

# AVANCES EN INVESTIGACION FORMATIVA

## Memorias del I Encuentro de Investigación Formativa, 2010

### Universidad Pontificia Bolivariana



**Escuela de Ingenierías**

**Facultad de Ingeniería Industrial**

**Grupo de Investigación en Sistemas Aplicados en la Industria (GISAI)**

**2010**

## PRÓLOGO

Hablar de la investigación formativa en el entorno académico implica necesariamente hacer un ejercicio de reflexión e interiorización acerca de nuestro quehacer docente en aras de construir los pilares básicos del proceso investigativo desde el aula, es si se quiere, la posibilidad manifiesta del encuentro y desencuentro con el alumno y el docente en un permanente dialogo de saberes acerca de los múltiples objetos de estudio que tanto la realidad como la ciencia y la técnica nos convocan a problematizar desde nuestro claustro académico, es entonces, una imperiosa necesidad de abordar desde las pequeñas dudas hasta los complejos problemas la voluntad inquebrantable de la academia por formar en el hacer y en el pensar para servir a una sociedad ávida de soluciones que nos demanda día a día ingentes esfuerzos por vincularnos estrechamente a sus cotidianidades, es entonces hablar sobre el cómo volvernos y volver al otro y a lo otro con la clara vocación de seguirmos sorprendiendo, extrañando y curioseando en nuestra permanente búsqueda de la verdad histórica que nos convoca hoy y siempre.

Siendo así, la Dirección de la Facultad de Ingeniería industrial a través de su **Grupo de Investigación Sistemas Aplicados en la Industria (GISAI)** de la Universidad Pontificia Bolivariana considerando importante y necesario dar a conocer ante la comunidad académica de nuestra universidad los resultados parciales y finales de los proyectos de aula en el marco del desarrollo de nuestro proceso de investigación formativa que actualmente adelanta la Escuela de Ingenierías y en específico la Facultad de Ingeniería Industrial, han realizado este nuestro **I ENCUENTRO DE INVESTIGACION FORMATIVA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**.

Evento que conto con la participación activa de docentes, investigadores, estudiantes, egresados y comunidad en general para generar un diálogo de saberes donde se permita visualizar el quehacer investigativo desde nuestra aulas, donde tuvo asidero el debate, la sana critica y la confrontación respetuosa y dignificante de las ideas propias del fundamento investigativo y del espíritu crítico y científico de nuestra Universidad.

Colocamos entonces hoy a consideración de los lectores el resultado del trabajo en equipo y las publicaciones derivadas en forma de ponencias que fueron enviadas y presentadas en este **I ENCUENTRO DE INVESTIGACION FORMATIVA EN INGENIERIA INDUSTRIAL**.

**Msc. Javier Darío Fernández Ledesma**

**Director Grupo de Investigación GISAI**

**Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Industrial**

# **SIMULACION DE UN PROBLEMA DE COLAS BASADO EN DATOS SUPUESTOS DEL METRO DE MEDELLIN**

**Andrés Álzate**

**Mónica Ángel**

**Lorena Ramos.**

**Docente: Javier Darío Fernández Ledesma**

**Área: Optimización**

## **RESUMEN**

Las compañías prestadoras de servicio generalmente experimentan largas colas con clientes esperando para ser atendidos. Por lo que es importante tener en cuenta un sistema que permita identificar las variables que se deben manipular para lograr mayor eficiencia en los procesos. En este caso el sistema de colas que se simula es un modelo de espera en la estación del Metro a la hora de comprar los tickets para acceder a este servicio. En ciertas horas, el número de personas que requieren de este sistema de transporte se incrementa, generando mayor número de personas en cola, contando solamente con un sujeto encargado de prestar el servicio.

Al llevar a cabo la simulación de este modelo por medio de Promodel, se pretendía conocer los porcentajes de utilización de las locaciones del modelo (cola de entrada, cola de salida y taquilla), tiempos de atención de cada locación, tiempo promedio de un cliente en la cola y en el sistema, y por último y muy importante, el total de personas no atendidas. El total de personas atendidas al día fue de 862, con un tiempo promedio total en el sistema de 1335.63seg, es decir, 22.26mins, lo que deja ver que se presenta alta congestión, además de que 525 personas no fueron atendidas. Teniendo en cuenta estos datos y la necesidad de mejorar el sistema se llevo a cabo un segundo modelo incrementándose la eficiencia del trabajador de la taquilla, es decir disminuyéndose el tiempo de atención, lo que conllevó a una disminución de el tiempo promedio del cliente en la cola y por supuesto en número de personas en ella, logrando que las ganancias se incrementen proporcionalmente.

## **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día la simulación se ha convertido en una herramienta de gran utilidad en el campo empresariales, en procesos de fabricación para el diseño y toma de decisiones, contribuyendo en la mejora de procesos logísticos en general, como es el caso de la

Gestión de inventarios en un almacén, en el diseño de redes de transporte, en la simulación de los procesos administrativos y de negocio de una empresa o servicios públicos.

Con este trabajo se pretende simular un sistema de colas que se produce en El Metro teniendo solo un punto de servicio. La importancia de este estudio radica en que permite determinar algunas de las posibles variables que están incidiendo en las largas colas, que se forman para comprar los tickets de acceso al Metro, igualmente permitirá generar propuestas en función de solventar esta situación para disminuir las incomodidades causadas a los usuarios y aumentar la eficiencia del servicio.

## MARCO TEÓRICO

Según [1] La simulación se define como una técnica numérica utilizada para representar un proceso o fenómeno mediante otro más simple que permite analizar sus características.

Esta técnica emplea relaciones matemáticas y lógicas que son necesarias para describir el comportamiento y estructura de sistemas complejos del mundo real a través de períodos de tiempo prolongado. Comúnmente, para realizar lo anterior se utilizan programas computacionales, en los que se utilizan estimaciones de las variables del sistema real.

La finalidad de esta técnica no consiste en optimizar, sino que comparar distintos escenarios, modificando el valor de las variables, para así encontrar posibles mejoras que se puedan implementar en el sistema real. Asimismo permite estudiar la sensibilidad del sistema respecto a cada una de las variables que lo definen.

A pesar de que la simulación no está enfocada a la optimización de los procesos, son muchos los beneficios o ventajas que se pueden obtener a través de ésta, como por ejemplo: permite analizar el efecto que pequeños cambios en las variables pueden provocar sobre el rendimiento global del sistema, mediante el análisis del sistema es posible inferir algunas mejoras para el sistema real, y detectar las variables que más influyen sobre él, permite disminuir el riesgo en la toma de decisiones sobre el sistema. Sin embargo, es importante resaltar que una simulación es sólo una representación aproximada de la realidad, por lo cual las soluciones que se obtienen de ésta no son exactas, y existe el riesgo de tomar malas decisiones basadas en simulaciones que no han sido o verificados correctamente.

### Teoría de colas

Según [2] Las colas son un aspecto de la vida moderna que se encuentra continuamente en actividades diarias. En el contador de un supermercado, accediendo a Internet o en un banco, el fenómeno de las colas surge cuando unos recursos compartidos necesitan ser accedidos para dar servicio a un elevado número de trabajos o clientes.

El estudio de las colas es importante porque proporciona tanto una base teórica del tipo de servicio que podemos esperar de un determinado recurso, como la forma en la cual dicho recurso puede ser diseñado para proporcionar un determinado grado de servicio a sus clientes.

- Modelo básico

Un sistema de colas puede dividirse en dos componentes principales:

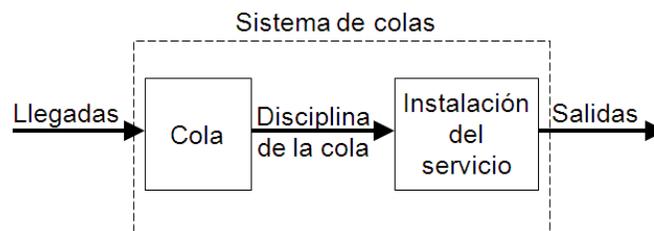
- La cola
- La instalación del servicio

Los clientes o llegadas vienen en forma individual para recibir el servicio

Los clientes o llegadas pueden ser:

- Personas
  - Automóviles
  - Máquinas que requieren reparación
  - Documentos
  - Entre muchos otros tipos de artículos
- Si cuando el cliente llega no hay nadie en la cola, pasa de una vez a recibir el servicio Si no, se une a la cola.
  - Es importante señalar que la cola no incluye a quien está recibiendo el servicio
  - Las llegadas van a la instalación del servicio de acuerdo con la disciplina de la cola.
  - Generalmente ésta es *primero en llegar, primero en ser servido*. Pero puede haber otras reglas o colas con prioridades.

## Sistemas de colas: modelo básico



### Sistemas de colas: Las llegadas

- El tiempo que transcurre entre dos llegadas sucesivas en el sistema de colas se llama tiempo entre llegadas
- El tiempo entre llegadas tiende a ser muy variable
- El número esperado de llegadas por unidad de tiempo se llama tasa media de llegadas ( $\lambda$ )
- El tiempo esperado entre llegadas es  $1/\lambda$
- Por ejemplo, si la tasa media de llegadas es  $\lambda = 20$  clientes por hora
- Entonces el tiempo esperado entre llegadas es  $1/\lambda = 1/20 = 0.05$  horas o 3 minutos
- Además es necesario estimar la distribución de probabilidad de los tiempos entre llegadas
- Generalmente se supone una distribución exponencial

- Esto depende del comportamiento de las llegadas

#### Sistemas de colas: Las llegadas – Distribución exponencial

- La distribución exponencial supone una mayor probabilidad para tiempos entre llegadas pequeños
- En general, se considera que las llegadas son aleatorias
- La última llegada no influye en la probabilidad de llegada de la siguiente

#### Sistemas de colas: Las llegadas - Distribución de Poisson

- Es una distribución discreta empleada con mucha frecuencia para describir el patrón de las llegadas a un sistema de colas
- Para tasas medias de llegadas pequeñas es asimétrica y se hace más simétrica y se aproxima a la binomial para tasas de llegadas altas

#### Sistemas de colas: La cola

- El número de clientes en la cola es el número de clientes que esperan el servicio
- El número de clientes en el sistema es el número de clientes que esperan en la cola más el número de clientes que actualmente reciben el servicio
- La capacidad de la cola es el número máximo de clientes que pueden estar en la cola
- Generalmente se supone que la cola es infinita
- Aunque también la cola puede ser finita
- La disciplina de la cola se refiere al orden en que se seleccionan los miembros de la cola para comenzar el servicio
- La más común es PEPS: primero en llegar, primero en servicio
- Puede darse: selección aleatoria, prioridades, UEPS, entre otras.
- El servicio puede ser brindado por un servidor o por servidores múltiples
- El tiempo de servicio varía de cliente a cliente
- El tiempo esperado de servicio depende de la tasa media de servicio ( $\mu$ )
- El tiempo esperado de servicio equivale a  $1/\mu$
- Por ejemplo, si la tasa media de servicio es de 25 clientes por hora
- Entonces el tiempo esperado de servicio es  $1/\mu = 1/25 = 0.04$  horas, o 2.4 minutos
- Sistemas de colas: El servicio
- Es necesario seleccionar una distribución de probabilidad para los tiempos de servicio
- Hay dos distribuciones que representarían puntos extremos:

- La distribución exponencial ( $\sigma$ =media)
- Tiempos de servicio constantes ( $\sigma=0$ )
- Una distribución intermedia es la distribución Erlang

## ANALISIS Y DISCUSION

### Simulación de un problema de colas.

Se ha planteado un problema de colas en el cual la fila de una taquilla para la compra de tickets para ingresar al Metro de Medellín, se toma como modelo a simular con las siguientes especificaciones:

#### 1. Locaciones y entidades

Se definen tres locaciones: Cola de entrada, taquilla y cola de salida, que representan el recorrido de un cliente a través del sistema.

Se define una entidad: Cliente.

#### 2. Demanda.

Se supone una atención continua de 18 horas, empezando desde las 5am hasta las 11pm. Con volúmenes de demanda distribuidos de la siguiente manera:

Hora	Cantidad	Hora	Cantidad
1	50	10	50
2	200	11	100
3	200	12	100
4	50	13	200
5	50	14	200
6	50	15	50
7	50	16	50
8	100	17	50
9	100	18	50

*Tabla 1. Demanda por hora de llegada a la fila.*

### 3. Distribución de las llegadas a la cola.

En cada hora, las llegadas presentan una distribución diferente :  $e(50)$   $e(100)$  y  $n(200,20)$  Exponencial o Normal, según los volúmenes de demanda.

### 4. Capacidad de la cola.

Pueden presentar hasta 40 clientes en cola.

### 5. Abandono de la cola.

Si un cliente llega a la cola cuando hay en ésta 40 personas, el cliente se retira.

### 6. Costo de oportunidad.

Se estima que el costo de oportunidad por cada cliente que abandona la cola es de \$1600.

### 7. Tiempo de atención.

El tiempo promedio de atención a un cliente en la taquilla es de 0.5mins (30seg) con una distribución normal y desv. estándar de 0.083 mins (5seg).

### 8. Sueldo del trabajador de la taquilla.

20000\$/día. Correspondientes a un trabajador. El modelo presenta un total de 18 hrs de operación por día, las cuales se reparten entre dos trabajadores en taquilla, siendo entonces el horario individual de cada trabajador, 9hrs diarias. Esta consideración de cambio de turno se hace para acercarse a la realidad las actividades dadas en el modelo, pero no se tiene en cuenta en la simulación.

El problema planteado busca conocer los porcentajes de utilización de las locaciones del modelo (cola de entrada, cola de salida y taquilla), tiempos de atención de cada locación, tiempo promedio de un cliente en la cola y en el sistema, y por último y muy importante, el total de personas no atendidas.

Para crear la simulación del problema planteado, se utilizó el *software* Promodel en el cual, luego de la creación del *background* donde se apreciará la simulación, se ingresaron las especificaciones previamente dadas.

Las estadísticas arrojadas por el *software* se muestran a continuación:

#### Locaciones

Name	Avg Time Per Entry (SEC)	Avg Contents	% Utilization
COLAE	1209.69	16.09	40.23
TAQUILLA	29.94	0.40	39.83
COLAS	36.00	0.48	0.00

Tabla 2. Locaciones. Tiempo promedio por entrada y porcentaje de utilización.

En la tabla 2 puede observarse el tiempo promedio por entrada, que dura un cliente en la cola de entrada, la taquilla y la cola de salida, siendo estos de 1209.69seg, 29.94seg, y 36 seg, es decir,

20.16mins, 0.49mins y 0.6mins, respectivamente. El valor del tiempo total en la cola de entrada es significativamente alto, probablemente debido a los altos volúmenes de demanda que están llegando al sistema que hacen demorar el flujo en esta locación.

**Estado de las locaciones.**

Name	Scheduled Time (MIN)	% Empty	% Part Occupied	% Full
COLAE	1080,00	25,67	59,97	14,37
COLAS	1080,00	52,11	47,89	0,00

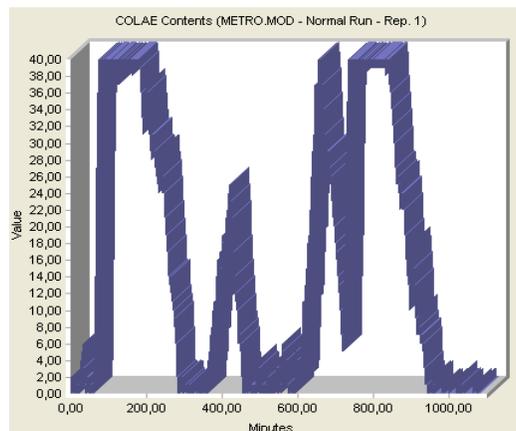
*Tabla 3. Estados de las locaciones cola de entrada y cola de salida. Tiempo total de operación, porcentaje de locación vacía, ocupada y llena.*

El programa arroja el tiempo total trabajado por cada locación el cual es igual a 1080mins, es decir, 18 hrs, tal como se había planteado el problema en su primera parte. Igualmente, se aprecian los porcentajes de ocupación de cada locación, siendo mayor el de la cola de entrada con un 59.97%, lo cual indica un gran congestión en ésta debido posiblemente, a su capacidad y tiempos de atención en taquilla que podrían influir en el movimiento de esta locación, corroborando el bajo porcentaje de 25.67 % de cola vacía.

Name	Scheduled Time (MIN)	% Operation	% Setup	% Idle	% Waiting	% Blocked
TAQUILLA	1080,00	39,83	0,00	60,17	0,00	0,00

*Tabla 4. Estados de las locación salida. Porcentaje de operación.*

La taquilla por su parte, presenta un porcentaje de operación del 39.83%, equivalente a un tiempo ocioso de 60.17%, el cual esta representado por los bajos volúmenes de demanda que se dan en mayor número de horas que en la de alta demanda, tal como se ve en la siguiente gráfica.



*Gráfica 1. Valores clientes en cola de entrada.*

### Clientes atendidos.

Name	Total Exits	Avg Time In System (SEC)	Avg Time Waiting (SEC)
CLIENTE	862,00	1335,63	1133,38

Tabla 5. Clientes atendidos.

El total de personas atendidas al día fue de 862, con un tiempo promedio total en el sistema de 1335.63seg, es decir, 22.26mins. Lo anterior evidencia la congestión, ya mencionada, que se presenta en el sistema en general.

Este total de personas atendidas significa un ingreso total diario de \$1.379.200.

### Llegadas fallidas.

Entity Name	Location Name	Total Failed
CLIENTE	COLAE	525,00

Tabla 6. Llegadas fallidas.

Se puede observar que del total de llegadas, 525 de ellas no fueron atendidas, lo cual significa una pérdida de ingreso evaluado por el costo de oportunidad por cada cliente que abandona la fila. Esto hace que en el modelo planteado y bajo las condiciones dadas, la empresa Metro de Medellín, este dejando de obtener ingresos equivalentes a \$840.000, lo cual resulta de multiplicar el total de personas no atendidas por su costo de oportunidad (525 personas no atendidas \* \$1.6000).

Basándose en esta observación es posible afirmar que la empresa necesitaría incrementar su eficiencia de operación, principalmente en la taquilla para asegurar que se atiendan el número máximo de llegadas y disminuir así el monto de ingresos perdidos.

### Porcentaje de espera y operación del cliente.

Name	% Waiting	% In Operation
CLIENTE	84,86	6,73

Tabla 7. Porcentaje de espera y operación cliente.

Se presenta un porcentaje total de espera de 84.86% el cual es significativamente alto comparado con el porcentaje de operación en cual es sólo de 6.73%, lo cual indica la deficiencia en el servicio que hace que el cliente deba esperar por grandes cantidades de tiempo para ser atendido.

Según lo datos arrojados por el programa, se evidencia la necesidad de mejorar el sistema de la cola del Metro, por lo cual se ha considerado el planteamiento de un nuevo sistema en donde se incrementa la eficiencia del trabajador de taquilla, para asegurar un mayor valor total de personas atendidas y aumento de los ingresos.

Al analizar entonces la situación actual se observa que la empresa obtiene un ingreso total de \$1.379.200, de los cuales deben ser restados los salarios diarios de los dos trabajadores de \$20.000 cada uno con un total de \$40.000 en salarios diarios. Por lo tanto:

Ingreso total:  $(862 \text{ personas atendidas} * \$1600 / \text{ persona atendida}) = \$1.379.200$

Salarios diarios:  $(\$20.000 / \text{trabajador} * 2 \text{ trabajadores}) = \$40.000$

Ganancia<sup>1</sup> =  $\$ 1.379.200 - \$ 40.000 = \$1.339.200.$

Para analizar la conveniencia de contratar a un trabajador con un nivel de eficiencia mayor, se hace la comparación de costos y ganancia arrojado por otro modelo, el cual conserva las mismas locaciones, llegadas y capacidad de la cola, pero varía el tiempo de atención el cual se basa en una Distribucion Normal de media de 15 seg y una desviacion de 3 seg, como se observa es una trabajador mas rápido que tiene un costo de oportunidad de 24.000 pesos una jornada de 9 horas continuas.

Las estadísticas arrojadas por el *software* se muestran a continuación:

### Locaciones.

Name	Avg Time Per Entry (MIN)	Avg Contents	% Utilization
COLAE	13,19	11,64	29,10
TAQUILLA	0,25	0,22	22,05
COLAS	0,60	0,53	0,00

*Tabla 9. Locaciones opcion2*

Como se observa en la Tabla 9 el tiempo promedio del cliente en la cola se ha disminuido con respecto al problema 1 y ha pasado a 13,19 minutos, esto por supuesto conlleva a que en la cola haya menos personas pasando de aproximadamente 16 a 11,64 en promedio y esto a su vez hace que el tiempo ocioso del trabajador aumente ya que el % de utilizacion de la taquilla disminuyó, todo lo anterior es explicado a la mayor rapidez que presenta el trabajador del problema 2.

### Tiempo promedio en el sistema

<sup>1</sup> Se considera como ganancia, la resta entre el ingreso menos el costo. En este caso el costo, representa solamente el de mano de obra, es decir, salarios.

Name	Total Exits	Avg Time In System (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)
CLIENTE	953,00	15,04	12,20

*Tabla 10. Tiempo en el sistema-2*

Como era de esperarse bajo considerablemente, pasando de casi 22 min a tan solo 15, esto hace tambien que se presente menos impaciencia en la cola y que se retiren menos personas como se evidencia en la Tabla 11. Llegadas fallidas-2, en este orden de ideas la capacidad del sistema aumenta y con un trabajador mas rapido se pueden atender 91 personas más, pasando de 862 a 953

METROR.MOD (Normal Run - Rep. 1)		
Entity Name	Location Name	Total Failed
CLIENTE	COLAE	434,00

*Tabla 11. Llegadas fallidas.*

Así para este sistema el total de ingresos esta dado por:  $\$1.600 \times 953 = \$1.524.800$ , menos el salario, que es  $\$24.000 \times 2$  (son dos personas que atienden 9 horas cada uno)  $= \$1.476.800$ , estos ingresos son mayores que los simulados en el primer problema, sin embargo aun se están dejando de atender 434 personas, las cuales representan  $\$694.400$  pesos.

## CONCLUSIONES

- La simulación es una herramienta muy poderosa que permite analizar información fundamental para una organización sin tener que implementar las posibles soluciones de manera previa, esto hace que sea una herramienta competitiva y ayuda a reducir costos.
- Lo más importante a la hora de realizar una buena simulación es tener datos de entrada verídicos y manejar en el modelo la menor cantidad posible de supuestos, ya que de esta manera la información que arroje el análisis tendrá una mayor validez.
- Muchos de los modelos matemáticos para la toma de decisiones, tales como Teoría de colas, manejo de inventarios y toda la Investigación de Operaciones en general son muy complejos de aplicar en la industria sin la ayuda de una herramienta informática, Promodel y otros software solucionan este problema, y este se reduce a la interpretación de resultados.

## REFERENCIAS

BLANCO RIVERO Luis Ernesto. Simulación con Promodel casos de producción y logística, Segunda Edición.

**[https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/IN44A/2/material\\_docente/objeto/176710](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/IN44A/2/material_docente/objeto/176710). Lunes 24 de mayo, 10 AM.**

[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4WfFSECXi\\_QJ:www.auladeeconomia.com/L%C3%ADneas%2520de%2520Espera.ppt+simulacion+de+colas&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=co](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4WfFSECXi_QJ:www.auladeeconomia.com/L%C3%ADneas%2520de%2520Espera.ppt+simulacion+de+colas&cd=3&hl=es&ct=clnk&gl=co). Lunes 24 de mayo, 10 AM.