

## Propuesta de mejora para reducir los tiempos de espera mediante un modelo Matemático-Computacional de Líneas de Espera



### Proposal for improvement to reduce waiting times by means of a Mathematical-Computational Model of Waiting Lines

Lara Gaviláñez, Héctor R.; Naranjo Peña, Irma E.; Arteaga Yaguar, Elvis R.

Héctor R. Lara Gaviláñez

hector.larag@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

Irma E. Naranjo Peña

irma.naranjop@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

Elvis R. Arteaga Yaguar

elvis.artearg@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador

#### Ecuadorian Science Journal

GDEON, Ecuador

ISSN-e: 2602-8077

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. 2, 2021

esj@gdeon.org

Recepción: 04 Junio 2021

Aprobación: 30 Agosto 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/606/6062590008/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.2.124>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Lara Gaviláñez, H. R., Naranjo Peña, I. E., & Arteaga Yaguar, E. R. (2021). Propuesta de mejora para reducir los tiempos de espera mediante un modelo Matemático-Computacional de Líneas de Espera. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2) 83-99. DOI:<https://doi.org/10.46480/esj.5.2.124>

**Resumen:** En el presente artículo se plantea una solución mediante un modelo matemático aplicado al servicio de taxis urbanos que se dirigen al Cantón Durán, desde la ciudad de Guayaquil. Aplicando un modelo de teoría de colas. Se determina si la manera como se ofrece el servicio de taxis actualmente a los usuarios es el más indicado respecto al tiempo que deben esperar los pasajeros desde el momento en que llegan al lugar de abordaje de los taxis hasta el momento de partida de estos. Mediante el empleo del modelo matemático de teoría de colas, que simula el proceso que tienen que realizar los pasajeros para tomar un taxi, se pretende reducir los tiempos de espera para tomar el servicio de taxi de cada persona. también determinar el número de taxis que deberían prestar el servicio dependiendo de la hora, día de la semana, y tráfico, que es un factor determinante para los tiempos de viaje de cada unidad.

**Palabras clave:** líneas de espera, transporte público, tiempo de espera.

**Abstract:** In this article, a solution is proposed through a mathematical model applied to the urban taxi service that goes to "Cantón Durán", from the city of Guayaquil. Applying a queuing theory model. It is determined whether the way in which the taxi service is currently offered to users is the most indicated with respect to the time that passengers must wait from the moment they arrive at the place of boarding of the taxis until the moment of their departure. By using the mathematical model of queuing theory, which simulates the process that passengers have to go through to take a taxi, it is intended to reduce the waiting times to take the taxi service of each person. also determine the number of taxis that should provide the service depending on the time, day of the week, and traffic, which is a determining factor for the travel times of each unit.

**Keywords:** waiting lines, public transport, waiting time.

## INTRODUCCIÓN

En algunos lugares céntricos de la ciudad de Guayaquil es común observar filas de personas esperando su turno para abordar un taxi como popularmente se le llama al servicio de taxis ejecutivos que llevan pasajeros desde el centro de la ciudad hasta varios puntos del cantón Durán, perteneciente a la provincia del Guayas, es una población muy cercana a la ciudad de Guayaquil, queda en límites con la ciudad, que por su cercanía hace que muchas personas viajen constantemente a la ciudad capital o viceversa, por diferentes motivos como son laborales, académicos, familiar, turístico, esparcimiento, etc. La gran afluencia de personas a la urbe principal hace que haya gran demanda de transporte terrestre como son los buses urbanos y taxis ejecutivos.

La comodidad, la seguridad y el tiempo son factores por lo que algunas personas prefieren tomar un servicio de transporte personal urbano; para tomar este servicio los usuarios deben esperar un determinado tiempo, en muchos casos, dependiendo de la hora y el día de la semana, ese tiempo se puede alargar, esto provoca un incremento significativo en la línea de espera, y muchas veces se crea un ambiente de malestar entre los usuarios, ya que ese tiempo de espera se alarga más, según lo estipulado. Para dar solución al problema de extensión de tiempo en la línea de espera, se propone la elaboración de una herramienta matemática-computacional en base a simulación, que permita obtener mediante algunos ensayos, medidas de desempeño que reflejen la calidad del servicio prestado a los usuarios de parte de la empresa de transporte urbano, con la finalidad de optimizar el número de servidores disponibles dependiendo el día y la hora de la semana.

Con esta herramienta matemática-computacional se busca demostrar que el cliente elija la opción más conveniente, para reducir el tiempo de espera al elegir el servicio de taxi ruta, ofreciéndole un periodo de tiempo corto de espera en comparación al servicio que ofrecen los buses urbanos, logrando una mayor afluencia de pasajeros, y poder dar un mejor servicio sin afectar los tiempos de espera. Como sabemos el tiempo es un factor primordial en la vida de las personas; tal como lo indica Cevallos-Torres, L., & Botto-Tobar, M. (2019).

Como objetivos de esta investigación tenemos:

- Implementar un modelo matemático que permita mejorar los tiempos de espera de los pasajeros que usan el servicio de taxi ruta hacia el cantón Durán
- Establecer una frecuencia óptima de viajes para los servidores (taxis), dependiendo del horario.
- Minimizar los costos de operación y maximizar la prestación del servicio.
- Demostrar matemáticamente mediante la simulación, que se pueden mejorar los tiempos de espera.
- Encontrar un equilibrio entre el número de servidores que se requieren para suplir la demanda y el número de usuarios.

Como alcance tenemos que mediante el uso del modelo matemático de teoría de colas se pretende plantear un mejor servicio en el transporte de pasajeros hacia el cantón Duran y comparar con el modelo actual que se lleva; así realizar un cálculo para determinar la diferencia de costos entre los dos modelos; para sacar conclusiones y la conveniencia de aplicar teoría de colas para este caso en específico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se ha recolectado datos por medio del método de observación y por entrevista. Con la observación se determina el comportamiento real del sistema en las diferentes horas del día durante la semana. De esta manera se pudo recolectar los datos de manera directa como son la cantidad de pasajeros esperando en la cola, tiempos de espera de los pasajeros, numero de servidores. Mediante el método de la entrevista se recolectaron datos de parte del servidor, operador y pasajero como son el número de servidores, días de la semana con más afluencia de pasajeros, horas pico, costos, días a la semana que usa

el servicio, días a la semana que trabaja, tiempo promedio de viaje, posición frente a reducir o aumentar, modificar su horario de trabajo.

Se ha considerado como análisis para este estudio, cinco días a la semana de lunes a viernes en horario de 15:00 a 22:00 horas, debido a que son horas donde se percibe mayor concurrencia de personas haciendo cola para tomar el transporte, aunque es de aclarar que las horas de mayor afluencia de usuarios es entre las 17:00 y las 19:00 h. Una vez obtenidos los datos se procedió a la tabulación de estos en una hoja de cálculo Excel con la finalidad de automatizar las operaciones con las fórmulas de líneas de espera que se describen a continuación.

N: número de pasajeros en el sistema

$\rho$ : factor de utilización del servicio

Po: probabilidad que el sistema este vacío

S: número de servidores en paralelo

$\lambda$ : Número promedio de arribos por determinado periodo de tiempo

$\mu$ : Número promedio de servicio por determinado periodo de tiempo de cada servidor

Ls: número promedio de usuarios en el sistema

Lq: número promedio de usuarios en la cola

Ws: tiempo promedio de espera en el sistema para cada usuario

Wq: tiempo promedio de espera en la cola

La tasa de llegada de los pasajeros al sistema  $\lambda$  (lambda) tiene una distribución de probabilidad de Poisson y la tasa de servicio del sistema  $\mu$  tiene una distribución exponencial. estas dos variables son de suma importancia para la resolver el modelo matemático de línea de espera.

Con los datos recolectados se podrá simular elementos importantes así mismo obtener la tasa de llegada de pasajeros al sistema y el tiempo de servicio de cada servidor.

## Teoría de Colas

La Teoría de Colas se considera una técnica de análisis cuantitativo. Los administradores se valen de ella para evaluar tanto los costos así como la eficacia del sistema de servicio, tratando siempre de prestar el mejor servicio para atraer más clientes y no pase lo contrario, como suele suceder en muchas ocasiones, donde las largas filas, hace que las personas no utilicen el servicio (Estrada, R. C., et al., 2019).

Es importante tener claro lo que es un modelo de líneas de espera, es así como, en este trabajo se estudia la teoría de colas en las que ambas variables aleatorias tanto la de entrada como la de servicio, tienen un modelo probabilístico basado en distribuciones exponenciales. Es importante considerar que el uso de distribuciones poissonianas me permiten familiarizarme con un modelo donde la tasa de llegada de los clientes se da a través de una distribución de poisson y la tasa de servicio por parte de los servidores se da a través de una distribución exponencial.

## Características de un sistema de colas

El sistema de colas posee tres partes fundamentales:

1. las llegadas o entradas al sistema conocidas comunmente como población o fuente,
2. la cola o la línea de espera
3. El comportamiento de las llegadas de los clientes al sistema de líneas de espera

## Características de llegada

Cuando nos referimos a las características de como llegan los clientes al sistema de colas, esta tiene tres características fundamentales, para esto es importante considerar el tamaño de la población que es la fuente principal de nuestro análisis, también se debe considerar el patrón de las llegadas de los clientes, así como el comportamiento de las llegadas, ya que para este estudio deben ser de tipo aleatoria.

Para el caso de estudio, que se está analizando, no hay un patrón exacto definido, pero si se ha notado, a través del trabajo de campo que las horas de mayor afluencia son entre las 17:00 y 19:00, y esto es debido a que muchas personas salen de sus trabajos y se dirigen de regreso a sus casas, o también se puede considerar la población de estudiantes que estudian en horarios nocturnos, y es allí donde empiezan los desplazamiento hacia los diferentes centros educativos, además de la existencia de otras variables, que son fundamentales para el desarrollo de este caso de estudio.

## Tamaño de la Población Fuente.

Los tamaños de las poblaciones se consideran ilimitados (esencialmente infinitos), o limitados (finitos). Cuando el número de clientes o llegadas disponibles en cualquier momento dado es únicamente una pequeña porción de las llegadas potenciales, la población fuente se considera ilimitada. La mayoría de los modelos de colas suponen una población fuente ilimitada como es este caso. Podríamos decir que la población fuente en este caso es ilimitada.

## Patrón de Llegadas al Sistema

Cuando nos referimos al patrón de llegada de un grupo de clientes a un sistema de líneas de espera, representado a través de un servicio, sea este un banco, una estación de lavado de autos, o simplemente una estación de buses, nos referimos entonces al patrón de llegada, como una variable que es de tipo probabilística, es decir un estado de incertidumbre, donde la llegada de los clientes a cualquiera de las estaciones de servicio mencionadas anteriormente tiene un comportamiento aleatorio.

Al considerar que estas llegadas de los clientes, se dan de forma aleatorio, es importante indicar que es fundamental el uso de distribuciones de probabilidad, para este caso estaríamos utilizando un tipo especial de distribución de probabilidad que se adapte mejor a este problema, en ese caso usaremos una distribución de tipo Poisson, cuyo valor de llegada se la define con la letra griega  $\lambda$ , que represente el promedio de llegada de un cliente al sistema de línea de espera. Cevallos-Torres, L., & Botto-Tobar, M. (2019).

## Longitud de la Cola

Cuando nos referimos a la longitud de la cola esta puede ser de dos tipos, colas de longitud finita y colas de longitud infinita. Al describir una cola de longitud finita, esto significa que dicha cola puede presentar restricciones de tipo físico es decir limitaciones, podemos mencionar el siguiente caso, la cual tenemos una estación de lavado de autos rápidos donde existe un número máximo de autos que pueden permanecer dentro del local, caso contrario ocurre cuando la longitud de la cola es de longitud infinita, el típico caso de aquellas personas que hacen la cola en un banco.

## Disciplina de la Cola

Cuando definimos la disciplina de la cola, es importante considerar que los clientes que están en la fila son aquellas personas que recibirán el servicio, cualquiera que este sea, por otro lado, este concepto también se refiere a la relación que puede tener un sistema de colas en cuanto a su eficiencia y la capacidad que tiene el sistema de soportar dicho servicio, pero cuando esta cola o fila supera la cantidad de personas, en el sistema se provoca un congestionamiento y puede dar lugar a la insatisfacción del cliente, que finalmente termina por desertar de la línea de espera. Para evitar que suceda el abandono del cliente de la cola, es importante tomar medidas que permitan la permanencia constante de los clientes en el sistema, para esto los analistas dan como solución un incremento en la capacidad de atención y eso es, según el aumento de servidores que cubra la demanda de los clientes cuando se van formando en la fila.

Complementando lo dicho en el párrafo anterior, la disciplina de la cola, es cuando existe referencia al orden en que los clientes se selecciona de tal manera que recibirán el servicio, para esto se han considerado tres tipos diferentes de comportamiento, el primero se da cuando el cliente recibe el servicio apenas llega a la cola (FIFO), el segundo comportamiento se da cuando el cliente recibe el servicio al final y su llegada ha sido al inicio (LIFO), y finalmente tenemos aquel comportamiento que se toma de forma aleatoria, es decir sin ningún orden (SIRO), en este estudio utilizaremos el modelo (FIFO)



FIGURA 1.  
Cola tipo PEPS O FIFO en sistema

### Tiempo de espera en la fila:

Cuando tratamos de definir el tiempo que, un cliente deba esperar en la línea de espera, se debe tener claro algunas variables fundamentales que se involucran dentro de este tema, imaginemos que existe un larga filas de clientes tratando de recibir algún tipo de servicio, el hecho de observar dicha cola y dependiendo del tipo de servicio. No siempre esperar por dicho servicio, significa que existan tiempos de espera prolongados. Para medir si existen tiempos prolongados en una fila, se debe proceder a un modelo matemático que me ayude a medir la eficiencia de dicho servicio en cuanto a los tiempos de espera, para esto se debe considerar, que la probabilidad de la tasa de servicio, de acuerdo con el número de servidores, está avanzando de manera rápida.

Debe considerar que el hecho de haber una línea de espera no significa que la eficiencia en el tiempo de espera de cada cliente no sea optimo, sin embargo, al considerar el escenario de medir, dicho fenómeno es probable que no sea necesario el uso de un análisis de optimización de teoría de colas, ya que puede ser atendida eficientemente.

Por otro lado, cuando el tiempo de espera es demasiado largo, los clientes tratan de medir la calidad del servicio, de una forma natural y por lo general, dependiendo del cliente, este puede considerar que dicho servicio sea deficiente. Existen estudios en la cual se trata de medir la tasa de llegada de los clientes. Una de las formas que más éxito ha logrado, es el diseño de sistemas de colas que permitan reducir los tiempos de espera de cada cliente.

### **Tiempo total en el sistema:**

Al referirnos al tiempo total que un cliente está en el sistema de líneas de espera, nos referimos específicamente al tiempo total transcurrido desde que un cliente arriba al sistema, sea este una entrada aleatoria a un banco, o a una estación de servicio u otro sistema de atención al cliente, hasta que el cliente completa todo el ciclo y finalmente recibe el servicio, por parte del servidor, el tiempo total del sistema también es considerado aleatorio ya que este depende de la rapidez o de la cantidad de servidores que en ese momento están activos. (García Sabater, J. P. 2020).

### **Utilización de las instalaciones del servicio:**

Cuando tratamos sobre la utilización del servicio, inmediatamente nos ponemos a pensar en la cantidad de servidores que están activos, es decir, si lo medimos en forma de efectividad, este puede ser el porcentaje del tiempo en que estos servidores permanecen ocupados. Si analizamos a través de un problema de la vida real, podemos decir que a nivel gerencial significa mantener altos niveles de utilización y rentabilidad, sin afectar adversamente las demás características de operación, sin embargo debemos tener claro que tener índices elevados de utilización de los servidores, no necesariamente significa que estén trabajando de manera óptima, en vista de lo dicho, es importante medir el nivel de utilización del servicio del sistema de cola, ya que pueden darse dos situaciones muy claras en cuanto a que el servidor puede presentar tiempos ociosos o de forma extrema puede presentar un colapso en el sistema.

### **Configuraciones Básicas de los Sistemas de Colas**

Cuando nos referimos a los sistemas de líneas de espera o simplemente colas, estos se clasifican de acuerdo con una nomenclatura que está en base al número de estaciones de servicio o de servidores activos, que se presentan dentro del sistema, así como el número de periodos o de interrupciones de servicio que deben realizarse.

En el caso del número del número de servidores activos que puede tener un sistema, podemos referirnos al caso donde dicho sistema cuente con un solo canal, es decir que el sistema cuente con un solo servidor o también podemos referirnos a un sistema que posea multicanal es decir un sistema con varios servidores activos), tal como se presenta en este caso de estudio.

Ahora, tal como lo indica (Valencia-Núñez, E. R., et al., 2018). “Un sistema de una sola fase se caracteriza porque el cliente recibe el servicio en una sola estación y luego sale del sistema como sucede para este caso, en cambio un sistema multifase es aquel en el cual el cliente recibe el servicio en varias fases”. Tal es el caso de una línea de montaje de materiales, sean estos computadores, autos, entre otros. Pg. 6-8

## Distribuciones de Tiempos de Servicio

Cuando nos referimos a este tema, debemos tener en consideración que, para el caso de los tiempos de servicio, este debe ser aleatorio, tal como se podría manejar en ensambladoras, fabricas, etc. Aquí el tiempo es aleatorio y no tiene un patrón de llegada o de servicio, tal como lo manifiesta. (Miranda, M. 2015).

## Análisis del Caso de Estudio

Con la finalidad de poder entender claramente la aplicación y el desarrollo de este estudio se procede al cumplimiento de un sinnúmero de pasos a seguir, en la que el investigador para poder determinar la muestra que será significativa para este estudio, se procedió a la recolección de datos, para esto el investigador se planteó una metodología en la que se trasladó a los diferentes puntos de la ciudad de Guayaquil, campo de estudio, con la finalidad de crear un Dataset que permita analizar mediante un análisis de frecuencia el comportamiento de las variable que se utilizarán como0 objeto de estudio. Posteriormente los datos reunidos, servirán para poder obtener resultados a través de un modelo de teoría de colas M/M/1, es decir un modelo basado en tasas de llegadas probalísticas tipo Poisson, con un modelo de tasas de servicio probabilísticos de tipo Exponencial y con un solo servidor. Finalmente se entrega propuesta de mejora para su respectiva socialización y sensibilización. (Cevallos-Torres, L., & Botto-Tobar, M. (2019))

Se debe tener en consideración que los servidores, son los taxis que se encuentran disponibles con capacidad de transportar máximo 4 pasajeros por servicio. Estamos en presencia de un sistema multicanal de una sola fase, como lo indica la figura 2. En el cual se utiliza un sistema PEPS. Es decir, primero en llegar, primero en salir.

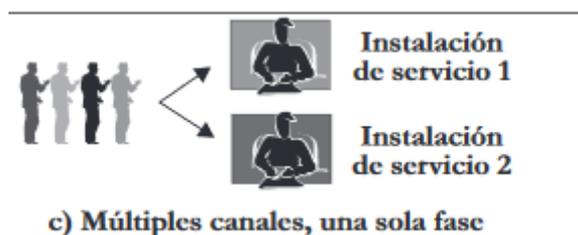


FIGURA 2  
Sistema Multicanal de una sola Fase

Para el cálculo de la tasa de servicio ( $\mu$ ), que es el tiempo que un taxi demora en llegar a la terminal y llenar su cupo con los pasajeros en cola. No se tiene en cuenta el tiempo de ruta de ida ni de vuelta, ya que en el destino el taxi volverá a realizar el mismo proceso que hace en la ciudad de Guayaquil. Y según lo observado las colas son más largas en la ciudad de Guayaquil que en el cantón Duran, ya que de regreso aplican otros métodos que puede ser en recoger pasajeros en una terminal o si las necesidades del servicio en la ciudad de Guayaquil lo requieren, los taxistas emprenden su regreso casi inmediato y optan por recoger pasajeros en el camino



FIGURA 3.  
Sistema Multicanal del sistema Real

### Mapa de Desplazamiento

Se toma un mapa donde se muestra el recorrido que debe hacer el taxi desde el origen destino, para tener una perspectiva de la ruta que deben hacer los servidores una vez inicien su recorrido. Los tiempos de ruta dependen de la hora del día. Normalmente pueden demorar 30 minutos en una hora de poco tránsito, pero para este artículo se han tomado las horas de la tarde que son horarios pico, que hace que los recorridos duren entre 30 minutos y hasta 45 minutos en promedio. Realizando una ponderación se obtuvo que el promedio de desplazamiento es de 35.23 minutos. Mera Dávila, R. D., & Salinas Acosta, W. E. (2018)

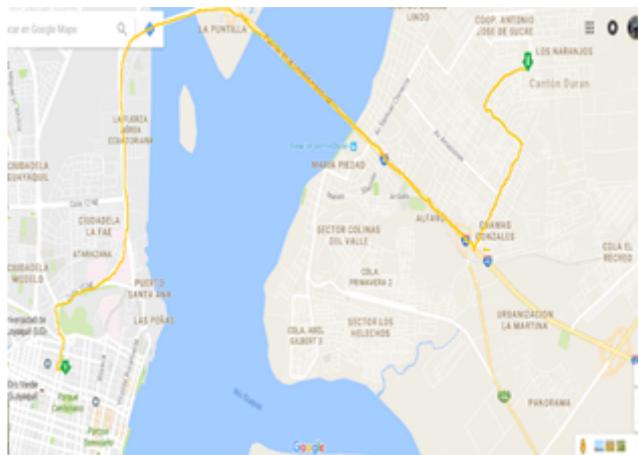


FIGURE 4.  
Mapa de ruta de los taxis

### Variables de entrada del sistema colas

- Total, de pasajeros que arriban a la terminal de salida
- Tiempo promedio de llegada de los usuarios a la terminal de salida
- Tiempo promedio de permanencia de los clientes o de los usuarios en el sistema de líneas de espera.
- Número de servidores activos que se encuentran en el sistema de líneas de espera.

## Variables de salida del sistema de carga

- Tiempo promedio que demora cada servidor en salir.
- Número de elementos que salen del sistema.

Por un periodo de cuatro semanas se recolectaron muestras, es decir se pudo determinar la cantidad de usuarios que había en cola, así como los tiempos de llegada, los resultados del trabajo de campo se consolidaron en una tabla, donde se observa el promedio de cada una de estas variables, mediante el uso de estadísticas descriptivas.

En las tablas 1 y 2 se muestra el número promedio de personas haciendo fila y taxis que se podían observar al transcurrir los minutos y que motivo a la aplicación de teoría de líneas de espera en este sistema de transporte público.

TABLA 1.

Promedio de usuarios que se observan en cola por minuto en diferentes rangos de hora por días de a semana. finaliza con una columna con el promedio de gente en cola.

RANGO HORAS	PROMEDIO USUARIOS EN COLA X MINUTO					PROMEDIO
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	
15:00-15:59	1,80	1,73	1,45	1,00	1,90	1,58
16:00-16:59	2,25	2,76	2,01	2,02	2,58	2,33
17:00-17:59	9,71	10,45	12,49	11,34	14,60	11,72
18:00-18:59	15,28	16,76	15,34	17,03	18,12	16,51
19:00-19:59	9,65	11,64	11,00	14,09	16,69	12,62
20:00-20:59	3,42	3,10	2,87	3,68	4,43	3,57
21:00-21:59	1,90	1,21	1,56	1,05	3,45	1,84

En la tabla 1 se puede observar que hay periodos de tiempo que incrementa notablemente la llegada de usuarios al sistema y se forman colas considerables. Haciendo una relación con el número de servidores promedio que hay por minuto se puede destacar que no llega a más de dos servidores por minuto en ningún horario, Ni siquiera en el horario de 17:00 horas a 19:00 horas donde hay mayor cantidad de cola.

TABLA 2.

Promedio de servidores que salen por minuto en los diferentes rangos de hora por días de la semana. La última columna muestra el promedio general de servidores por rango de hora.

RANGO HORAS	PROMEDIO DE SALIDA DE TAXIS X MINUTO					PROMEDIO
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	
15:00-15:59	1,55	1,47	1,37	1,65	1,65	1,54
16:00-16:59	1,52	1,43	1,35	1,57	1,02	1,38
17:00-17:59	1,23	1,03	1,08	1,37	1,33	1,21
18:00-18:59	1,19	1,09	1,24	1,04	1,34	1,18
19:00-19:59	1,55	1,35	1,42	1,48	1,43	1,44
20:00-20:59	1,87	1,68	1,60	1,98	1,49	1,72
21:00-21:59	0,42	0,34	0,25	0,76	0,93	0,54

También es de destacar que el número de servidores en las últimas horas de la noche la cantidad de usuarios se reduce y los servidores se acumularían en la terminal. Como se evidenció en la observación, los servidores se acumulaban de tres a cuatro debido a la baja demanda de pasajeros.

También es de destacar que el número de servidores en las últimas horas de la noche la cantidad de usuarios se reduce y los servidores se acumularían en la terminal. Como se evidenció en la observación, los servidores se acumulaban de tres a cuatro debido a la baja demanda de pasajeros.

## Modelo de Aplicación Por Rangos De Hora

Con el objetivo de realizar un mejor calculo y su respectivo análisis, se procede a aplicar el modelo matemático por rangos de hora como se muestra en la tabla # 3. Como se evidencio en la observación y como se observa en la tabla, la tasa de llegada de usuarios varía según la hora del día

TABLA 3  
 Contiene el promedio de usuarios que llegan al sistema por rangos de hora en la semana

NUMERO DEL RANGO	RANGO DE HORAS	PROMEDIO DE LLEGADAS X MINUTO
1	15:00-15:59	1,07
2	16:00-16:59	1,11
3	17:00-17:59	2,23
4	18:00-18:59	2,14
5	19:00-19:59	1,57
6	20:00-20:59	1,10
7	21:00-21:59	0,89

## RESULTADOS

Teniendo la información recolectada tabulada, se procede aplicar las fórmulas de teoría de colas para analizar el comportamiento actual del sistema y determinar si está dentro de lo aceptable o se descubren falencias, en caso de encontrar falencias se procederá a encontrar un modelo que permita mejorar el sistema actual.

El resultado final de los datos iniciales es:

Tasa media de llegada de los usuarios  $\lambda = 1,97$  usuarios/minuto

Tasa media de servicio  $\mu = 4/70$  usuarios/minutos

Número de servidores  $S = 30$ . Para encontrar el factor de utilización reemplazamos los datos en la siguiente formula.

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

$\rho = 1,15 > 1$ , esto nos indica que el sistema esta colapsado, esta siendo utilizado al 115%, y se comprueba lo observado en campo, donde un servidor llega y sale de inmediato en ciertos horarios del dia, pero hay que recalcar que horarios donde hay servidores esperando y pocos usuarios. Esto significa que para obtener un mejor resultado es mejor aplicar estos calculos por periodos de tiempo.

TABLA 4.  
Aplicación de fórmulas de teoría de colas con los datos obtenidos

Notación	Resultado	Terminología
Po		Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
Lq	-0,155	# promedio de usuarios esperando en cola
Ls	26,17	# de usuarios en el sistema
Wq	60,64	Tiempo que una unidad espera en la fila
Ws	13,28	Tiempo que un usuario está en el sistema
	30,78	

En la tabla 4 se aprecia que la probabilidad que ningún usuario este en el sistema el resultado es negativo. Esto se debe a que el sistema está colapsado, por lo tanto, se deberá incluir más servidores para satisfacer la demanda de usuarios. Debe dejarse claro que aumentar servidores aumenta los costos de la empresa, y en este caso en particular sobre transporte hay variables que hace que se den estos resultados; como es el tiempo de ruta de un taxi en horarios pico. Al aumentar el tiempo de viaje por el tráfico, hace que se demore más en ir y volver y poder suplir la demanda de usuarios que hay en la ciudad de Guayaquil. También se puede analizar que el promedio de usuarios en cola (Lq) es de 26,17 y el tiempo de espera en fila (Wp) es de 13,28 minutos; eso indica un número considerable de personas, que hacen que la cola se vea extensa y como se mencionaba en el Marco Conceptual en el subtema Comportamiento de las Llegadas, las personas quieren eludir las colas. las extensas filas hacen que los clientes busquen otras alternativas y lo que se pretende en este artículo es evitar la aglomeración de personas y encontrar un punto de equilibrio.

## Optimizar El Servicio

A continuación, se realiza los respectivos cálculos aumentando los servidores necesarios para encontrar el factor de utilización más cercano al óptimo, reducir la espera y mejore el servicio de transporte de pasajeros al cantón Durán.

Tasa media de llegada de los usuarios  $\lambda = 1,97$  usuarios/minuto

Tasa media de servicio  $\mu = 4/70$  usuarios/minutos

Numero de servidores  $S = 35$

Para encontrar el factor de utilización reemplazamos los datos en la siguiente formula.

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

$\rho = 0,98 < 1$  Se aprecia que con 35 servidores el sistema presenta un factor de utilización dentro de los parámetros válidos para la no saturación de la cola. Los servidores trabajan al 98% y solo habría un 2% de ocio, lo que significa que sería factible aumentar a 35 servidores.

## RESULTADOS POR RANGOS DE HORA

### Rango 1

TABLA 5.  
Resultados del rango de tiempo # 1

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	0,63	Factor de utilización
$P_0$	0.000000009	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	0,02	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	18,92	# de usuarios en el sistema
$W_q$	0,02	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	17,52	Tiempo que un usuario está en el sistema

Se detalla claramente que en el primer rango de horas analizadas hay más demanda de taxis que oferta de pasajeros, como se aprecia el factor de utilización es del 63%, indicando que hay 37% de desocupación en los taxistas, que pueden significar perfectamente costos extras, que bien se podrían evitar con una repartición optima de horarios vs número de servidores.

## Rango 2

TABLA 6.  
Resultados del rango de tiempo # 2

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	0,64	Factor de utilización
$P_0$	$4,12 \times 10^{-9}$	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	0,04	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	19,46	# de usuarios en el sistema
$W_q$	0,03	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	17,53	Tiempo que un usuario está en el sistema

Con respecto al rango anterior hay pocos cambios, el factor de utilización es bajo y poco conveniente para el sistema. Lo demuestra el promedio de usuarios en cola que es muy bajo.

## Rango 3

TABLA 7.  
Resultados del rango de tiempo # 3

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	1,30	Factor de utilización
$P_0$	$4,31 \times 10^{-16}$	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	12,85	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	51,87	# de usuarios en el sistema
$W_q$	5,76	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	23,26	Tiempo que un usuario está en el sistema

En este rango de horas el sistema colapsa (factor de utilización > 1). Como se ha mencionado anteriormente existen horas pico donde se acumulan los usuarios esperando el servicio y el número de servidores están ocupados en su totalidad, los tiempos de espera y las filas aumentan.

#### Rango 4

TABLA 8  
Resultados del rango de tiempo # 4

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	1,24	Factor de utilización
$P_0$	1,23 x 10-15	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	15,11	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	52,56	# de usuarios en el sistema
$W_q$	7,06	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	24,66	Tiempo que un usuario está en el sistema

Como es horario pico el sistema sigue presentando un factor de utilización mayor a 1 y un promedio de 15 personas en fila constantemente, que es lo que se busca evitar, ya que estas filas harían que los usuarios buscaran medios alternativos de transporte.

## Rango 5

**TABLA 9**  
Resultados del rango de tiempo # 5

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	0,91	Factor de utilización
$P_0$	$2,51 \times 10^{-12}$	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	18,04	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	45,51	# de usuarios en el sistema
$W_q$	11,49	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	28,99	Tiempo que un usuario está en el sistema

En este horario el sistema ya funciona en un 91 % aunque con colas que podría deducirse a la acumulación del horario anterior.

## Rango 6

**TABLA 10**  
Resultados del rango de tiempo # 6

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	0,64	Factor de utilización
$P_0$	$4,9 \times 10^{-9}$	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	0,04	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	19,28	# de usuarios en el sistema
$W_q$	0,03	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	17,53	Tiempo que un usuario está en el sistema

Para este horario se percibe que ha bajado el número de llegada de usuarios al sistema, se evidencia en el 64 % del factor de utilización y el promedio de usuarios en cola. Aquí se puede considerar bajar el número de servidores que ayudaría a reducir costos.

Finalmente, al observar la siguiente tabla, se evidencia el último rango de hora en este caso podemos identificar que el sistema solo se usa en un 52 %, esto quiere decir que con solo la mitad de los servidores el sistema puede funcionar, e incluso es posible que sea aplicable desde el anterior rango.

**TABLA 11**  
Resultados del rango de tiempo # 7

Notación	Resultado	Terminología
$\rho$	0,52	Factor de utilización
$P_0$	$1,7 \times 10^{-7}$	Probabilidad que ningún usuario este en el sistema
$L_q$	0,008	# promedio de usuarios esperando en cola
$L_s$	15,58	# de usuarios en el sistema
$W_q$	0,009	Tiempo que una unidad espera en la fila
$W_s$	17,50	Tiempo que un usuario está en el sistema

## Implementación

La simulación nos permite encontrar una distribución que permitiría minimizar el tiempo de espera de los usuarios y así brindar un mejor servicio, aunque la implementación no garantiza resolver en un 100% los problemas. Uno de los puntos más complicados es que los taxistas adopten nuevos horarios y formas de trabajo, ya que estos tienen una cultura rígida a los cambios debido a que tienen mucha libertad en cuanto a los horarios y horas de trabajo. Esto requiere de un trabajo de información y capacitación para demostrar con números que si se obtienen beneficios económicos y de tiempo.

## CONCLUSIONES

Se pudo evidenciar que el sistema actualmente presenta un factor de utilización mayor a 1 que significa que necesita unas modificaciones que mejore el servicio, donde se propone aumentar el número de servidores en horas pico y reducir servidores en horarios donde la tasa de llegada es baja; donde se beneficiaría el usuario con un menor tiempo de espera en cola y por parte de los taxistas utilizar eficientemente su auto, ya que se puede reducir el tiempo de trabajo en horarios de bajo movimiento de pasajeros, evitando una sobreoferta; que por lo general termina en taxistas esperando demasiado tiempo para llenar su cupo.

También se podría pensar en utilizar los servidores en ciertos horarios del día en otra actividad de transporte de pasajeros para evitar pérdidas de tiempo y económicas. Se aplicaría para un determinado número de servidores que estarían sobrando en ciertos horarios

La administración o gerencia de la empresa de taxi debería empezar a pensar en brindar un mejor servicio a los clientes, comenzando desde que el cliente llega al sistema; se propondría que la empresa de taxis tenga una estación física donde los usuarios puedan esperar con comodidades mínimas como no estar expuesto directamente a las inclemencias del clima, asientos, televisor, baños. La comodidad al cliente hace que la espera se sienta más corta y un cliente satisfecho. Aplicar técnicas como lo hacen los parques Disney, “Disney es una de las compañías líderes en el estudio científico de la teoría de colas; analiza los comportamientos de las colas y puede predecir que juegos atraerán a que cantidades de multitud, para mantener contentos a los visitantes”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cevallos-Torres, L., & Botto-Tobar, M. (2019). Monte Carlo simulation method. In *Problem-Based Learning: A Didactic Strategy in the Teaching of System Simulation* (pp. 87-96). Springer, Cham.
- Cevallos-Torres, L., & Botto-Tobar, M. (2019). Case study: Logistical behavior in the use of urban transport using the monte carlo simulation method. In *Problem-Based Learning: A Didactic Strategy in the Teaching of System Simulation* (pp. 97-110). Springer,
- Cevallos-Torres, L., & Botto-Tobar, M. (2019). The system simulation and their learning processes. In *Problem-Based Learning: A Didactic Strategy in the Teaching of System Simulation* (pp. 1-11). Springer, Cham.
- Estrada, R. C., Pin, M. P., Solórzano, A. T., & Cevallos-Torres, L. (2019). Aplicacion de un modelo híbrido de teoria de colas y algoritmo evolutivo para medir la optimizacion en el servicio de atencion al cliente en un local de comidas rápidas. *Ecuadorian Science Journal*, 3(1), 15-22
- García Sabater, J. P. (2020). Gestión de los Tiempos de Espera.
- Mera Dávila, R. D., & Salinas Acosta, W. E. (2018). Aplicación móvil de algoritmos de rutas óptimas y su efecto en el desplazamiento de los conductores de vehículos en la ciudad de Trujillo.
- Miranda, M. (2015). Sistemas de colas con distribuciones de tiempo de servicio derivadas de la distribución exponencial. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 23(37).
- Valencia-Nuñez, E. R., López, H. V. M., & Cevallos-Torres, L. J. (2018, April). Probabilistic Model for Managing the Arrival Times of Pre-Hospital Ambulances Based on their Geographical Location (GIS). In *2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)* (pp. 103-109). IEEE