

Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxis, usando simulación en Simio

L. Fuentes-Rosas¹, A. G. López-Cabrera¹, L. Rojas-Mora¹

Resumen— Se realizó un estudio de simulación a un sitio de taxis que ofrece los servicios de transporte colectivo y especial, con el objetivo de determinar el número de unidades óptimo a utilizar. Para estimar las características del sistema se tomaron datos de las variables independientes: tiempo entre llegadas de los pasajeros y tiempo de viaje redondo a los diferentes destinos. Las bases de datos de las variables fueron tratadas estadísticamente mediante pruebas de bondad de ajuste, encontrando que se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. Para la construcción del modelo de simulación (MS) se utilizó el simulador SIMIO, que ofrece las ventajas de relativa facilidad en su programación y provee una animación en 3D que lo hace sumamente atractivo. Se obtuvo, con un 95% de confianza un modelo representativo del sistema real. Los resultados arrojaron una utilización promedio de las unidades de transporte colectivo del 73%. Por medio de Teoría de líneas de espera se determinó el número de unidades óptimas a emplear, mismas que al correrse nuevamente el modelo arrojaron un porcentaje de utilización del 87%, ofreciendo una mejora del 14% en el indicador.

Palabras claves— Simulación, modelo, simio, líneas de espera.

Abstract— A simulation study was carried out on a taxi site that offers collective and special transport services, to determine the optimal number of units to use. To estimate the characteristics of the system, data were taken from the independent variables: time between passenger arrivals and round-trip time to the different destinations. The databases of the variables were statistically treated using goodness of fit tests, finding that they adjusted to known theoretical distributions. For the construction of the simulation model (SM), the SIMIO simulator was used, which offers the advantages of relative ease in programming and provides a 3D animation that makes it extremely attractive. A representative model of the real system was obtained with 95% confidence. The results showed an average utilization of public transport units of 73%. By means Waiting Lines Theory, the number of optimal units to be used was determined, which when the model was run again yielded a utilization percentage of 87%, offering an improvement of 14% in the indicator.

Keywords— simulation, model, simio, waiting lines.

I. INTRODUCCIÓN

El transporte público colectivo es un eje importante para la

planeación y gestión de las ciudades, se ha consolidado como un servicio que atiende a un gran número de personas, por ello es un tema que requiere de estudio, innovación e intercambio constante de informaciones entre los actores involucrados [1].

Para las ciudades, tanto pequeñas como medianas, el transporte público es una necesidad que se caracteriza por tener bajo costo en su infraestructura y menor consumo de espacio físico, además, asegura una posibilidad real de acceso para todas las personas [2].

Actualmente los desplazamientos urbanos constituyen, para los habitantes de una ciudad, un elemento muy importante en su vida cotidiana, no solo por el tiempo que se pasa en ellos para satisfacer sus necesidades de tener acceso al trabajo, a los comercios, a los entrenamientos, sino que va formando parte de un verdadero derecho al transporte [3].

La simulación es una de las técnicas más ampliamente utilizadas en la investigación de operaciones [4], es una herramienta probada para el análisis de procesos productivos, y consecuentemente un medio de experimentación de las variables involucradas, esto en aras de mejorar el desempeño operacional [5]. Se entiende por simulación el estudio de un sistema o sus partes, a través de la manipulación de su representación, sea esta un modelo matemático o un modelo [6]. La simulación puede ser utilizada en los sistemas de transporte y distribución para apoyar decisiones de ruteo, análisis de desempeño, entre otros aspectos [7].

Para la conducción de un estudio de simulación es necesario la construcción de un modelo el cual se obtiene de las variables dominante (representativas) del sistema o parte del sistema de interés. Las relaciones lógicas y matemáticas que posee un MS permiten describir el comportamiento y estructura de los sistemas [8].

Los modelos de simulación son muy útiles porque permiten realizar cambios en los valores de los parámetros, definir y evaluar medidas de desempeño de los sistemas ante dichos cambios [9], de tal forma que se puedan evaluar las decisiones antes de llevarlas a la práctica.

SIMIO (Simulation Modeling based on Intelligent Objects) es un software de simulación de flujo de procesos por eventos discretos, basado en objetos y procedimientos, que permite

Héroes de Puebla, Col PEMEX, C.P. 95180., Tierra Blanca, Veracruz, México.

Liliana.fuentes@itstb.edu.mx.

¹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, División de Estudios de Ingeniería Industrial, Av. Veracruz s/n, Esq.

representar todo tipo de situaciones de la vida real o del futuro. Está orientado a objetos, ofrece una interfaz gráfica sencilla que hace que el aprendizaje de construcción de sistemas sea fácil y que cualquier persona sea capaz de entenderlo y de controlarlo [10].

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Metodología

La metodología seguida en esta investigación comprendió el estricto apego a los pasos mostrados en la Figura 1:

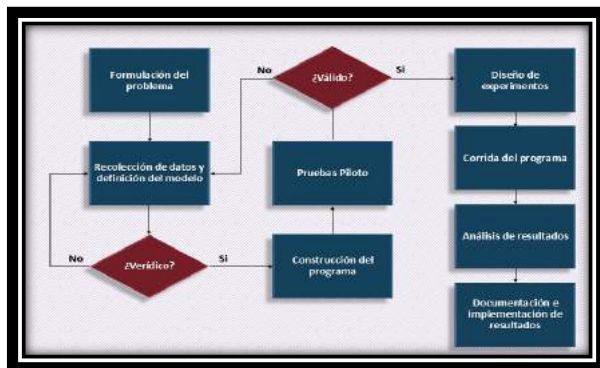


Figura 1. Metodología de simulación (Fuente [11])

B. Formulación del modelo

El primer paso para el desarrollo del modelo de simulación (MS), fue conocer el sistema, el cual corresponde al sitio de taxis “24 de junio” ubicado en la localidad de San Juan Coajomulco, municipio de Jocotitlán, en el Estado de México. El sitio ofrece los servicios de transporte en dos modalidades: colectivo y especial. Cuenta con 10 unidades (taxis), tres de ellas destinadas al servicio especial y siete para el servicio colectivo.

El objetivo del estudio fue construir un modelo de simulación representativo del sistema real para conocer el comportamiento de las medidas de desempeño más representativas y también para realizar análisis de sensibilidad ante cambios en los parámetros.

C. Formulación del modelo

Para la definición del MS fue necesario obtener datos de las variables representativas del sistema, resultando ser estas: tiempo entre llegadas de los pasajeros, porcentajes de pasajeros servicio colectivo, porcentaje de pasajeros servicio especial, destinos más frecuentes (servicio especial), tiempos de recorrido (viaje redondo) a cada destino, costo por viaje por persona en caso de servicio colectivo y costo de viaje especial.

Para la toma de datos se diseñó un formato de recolección, el periodo de recolección fue durante los meses de noviembre 2020 a enero 2021, cubriendo aleatoriamente un horario de 12 horas al día (7:00 a 19:00). Las bases de datos se crearon

en Excel para mejor control y orden; fueron tratadas estadísticamente mediante pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov, Anderson Darling y Chi-cuadrada), utilizando el software Stat::Fit.

Se identificaron ocho destinos más frecuentes en el formato de Servicio Especial: Santa Cruz, San Marcos, La Pera, Atlacomulco, Jocotitlán, San José, San Miguel y Santa María; en cuanto al colectivo el destino final es San Felipe Progreso. En caso de servicio colectivo el taxi se mueve hasta que tiene la capacidad llena (4 pasajeros).

Del tratamiento estadístico de las variables representativas se tuvo como resultado que todas se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. La figura 2, muestra los resultados del tratamiento estadístico a la variable tiempo entre llegadas.

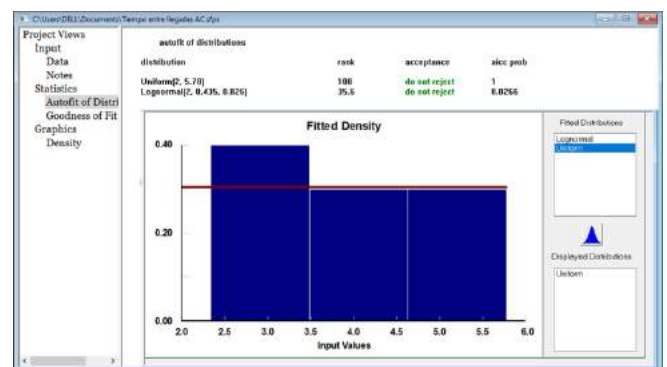


Figura 2. Resultados del tratamiento estadístico de la variable tiempo entre llegadas

El proceso que siguen los pasajeros en el sitio de taxis se muestra en la figura 3.

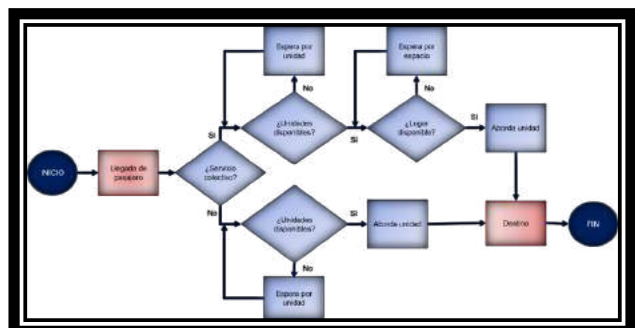


Figura 3. Diagrama de flujo de proceso del Sitio de taxis “4 de junio”

D. Verificación del modelo

Se verificó que el modelo conceptual mostrado en el diagrama de flujo (figura 3) y los tiempos de las variables representarían al sistema de manera correcta.

E. Construcción del modelo

Para la construcción del MS se realizó la traducción del modelo conceptual al lenguaje de programación de SIMIO®. Se definieron elementos tales como: Source, ModelEntities,

Servers, Sinks, Vehicles, TimePaths y BasicNodes. La figura 4 muestra dos vistas en 3D del modelo construido en SIMIO®.

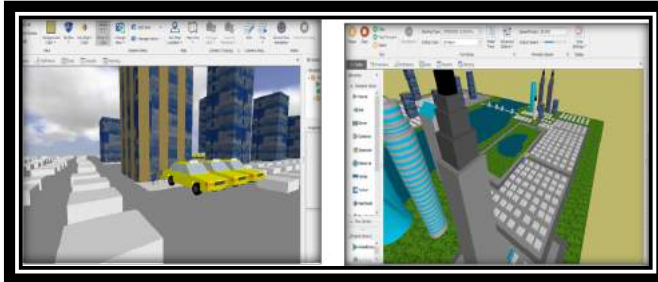


Figura 4. Vistas en 3D del modelo de simulación

F. Pruebas piloto

Se realizaron 10 corridas piloto resultando del análisis de las mismas que el MS representaba adecuadamente al sitio de taxis. Además se obtuvo información para realizar la validación del modelo.

G. Validación del modelo

La validación del modelo es un procedimiento matemático cuya importancia radica en asegurar que los datos que arroja el MS son estadísticamente iguales a los del sistema real [11]. El procedimiento de validación de un MS se hace mediante la prueba t-pareada, que es una prueba de hipótesis que compara una muestra aleatoria del sistema real contra una muestra aleatoria del modelo de simulación. Todas las variables fueron sometidas a validación. La tabla 1 contiene dos muestras de datos, tanto reales como simulados, de la variable tiempo entre llegadas así como los resultados de las operaciones necesarias para el proceso de validación del modelo, donde:

X_i = tiempo promedio entre llegadas de pasajeros al sitio de taxis (minutos) del sistema real

Y_j = tiempo promedio entre llegadas de pasajeros al sitio de taxis (minutos) del modelo de simulación.

TABLA I
MUESTRAS APAREADAS DE LA VARIABLE TIEMPO ENTRE LLEGADAS AL SITIO DE TAXIS

Corridas	DATOS		$Z_j = X_i - Y_j$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
	Reales X_i	Simulados Y_j		
1	2.34	4.63	-2.29	7.145
2	3.45	3.07	0.38	9E-06
3	2.34	2.87	-0.53	0.833
4	4.00	3.07	0.93	0.299
5	4.04	2.97	1.07	0.472
6	5.00	3.98	1.02	0.406
7	3.23	3.46	-0.23	0.376
8	5.34	2.10	3.24	8.162
9	4.43	5.02	-0.59	0.947
10	5.78	4.95	0.83	0.199
		SUMA	3.83	18.840
		PROMEDIO	0.383	

Se definieron las siguientes hipótesis:

- H_0 : No existe una diferencia significativa entre la media del conjunto de datos del sistema real y la media del conjunto de datos del MS
- H_1 : Existe una diferencia significativa entre la media del conjunto de datos del sistema real y la media del conjunto de datos del MS

Se utilizó un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$) y se determinó el intervalo de confianza (ecuación 1):

$$\bar{Z}_{10} \pm t_{n-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(\bar{Z}_n)} = (-0.6519, +1.4179) \quad (1)$$

Dado que el intervalo resultante incluyó al cero, no se puede rechazar la H_0 , concluyendo con un 95% de nivel de confianza que cualquier diferencia observada entre los datos del sistema real y los del modelo de simulación no es estadísticamente significativa y puede deberse a fluctuaciones aleatorias, aceptando que el modelo es válido.

Los resultados de todas las variables derivaron intervalos que incluyen al cero lo que robustece la utilidad y veracidad del modelo.

H. Diseño de experimentos y corrida del modelo

Se determinó el número óptimo de corridas, para ello se tomaron 10 corridas piloto usando un nivel de confianza (1- α) del 95% [12].

La tabla 2 muestra los resultados de los cálculos de la media, varianza y β , datos que son necesarias para el cálculo de número de corridas (diseño de experimentos)

TABLA 2
RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PILOTO

Corridas	Tiempo promedio simulado
1	2.86
2	2.64
3	4.77
4	3.21
5	3.04
6	2.48
7	4.55
8	4.79
9	4.18
10	5.33
Media	3.785
Varianza	1.095983333
B=5%	0.1892

Una expresión aproximada para el número total de replicaciones $n^*(\beta)$ requerido para obtener un error absoluto β es dado por:

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

Donde:

i = Número óptimo de corridas

β = Error absoluto

α = Nivel de significancia

$1-\alpha$ = Nivel de confianza

s^2_n = varianza de las corridas de la variable

t = valor de tablas de la distribución t-student

n = Número de corridas piloto

Es posible determinar $n^*(\beta)$ incrementando i en uno hasta que un valor de i se obtiene para el cual:

$$t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \quad (3)$$

Utilizando la ecuación 3 y los datos de la tabla 2, resultó que el número de replicaciones óptimas es 118, incrementando i , en uno hasta que se cumpla la ecuación 4.

$$i=118 \quad 1.96 \sqrt{\frac{1.0959}{118}} = 0.1888 \leq 0.189 \quad (4)$$

El modelo se corrió 118 veces.

I. Análisis de resultados

Los resultados que arroja el MS, evidencia que el 78% de los pasajeros que llegan a ese sitio demandan el servicio colectivo. En promedio se dieron 149 llegadas (de las cuáles el 40% era 1 pasajero, el 45% 2 pasajeros y el resto 3 o más pasajeros) por periodo simulado (12 horas por día). La utilización promedio de los taxis de servicio especial es del 56%, mientras que para el servicio colectivo es del 73%. El tiempo promedio, en minutos de un viaje colectivo es de 25 minutos (solo viaje de ida).

El porcentaje de utilización de los taxis colectivos da pauta a considerar la opción de probar el cumplimiento del servicios con menos unidades.

III. RESULTADOS

Con base en el análisis de resultados del MS se tuvo evidencia para probar, específicamente en el servicio colectivo, el número mínimo de unidades a utilizar que no afecten el servicio en cuanto a calidad y agilidad pero que incremente el porcentaje de utilización de las unidades.

Para tal objetivo se recurrió a la Teoría de Líneas de espera (también conocida como Teoría de colas). Un sistema de líneas de espera suele definirse como un conjunto que integra clientes, servidores y una disciplina de la cola (orden en que los clientes son atendidos), siendo un proceso de nacimiento y muerte. Se considera nacimiento cuando un cliente ingresa al sistema para recibir el servicio y muerte cuando el cliente sale del sistema una vez recibido el servicio [13].

De la notación Kendall y Lee, se tomó el modelo M/M/S se tiene que:

$$\frac{\lambda}{s\mu} < 1 \quad (3)$$

Para estabilizar el sistema (no explote el sistema), en donde:

λ = tasa media de llegadas

μ = tasa media de servicio

s = número de servidores

Tomando como referencia la fórmula y con los parámetros obtenidos del sistema, se obtuvo que el número óptimo de unidades para la atención del servicio colectivo es de cinco taxis.

El MS fue modificado con solo 5 unidades y al correrse 118 veces arrojó que el porcentaje de utilización promedio de los taxis fue de 87%, lo que representa un incremento del 14%. Esto significa que las unidades pasan más tiempo dando servicio que esperando por clientes.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo, con un 95% de confianza, un modelo de simulación representativo del sistema real en el que se probó la sensibilidad ante el cambio de número de unidades de taxis en el servicio colectivo, y se obtuvo que el MS fue capaz de predecir el comportamiento del sistema, una vez modificados los valores de los parámetros, lo que corrobora el poder de la simulación como técnica líder de investigación operativa.

El simulador SIMIO® ofreció una animación en 3D muy realista, lo que otorga un atractivo interesante, además de contar con una programación amigable, haciendo en conjunto la recomendación amplia sobre su uso.

Se recomienda darle continuidad a la investigación es de tipo transversal (tiempo determinado) y dadas las condiciones impuestas por la pandemia que se vive actualmente pudiera ser que la afluencia de pasajeros pueda incrementarse conforme se vaya superando dicho acontecimiento sanitario.

V. Referencias

- [1] Rojas, F. y Mello, C. (2005). El transporte público colectivo en Curitiba y Bogotá. Brazil, Ingenierías. [en línea]. 21, pp. 106-115. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n21/n21a11.pdf>
- [2] Delfin, O. y Melo, A. (2016). Eficiencia del transporte público en la ciudad de Michoacán (México) en el año 2015: un análisis de la envolvente de datos. Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión [en línea]. 25(2), pp. 7-23. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfce/article/view/3066/2601>
- [3] Molinero, M. y Sánchez A. (1998). Transporte público: planeación, diseño, operación y administración. 3. Ed. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- [4] Law, A.M. y Kelton, W.D. (2000). Simulation Modeling & Analysis. Ed. USA: McGraw-Hill.
- [5] Cantú, J.R.; Guardado, M.C. y Balderas, J.R. Luis (2016). Simulación de procesos, una perspectiva en pro del desempeño operacional. Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa, 4, pp. 1-21. Disponible en: <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/567/604>
- [6] Himmelblau, D.M. y Bischoff, K. B. (1992). Análisis y simulación de procesos. Ed. México: Reverté.

- [7] Gómez, R. y Correa, A. (2011). Análisis de transporte y distribución de materiales de construcción utilizando simulación discreta en 3D. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 30, pp. 39-51. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/29292>
- [8] Bú, R.C. (2003). *Simulación: un enfoque práctico*. Ed. México: Limusa.
- [9] Treviño, J.E. y Serrano, L.A. (2006). Simulación de sistemas de transporte público masivo. *Ingeniería e Investigación*, 26(1), pp. 51-57. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v26n1/v26n1a07.pdf>
- [10] Narella, B. (Octubre de 2017). Modelos innovadores de simulación de eventos discretos para la mejora de procesos. XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral. Congreso llevado a cabo en Santa Fé, Argentina.
- [11] Fuentes, L.; López, A.G.; Tobón, L.G. y Moras, C.G. (2019). Análisis de la red logística de un crucero vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa decolocar un semáforo. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo*, 1(5), pp. 1-6. Disponible en: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID016.pdf>
- [12] Chung, C.A. (2004). *Simulation Modeling Handbook a Practical Approach*. Ed. Washington D.C.:CRC PRES.
- [13] Izar, J. M. (2008). *Investigación de Operaciones*. Ed. México: Trillas.

VI. BIOGRAFÍA



Fuentes Rosas, Liliana. Es doctoranda en Ciencias de la Administración en la Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México. Maestra en Ciencias en Ingeniería Administrativa y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial y en la División de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada y productividad humana.

La Maestra Fuentes pertenece al Colegio Nacional de Ingenieros Industriales (CONAI), a la Sociedad de Ergonomistas de México A.C. (SEMAM) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y líder del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



López Cabrera, Anibal Gaudencio. Es Maestro de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. Licenciado en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada e Inteligencia Artificial.

El Maestro López pertenece a la Sociedad de Ergonomistas de México A.C. (SEMAM) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y colaborador del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



Rojas Mora, Lot. Es Doctor en Administración y Desarrollo Empresarial por el Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestro en Electrónica por la Universidad del Centro de Veracruz y Licenciado en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Estudios de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: Administración de personal, redes logísticas y matemáticas aplicadas.

El Doctor Rojas pertenece a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y líder del Cuerpo Académico Ingeniería Aplicada en Procesos Productivos.