajó un muestreo probabilístico simple para poblaciones infinitas. El cálculo de muestra arrojó un valor de 435 horas de operación, las cuales se distribuyeron entre todos los días de operación y también para calcular las tasas de llegadas y tasas de salida para la biblioteca en general, la mediateca, servicio de fotocopidora y casillero. Para cumplir con la recolección de la muestra se utilizó

un grupo de colaboradores (estudiantes) que hacían las mediciones de manera simultánea en cada una de las instalaciones. La información se recogió en el periodo de segundo semestre del 2015 y primero de 2016.

Fuentes de información

Como fuente de información primaria se toma como referencia los periodos de operación y las distintas instalaciones de servicios estudiadas que hacen parte de la biblioteca Ramón de Zubiria que son: La biblioteca como un sistema general, las instalaciones de servicio de casillero, mediateca y fotocopia. Además se trabajó con entrevistas con las directivas de la biblioteca, quienes proporcionaron información con respecto a los aspectos administrativos de la biblioteca, los usuarios de las instalaciones de servicio, de quienes se procedió a describir algunos aspectos cualitativos relacionados con el funcionamiento operativo de las instalaciones de servicio.

Recolección y análisis de la información

Para la recolección de la información se utilizó la observación directa con apoyo de un instrumento (formato) para registrar el número de llegadas por hora, número de salidas por hora, y tiempos de servicios; lo anterior permitió calcular las tasas de llegadas y tasas de salidas, de cada uno de las instalaciones de servicios, por medio de formatos previamente diseñados. Para el análisis de la información se recurrió a la estadística descriptiva para el cálculo de promedios, y creación de tablas, para lo cual se utilizó Excel y el SPSS para análisis de datos.

Resultados

La instalación de servicio que experimentó una gran circulación de usuarios durante el periodo de medición fue la biblioteca como un sistema integral con un patrón de llegadas de 121 usuarios y tasa de salida de 127 usuarios por hora, seguida de la instalación de casillero

Tabla 1. Medidas de rendimiento

Medidas de rendimiento	Biblioteca general	Casillero	Fotocopias	Mediateca
λ	121	64	20	16
μ	127	143	30	36
L	21	0,80	2	0,81
Lq	20	0,36	1	0,36
W	0,1711	0,0126	0,1021	0,0500
Wq	0,1633	0,0065	0,0688	0,0224
P	0,9541	0,4448	0,6737	0,4473
P₀	0,0459	0,5552	0,3263	0,5527

Fuente: Elaboración propia

con promedios de llegada y salida de 64 y 143 usuarios por hora respectivamente. Por su parte la instalación de fotocopia seguida de la instalación mediateca fueron los puntos de servicio con menor circulación de usuarios con patrones de llegadas y salidas de 20 y 30 para la fotocopia y de 16 y 36 para la mediateca.

Consecuente con la mayor circulación de usuarios, la instalación de sistema general genero un mayor volumen de usuarios en cola y en el sistema con $L = 21$ y $Lq = 20$, muy supe-

rior las cantidades de usuarios en cola y en las instalaciones de servicios de los demás subsistemas como era de esperarse; en donde las colas no fueron muy grandes, con 1 usuario en cola para la instalación de fotocopia y 0,36 para las instalaciones de casillero y mediateca.

En la instalación en la que mayor tiempo permanecieron los usuarios tanto en el sistema como en cola fue en el sistema general, seguido de en orden descendente de las instalaciones: fotocopia, mediateca y casillero.

Tabla 2. Tiempos en los subsistemas

Tiempos en minutos	Casillero	Fotocopias	Mediateca
De espera (Wq)	0,39	4,128	1,344
De servicio ($1/\mu$)	0,366	1,988	1,656
En el sistema (W)	0,756	6,126	3

Fuente: elaboración propia

En la tabla 2, se hace una comparación de los tiempos de espera en cada uno de los subsistemas de servicio, donde se en la Mediateca los clientes deben esperar 1,34 minutos para ser atendidos, en promedio le prestan el servicio en 1,65 minutos, y duran en la mediateca 3 minutos en promedio. En la fotocopidora el tiempo de espera es mayor 4,12 minutos, el de atención 1,9 minutos, y en fotocopidora 6,12 minutos.

En el casillero los tiempos son menores, deben esperar 0,39 minutos, los atienden en 0,36 minutos y duran 0,756 minutos (menos de un minuto).

La biblioteca en general posee un nivel de ocupación del 95,41% del tiempo, lo cual es muy alta, e implica un volumen de actividad alta. En cuanto al casillero encontramos niveles de ocupación del 44,48% pero se observa

un considerable nivel ocioso del 55,52% del tiempo; estos niveles son similares en la Mediateca, por lo que permite suponer que puede aprovecharse el tiempo de los funcionarios que prestan estos servicios en otras actividades. La fotocopidora tiene un nivel de ocupación del 67,37% lo cual es relativamente bueno, y nivel de ocio del 32,63% del tiempo. Si la operación de la biblioteca son 14 horas podemos inducir que se “desperdician” 7,7 horas en Casillero y Mediateca ($14 \times 0,552 = 7,7$) y 4,5 horas en fotocopidora ($14 \times 0,3263 = 4,5$).

Conclusiones y Recomendaciones

La instalación de servicio que mostro una mayor capacidad para atender usuario fue el casillero, dado que en un hora de operación fue capaz de atender potencialmente a un promedio de 143 usuario, mientras que la instalación con menor capacidad para atender usuarios fue la fotocopia, que en promedio atendió 30 usuarios por hora.

El número de personas en promedio que hacen cola – a la espera de un servicio - es relativamente considerable en toda la biblioteca, 20 clientes en cola. En los subsistemas de Fotocopidora, Casillero y Mediateca las colas son mínimas, con promedios de 1; 0,36 y 0,36 personas en espera respectivamente. Situación que permite plantear la hipótesis que son muy eficientes.

En donde los clientes más tiempo deben gastar para adquirir un servicio es en la fotocopidora, con 6,12 minutos, luego sigue la mediateca con 3 minutos, y por último el casillero que gastan menos de un minuto (0,75). Aquí se incluye el tiempo de espera más el de servicio.

La instalación que permaneció mayor tiempo ocupada fue el sistema general, seguida en orden descendente por las instalaciones de. Fotocopia, Mediateca y Casillero. Hay tiempos ociosos muy grandes en Casillero, Mediateca y la Fotocopidora, los cuales deben ser indaga-

dos con mayor profundidad, para identificar las causas.

A pesar de que la tasa de llegadas y tasa de salidas de usuario de la biblioteca como un sistema integral se mantiene fluctuante durante la mayoría del periodo de operación, en la totalidad de las instalaciones de servicio el promedio de salidas de usuarios es superior al promedio de llegadas calculado de manera total.

Esta situación resulta positiva para las distintas instalaciones de servicio de la biblioteca Ramón de Zubiria, en tanto, se demuestra que en cada una de ellas se presentó cierto grado de estabilidad, debido a que durante el periodo de medición las instalaciones en promedio fueron capaz de atender un número mayor de usuarios de los que ingresaban a cada sistema, si esta situación no se hubiese presentado, tendríamos colas interminables (de crecimiento infinito).

Se recomienda:

Mantener la capacidad de respuesta de las instalaciones. Al hablar de capacidad de respuesta, se hace referencia a la máxima cantidad de usuarios admitida por cada instalación para la prestación adecuada del servicio. Se debe indagar en un estudio posterior cuales son las causas de los altas horas ociosas en algunos subsistemas.

Implementar un sistema de monitoreo permanente. Es recomendable medir de manera continua la cantidad de usuarios que circula por la biblioteca, de manera que se haga posible realizar diagnósticos sobre la estructura operacional las distintas instalaciones de servicio e implementar acciones correctivas en el momento que se haga necesario. Para lo anterior, es preferible realizar una propuesta investigativa cuyo producto final sea un sistema de información computarizado, que permita la capturar los datos (número de llegadas, número de salidas, tiempo de servicio) en el tiempo que se presenta cada evento.

Incluir elementos de costos para el análisis de las instalaciones de servicios. Determinando el costo a lo largo del periodo de operación de la biblioteca teniendo en cuenta los factores de utilización del sistema, con la intención de incluir otro factor de carácter cuantitativo para la toma de decisiones estratégicas en función de mejorar la estructura de los servicios de las instalaciones.

Realizar estudios posteriores que permitan entender con mayor claridad el funcionamiento de la biblioteca. Estos estudios deben realizarse con un mayor grado de rigurosidad al presente, materializado por un grupo de investigación interdisciplinario, enfatizando en términos metodológicos, por ejemplo realizar simulaciones con el propósito de llegar a conclusiones, aún más importantes sobre la estructura de servicios de la biblioteca y de su mejora.

Referencias

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios* (Onceava ed.). México: CENGAGE LEARNING.
- Bierman, H., Bonini, C., & Hausman, W. (1996). *Análisis cuantitativo para la toma de decisiones*. España: Irwin.
- Cao Abad, R. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. Coruña, España: NETBIBLO.
- Coelho, A. S. (2010). *Aplicación de la teoría de colas y de la simulación al embarque de mineral de hierro y manganeso en la terminal marítima de Ponta de Madeira*. *Revista Gestão Industrial*, 06(03), 63-78.
<https://doi.org/0.3895/S1808-04482010000300004>
- García, J. P. (2016). *Aplicando Teoría de colas en Dirección de operaciones*. Recuperado el 14 de Junio de 2018, de Universidad Politécnica de Valencia: <http://personales.upv.es/jpgarcia/linkedddocuments/teoriadecolasdoc.pdf>
- Hiller, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (Novena ed.). México: Mc Graw Hill.
- TAHA, H. (2012). *Investigación de operaciones* (Novena ed.). México: Pearson.