

CÓMO CITAR / HOW TO CITE:

Compañ Sarmiento, R.,
Sanchez Dominguez, X.,
Cruz Hernandez, N.,
Santiago Hernandez, M.,
Santiago Avalo, M., & Tinoco
Alcaraz, M. J. (2026).
Diagnóstico de la eficiencia
semafórica: Un enfoque
basado en líneas de espera.
Interconectando Saberes,
11(21), 115-124.
<https://doi.org/10.25009/is.v11i21.2985>

RECIBIDO:
2 de junio de 2025

ACEPTADO:
29 de junio de 2026

PUBLICADO:
13 de julio de 2026

LICENCIA



Esta obra está bajo una
licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
[Reconocimiento-](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
[NoComercial-](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
[SinObraDerivada 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
[Internacional \(CC BY-NC-](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
[ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Diagnóstico de la eficiencia semafórica: Un enfoque basado en líneas de espera

Rodrigo Compañ Sarmiento
 <https://orcid.org/0009-0005-8668-4195>
Instituto Tecnológico de Tuxtepec,
México
rodrigo.cs@tuxtepec.tecnm.mx

Milagros Santiago Hernandez
Instituto Tecnológico de Tuxtepec,
México
milagrossantiago@gmail.com

Ximena Sanchez Dominguez
Instituto Tecnológico de Tuxtepec,
México
xiimenasanchezdominguez@gmail.com

Manuel Santiago Avalo
Instituto Tecnológico de Tuxtepec,
México
manuelsantiagoavalo@gmail.com

Neftali Cruz Hernandez
Instituto Tecnológico de Tuxtepec,
México
ncruz260804@gmail.com

Maria José Tinoco Alcaraz
Instituto Tecnológico de Tuxtepec,
México
maria.jose.tinoco.alcaraz@gmail.com

Resumen

En la presente investigación se realizó un estudio sobre la sincronización de los semáforos ubicados en el bulevar Benito Juárez, en la ciudad de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. Se tomo una muestra de 385 ciclos por cada semáforo en el cruce, donde se contabilizaron los autos que lograban pasar el semáforo en luz verde y los que se quedaban esperando en el rojo. Los datos revelaron que el semáforo número 3 es el de mayor afluencia vehicular, mientras que el semáforo 1 es el que de menor congestión vehicular. Sincronizar eficientemente los semáforos y la aplicación de estos modelos puede ayudar a optimizar los tiempos de espera, generando una mejora en la circulación.

Palabras clave: Sincronización Semafórica, Líneas de Espera, Movilidad Urbana, Congestión Vehicular, Optimización.

Abstract

This study examined the synchronization of traffic lights located on Benito Juárez Boulevard in the city of San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca. A sample of 385 cycles was taken for each traffic light at the intersection, and the number of cars that made it through the green light and those that waited at the red light were counted. The data revealed that traffic light 3 has the highest traffic flow, while traffic light 1 has the lowest traffic congestion. Efficient traffic light synchronization and the application of these models can help optimize wait times, resulting in improved traffic flow.

Keywords: Traffic Light Synchronization, Waiting Lines, Urban Mobility, Traffic Congestion, Optimization.

INTRODUCCIÓN

El mundo es cada vez más dinámico, el crecimiento poblacional genera necesidades de movilidad cada día más complejas. Esto plantea grandes desafíos para quienes diseñan los sistemas de movilidad urbana.

En 2020, según información de INEGI (2021) fueron reportados 301,678 accidentes de tránsito en México. El 81.3% solo fueron daños materiales; un 17.6% con víctimas con heridas, 3,427 accidentes con al menos una persona fallecida, lo que representa 1.1%. El total de víctimas en accidentes de tránsito suscitados en zonas urbanas fue de 75,761 personas

Para el 2021, según INEGI (2022), se registraron 340,415 accidentes de tránsito en zonas urbanas, esto a nivel nacional. 3,849 de estos resultaron en por lo menos una persona fallecida y 60,584 en al menos una lesionada.

De igual forma, según datos de INEGI (2024) en el estado de Oaxaca algunos de los municipios con más accidentes registrados fueron: Oaxaca de Juárez con 1,598 accidentes, Heroica Ciudad de Huajuapán de León con 204 accidentes, San Antonio de la Cal con 206 accidentes, San Juan Bautista Tuxtepec con 120 accidentes, San Sebastián Tutla con 121 accidentes.

La desincronización de semáforos potencialmente puede generar congestión vehicular, y mayor contaminación al no ajustarse al flujo real de autos y peatones. Esto prolonga los tiempos de espera, arriesga a los transeúntes y afecta la movilidad, además de incrementar el consumo de combustible.

En la actualidad, los mayores problemas de congestión en las redes viales urbanas se producen en las intersecciones semaforizadas, debido principalmente al aumento vertiginoso del parque vehicular, sobre todo

en el último siglo. (Hernández Menéndez, O., & Alba Menéndez, M. L., 2020)

De acuerdo con diversas fuentes (Pulido Rojano, A. V., Verdeza-Villalobos, A., Martínez-Jiménez, B., Pérez-De-Ávila, K., Castellanos-Benítez, D., Sarmientopérez-Polo, J., & Pulido-Rojano, P., 2022) (Portilla, L. M., Arias Montoya, L., & Fernández Henao, S. A., 2010) (T Molina Tapia, J. I., 2018) (Carro, 2012) (Dudin, A., Klimenok, V., & Vishnevsky, V., 2020) (Elbaum, Y., Novoselsky, A., & Kagan, E., 2022) (Burbano Pantoja, V. M., Valdivieso Miranda, M. A., & Burbano Valdivieso, Á. S. 2018) la teoría de colas es un conjunto de modelos matemáticos que describen sistemas de líneas de espera particulares, donde los clientes esperan en una fila para recibir un servicio bajo ciertos criterios de selección. Este fenómeno es uno de los más observados en la vida cotidiana y afecta significativamente a la sociedad y a diversos procesos, como la espera para recibir un servicio, el proceso de manufactura en una línea de ensamble, o incluso situaciones cotidianas como hacer la compra, comprar gasolina, realizar un depósito bancario o esperar en el teléfono a que responda un recepcionista.

El objetivo de la teoría de colas es alcanzar la estabilidad del sistema, así como determinar una capacidad de servicio adecuada que equilibre los factores cuantitativos, como los costos del sistema, y los factores cualitativos, como la satisfacción del cliente por el servicio. Además, las colas pueden adoptar diversas formas, no solo de personas esperando, sino también de máquinas que esperan a ser reparadas, camiones en fila para ser descargados o aviones alineados en una pista esperando permiso para despegar. Los tres componentes básicos de un proceso de colas son las llegadas, las instalaciones de servicio y la cola de espera

propiamente dicha. La teoría de colas es una de las técnicas de análisis cuantitativo más antiguas y utilizadas, lo que refleja su importancia en la gestión eficiente de sistemas complejos.

Tal como lo dice (Salcedo, O., Pedraza, L. F., & Hernández, C. A., 2006) el control de tráfico inteligente se convertirá en una herramienta muy importante en el futuro, para controlar la congestión vehicular y beneficiar así, la calidad de vida de las personas, el medio ambiente y la economía de la ciudad. En base a (Loiseau, I., 2007) (Fonseca Guilarte, O., Pujol Fariña, G. S., Allende Alonso, S., & Bouza Allende, G., 2014), la coordinación y planificación de semáforos son fundamentales para optimizar el flujo de tráfico en intersecciones, especialmente cuando no es factible construir nuevas vías rápidas o autopistas. Esto implica determinar cuidadosamente la duración del ciclo completo del semáforo y la duración del tiempo verde para cada dirección en las calles involucradas. Además, debido a la complejidad de las intersecciones semaforizadas y la importancia de estimar las demoras, se han realizado esfuerzos significativos en todo el mundo para desarrollar métodos precisos y realistas para predecir y gestionar las demoras en estas áreas, lo que puede ser crucial para mejorar la eficiencia del tráfico urbano.

La justificación de este tema elegido radica en que la ciudad de Tuxtepec enfrenta desafíos significativos en términos de movilidad urbana debido al crecimiento poblacional y al aumento del parque vehicular. Actualmente, Tuxtepec carece de un sistema de semáforos coordinado y eficiente, lo que resulta en congestiones frecuentes y tiempos de espera prolongados. Esto no solo afecta la productividad y la salud y bienestar de los ciudadanos, sino que también

contribuye a un aumento en la contaminación ambiental, principalmente a las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas por la quema del combustible, debido al mayor tiempo que los vehículos pasan en marcha. Resaltando que el transporte vehicular es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica en México. (Muñoz Pérez, S. P., Cabanillas Gálvez, P. L., Ydrogo Pérez, C. R., & Vigo Zumaeta, F. E., 2021) (Mendoza Becerril, O., 2022) (Solís Fonseca, J. P., Salazar Bravo, L. C., Romero Carrión, V. L., & Solís Salazar, A. D. L. Ángeles C., 2022) (Muñoz Pérez, S., Salcedo Reátegui, J., & Sotomayor Mendoza, A., 2021)

El objetivo general de este estudio es diagnosticar la movilidad urbana mediante el análisis de la infraestructura semaforica, para garantizar condiciones seguras accesibles para todos los usuarios de la vía.

En base a lo mostrado anteriormente surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de la optimización del flujo del semáforo aplicando los modelos de línea de espera, basado en un cruce en una de las principales vías de la ciudad de Tuxtepec?

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un alcance exploratorio y un diseño no experimental de corte transversal. En donde se utilizan modelos de teorías de colas para entender y mejorar los tiempos de espera en un sistema de atención. En este caso, se analiza la carga del flujo vehicular en el cruce del bulevar Benito Juárez, en la ciudad de Tuxtepec. Para ello, se implementará un diseño que incluirá la recolección de datos en un entorno real y la simulación de distintos ajustes del sistema de colas para evaluar su influencia en la eficacia del servicio.

La población objetivo corresponde a los vehículos que transitan en el bulevar Benito Juárez. La muestra se obtuvo observando los ciclos de semáforo en diferentes días y horarios de la semana. Se aplicó la fórmula de población infinita, cuyo tamaño es 385.

$$n = \frac{z^2 p(1-p)}{E^2}$$

Donde:

E= porcentaje de error (5%)

z = valor de z, de acuerdo al nivel de confianza, en este caso 95%, por lo que el valor de Z equivale a 1.96.

p = proporción que se está estimando (como no se conoce la proporción poblacional se utiliza 0.5)

n = tamaño de la muestra

Se contempló como **p** a la proporción de vehículos que pasan en luz verde y como **(1-p)** a la proporción que se detiene.

Sustitución

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2} = 384.16$$

$\cong 385$ observaciones

Esto indica que se deben tomar 385 observaciones en cada uno de los carriles del bulevar.

Criterios de inclusión:

- **Vehículos que circulan por el Bulevar Benito Juárez:** Todos los vehículos que transitan por esta vía durante los horarios de observación.
- **Observaciones realizadas en diferentes horarios y días de la semana:** Para capturar variaciones en el flujo vehicular.

- **Vehículos que interactúan con semáforos o intersecciones:** Para analizar el impacto de estos elementos en el flujo de tráfico.

Criterios de exclusión:

- **Vehículos fijos:** Vehículos estacionados o en espera prolongada dentro del área de estudio.
- **Casos de tráfico interrumpido:** Días con eventos que alteran significativamente el flujo normal de tráfico, como manifestaciones o condiciones climáticas adversas.

Se realizó un estudio observacional, registrando los tiempos de llegada, tiempos de espera y tiempos de paso de los vehículos en diferentes horarios, días y condiciones del tráfico. Este proceso se realizó en dos fases:

Fase 1: Observación del Sistema Actual

- **Registro de Datos:** Se observó el flujo vehicular actual sin modificaciones, registrando los tiempos de espera en las intersecciones, el número de vehículos que pasan por el cruce por ciclo semafórico, y las cantidades durante diferentes horarios del día.

Fase 2: Simulación de Escenarios Alternativos

- **Aplicación de Modelos de Colas:** Se aplica un modelo de colas para simular escenarios alternativos de sincronización de semáforos y evaluar mejoras en los tiempos de espera y el flujo vehicular.
- **Análisis de Resultados:** Se compararon los resultados de los escenarios simulados con los datos observados en la Fase 1 para identificar posibles mejoras en la eficiencia del tráfico.

Se asegura que la recolección de datos no infrinja la privacidad de los conductores o peatones. También se garantizará que el proceso de recolección de datos no compromete la seguridad de los conductores, peatones o investigadores. De igual manera cumplir con todas las

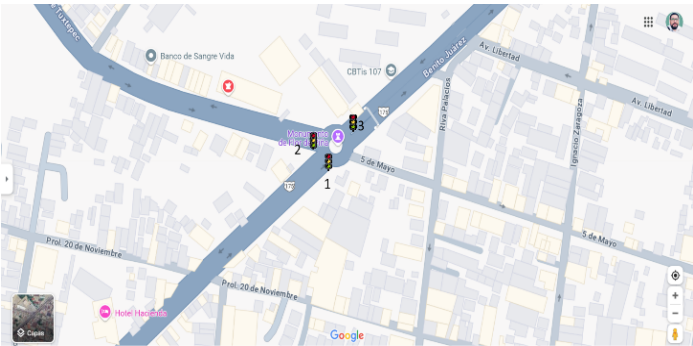
leyes y regulaciones locales sobre la recolección de datos y el uso de instrumentos en vías públicas.

RESULTADOS

Se llevó a cabo la recolección de datos sobre el flujo vehicular en el cruce de la glorieta “Flor de piña” de San Juan Bautista Tuxtepec, el crucero de mayor afluencia, con el objetivo de analizar el comportamiento vehicular durante los ciclos de semáforo. Ver figura 1

Figura 1

Crucero flor de piña.



Nota: Obtenido desde Google Maps 2025.

El resumen de las observaciones se muestra en la tabla 1. L1 indica las llegadas en el semáforo 1, S1 la tasa de servicio, así para cada semáforo respectivamente. La figura 2 muestra gráficamente los resultados.

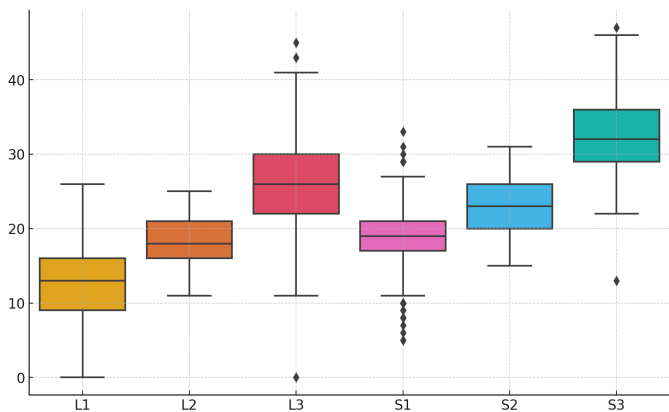
Tabla 1

Resumen de observaciones.

	Percentiles						
	Media	DE	Mínimo	Máximo	25th	50th	75th
L1	13.05	5.21	0	26	9	13	16
L2	18.21	3.47	11	25	16	18	21
L3	26.22	5.48	0	45	22	26	30
S1	18.76	4.5	5	33	17	19	21
S2	22.9	4.05	15	31	20	23	26
S3	32.15	4.61	13	47	29	32	36

Figura 2

Diagrama de caja de llegadas y salidas.



Para la evaluación del rendimiento del sistema de tránsito en el cruce vial objeto de estudio, se empleó la teoría de colas mediante la aplicación del modelo M/M/S, donde S = 3.

De acuerdo con la notación de Kendall, un modelo M/M/S se define analíticamente bajo los siguientes supuestos:

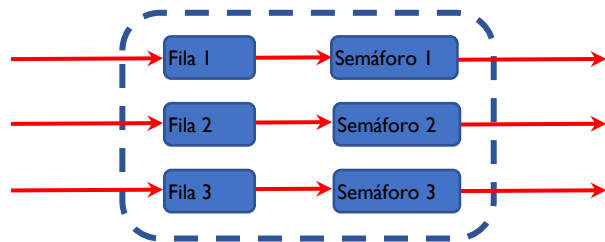
- Proceso de llegada (M): Las llegadas de los vehículos al cruce ocurren de forma aleatoria e independiente, modeladas mediante un proceso de Poisson con una tasa media de llegada λ .
- Proceso de servicio (M): Los tiempos de servicio (el tiempo que tarda un vehículo en cruzar o desfogar la intersección una vez que se activa la fase verde) se distribuyen de manera exponencial con una tasa media de servicio μ .
- Número de servidores (S): El parámetro S representa la cantidad de canales de servicio paralelos que atienden de forma simultánea a una única fila o flujo de demanda.

La selección y aplicación de este modelo específico se justifica debido a la configuración operativa de las vías analizadas. El cruce cuenta con tres vías de circulación concurrentes y tres semáforos que operan de manera simultánea. Bajo este enfoque, el flujo vehicular que arriba a la intersección experimenta un proceso de atención paralelo distribuido entre los tres canales

disponibles ($S=3$). A partir de las variables promedio recopiladas en campo, se procedió al cálculo de las medidas de desempeño del sistema, la estructura operativa se ilustra en el Figura 3.

Figura 3

Modelo MMS del cruceo.



A partir de los datos recopilados en campo y procesados mediante el software POM-QM utilizando un modelo de colas M/M/S, se evaluó la eficiencia operativa de la intersección vial. Los resultados muestran que el sistema opera bajo condiciones de alta fluidez, dado que la tasa global de servicio del cruce supera holgadamente a la demanda o tasa de llegada. Las medidas de desempeño se observan en la tabla 2.

- Factor de utilización e intensidad de tráfico $\rho=0.26$: La probabilidad de ocupación o uso promedio de los tres servidores es del 26%. Esto indica que, a lo largo del periodo evaluado, las tres vías y sus respectivos semáforos permanecen inactivos o libres de demanda el 74% del tiempo. Desde la perspectiva de la ingeniería de tránsito, este valor demuestra que el cruce posee una holgada reserva de capacidad operativa para absorber incrementos futuros en el flujo vehicular.
- Longitud de las filas de espera (L_q y L): El número promedio de vehículos esperando físicamente en la cola (L_q) es de apenas 0.02 unidades. Asimismo, el número promedio de vehículos presentes simultáneamente dentro de todo el sistema (L) que contempla tanto a los que esperan en la luz roja como a los que están cruzando en la fase verde asciende a 0.80 unidades. Estos valores confirman que la configuración actual previene de

manera efectiva la acumulación de vehículos y la formación de filas largas permanentes.

- Tiempos de demora en el cruce (W_q y W): Un vehículo que arriba a la intersección experimenta un tiempo promedio de espera en cola (W_q) de tan solo 3.20 segundos (0.05 minutos). No obstante, el tiempo total promedio que una unidad permanece en el sistema (W), medido desde su llegada hasta que desfogar completamente la intersección, es de 149.54 segundos.

Tabla 2

Medidas de desempeño del sistema

Parámetro / Medida de Desempeño	Símbolo	Valor	Minutos	Segundos
Tasa media de llegada (vehículos/hora)	λ	19.16	—	—
Tasa media de servicio por semáforo (vehículos/hora)	μ	24.6	—	—
Número de servidores (vías/semáforos)	S	3	—	—
Utilización promedio del servidor (intensidad de tráfico)	ρ	0.26	—	—
Número promedio de vehículos en cola	L_q	0.02	—	—
Número promedio de vehículos en el sistema	L	0.8	—	—
Tiempo promedio de espera en cola	W_q	9	0.05	3.2
Tiempo promedio total en el sistema	W	415	2.49	149.54

Sin embargo, con el fin de observar el comportamiento del sistema en más ciclos de semáforo y considerando los horarios pico, se aplicó la simulación Monte Carlo. Según (Villa, 2018) la simulación Monte Carlo es un método matemático que permite resolver problemas mediante simulación de variables aleatorias, como también duplicar características y comportamiento de un sistema real.

El análisis de capacidad las vías se realizaron aplicando el método de estimación aplicado por Compañ et al. (2024). Los datos de la capacidad de las vías se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Capacidad de las vías.

Vía	Longitud	Carriles	Capacidad
1	167m	3	62 vehículos
2	251m	3	94 vehículos
3	150m	3	56 vehículos

Se simularon 1000 ciclos de semáforo, equivalentes a 99 horas y 26 minutos con 24 segundos. Utilizando tasas de llegada y servicio promedio, se observa en la figura 4 que ninguna de las tres vías se satura. Sin embargo, considerando horas pico se simularon otros 1000 ciclos, obteniendo el resultado que se muestra en la figura 5. Donde se aprecia que la vía 3 tiende a saturarse.

Figura 4

Simulación con tasas promedio.

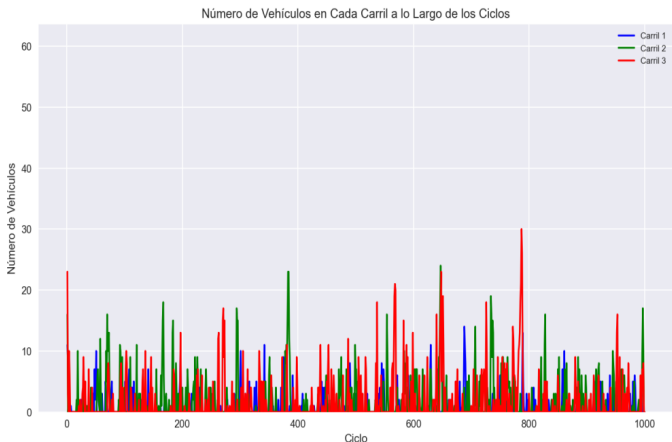
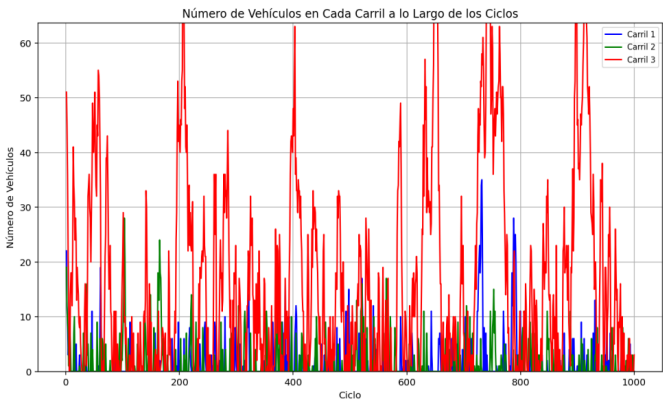


Figura 5

Simulación con tasas máximas.



Hallazgos relevantes de la recolección de datos

- El **Semáforo 3** presenta la mayor cantidad promedio de vehículos en espera, pero también logra mover más vehículos.
- El **Semáforo 1** presenta menos congestión, con una menor cantidad de vehículos en espera.
- El **Semáforo 2** mantiene un equilibrio aceptable entre espera y paso.

Índice de saturación

Se define como:

$$indice\ de\ saturacion = \frac{vehiculos\ en\ espera}{vehiculos\ que\ pasan}$$

Los resultados de este índice se pueden observar en la tabla 4. Entre más cerca de 1, más saturado está el flujo

Tabla 4

Índice de saturación.

Semáforo 1	0.695
Semáforo 2	0.795
Semáforo 3	0.816

La figura 6 muestra capturas del cruce durante la recolección de datos.

Figura 6*Recolección de datos.***CONCLUSIONES**

El análisis realizado sobre la movilidad en el cruce del bulevar Benito Juárez en Tuxtepec, utilizando modelos de líneas de espera, permite sintetizar varios hallazgos clave derivados de los resultados obtenidos.

De acuerdo con Hernández Menéndez, O., & Alba Menéndez, M. L (2020), los mayores problemas de congestión en las redes viales urbanas ocurren en las intersecciones semaforizadas debido al incremento exponencial del parque vehicular; esta problemática se confirma empíricamente en el estudio, donde el registro de los 385 ciclos evidenció que en horas pico existe una alta acumulación de automóviles, de manera más crítica en el semáforo número 3. Por otro lado, los datos recopilados contrastan positivamente y validan lo

planteado por autores como Pulido Rojano (2022), quienes señalan que la aplicación matemática de la teoría de colas permite encontrar un estado estable en los sistemas de líneas de espera.

Según el enfoque teórico de Elbaum, Y., Novoselsky, A., & Kagan, E. (2022) muestra que la aplicación de un modelo de colas de tasas dependientes del estado puede prevenir atascos en una intersección al ajustar dinámicamente los tiempos de servicio. Enfatiza el principio de que la programación adaptativa de semáforos estabiliza el sistema cuando las tasas de llegada cambian. Este hallazgo respalda conceptualmente la simulación del presente estudio, donde el sistema es estable con llegadas constantes, pero se observa saturación al aumentar el flujo.

La simulación de escenarios alternativos en el estudio revela que, tras 99 horas de simulación, la vía 3 comienza a saturarse bajo tasas altas. Este resultado es consistente con Florentino, Y. I. A., & Gismondi (2024), quienes mediante 15,000 simulaciones con un semáforo inteligente basado en velocidad/densidad alcanzaron a reducir el ciclo en 18.3 %. Dicho aumento de frecuencia evidenció tiempos de espera menores. De manera análoga, se sugiere un ajuste automatizado de fases en tiempo real utilizando sensores o algoritmos heurísticos para aliviar la congestión vial.

En conclusión, el análisis del flujo vehicular en el bulevar Benito Juárez demuestra que la aplicación matemática de la teoría de colas es una herramienta altamente viable para mitigar la desincronización vial y optimizar los tiempos de espera. Esta investigación fundamenta las bases para la transición hacia un sistema de control de tráfico inteligente.

En una futura entrega se implementará el uso de drones y visión computacional para analizar el flujo vehicular mediante algoritmos de inteligencia artificial, y así optimizar los tiempos, reducir los retrasos vehiculares observados y mitigar los efectos colaterales de la desincronización vial. Esta evolución tecnológica permitirá modelar con mayor precisión el comportamiento de las llegadas y las colas en tiempo real, facilitando la coordinación dinámica de los semáforos y consolidando una infraestructura de transporte más ágil, sostenible y eficiente para la ciudad.

REFERENCIAS

- Apestequi Florentino, Y. I., & Caselli Gismondi, H. E. (2024). Sistema inteligente de gestión de semáforos en tiempo real. *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (54), 69–87. <https://doi.org/10.17013/risti.54.69-87>
- Burbano Pantoja, V. M., Valdivieso Miranda, M. A., & Burbano Valdivieso, Á. S. (2018). *Aplicaciones de la teoría de colas y líneas de espera en contextos específicos de investigación* (1.ª ed.). Editorial UPTC. <https://doi.org/10.19053/9789586602969>
- Carro Paz, R., & González, D. G. (2012). *Modelos de líneas de espera*. https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1622/1/17_mo_delos_lineas_espera.pdf
- Compañ Sarmiento, R., Rodríguez Campechano, J., Lorenzo Gamboa, V. de J., Cantero García, N. S., & Bichi Delgado, E. (2024). Hacia una movilidad urbana más eficiente: Análisis semafórico modelado con líneas de espera. *Interconectando Saberes*, (18), 15–24. <https://doi.org/10.25009/is.v0i18.2887>
- Dudin, A., Klimenok, V., & Vishnevsky, V. (2020). *The theory of queuing systems with correlated flows*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32072-0>
- Elbaum, Y., Novoselsky, A., & Kagan, E. (2022). A queueing model for traffic flow control in the road intersection. *Mathematics*, 10(21). <https://doi.org/10.3390/math10213997>
- Fonseca Guilarte, O., Pujol Fariña, G. S., Allende Alonso, S., & Bouza Allende, G. (2014). Una herramienta para simular y analizar el flujo de tráfico en un cruce regulado por semáforos con tiempos de ciclos variables. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 8(Especial UCIENCIA 2014), 29–40.
- Hernández Menéndez, O., & Alba Menéndez, M. L. (2020). Análisis de sincronización de semáforos utilizando el programa Synchro. *Infraestructura Vial*, 22(39), 1–11. <https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.40953>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2021, 22 de noviembre). *Presenta INEGI la georreferenciación en zonas urbanas*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/accidentes/ACCIDENTES_2021.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2022, 17 de noviembre). *Estadísticas a propósito del Día Mundial en Recuerdo de las Víctimas de Accidentes de Tránsito*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2022/EAP_VICACCT22.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2023, 4 de diciembre). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas por municipio según tipo de accidente*. https://www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/Oax/2024/22/22_8
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2024, 22 de agosto). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas por municipio según tipo de accidente*. https://www.inegi.org.mx/app/cuadroentidad/Oax/2024/22/22_8
- Loiseau, I. (2007). *Optimización en sistemas de control de semáforos: Verde, amarillo, rojo*. Encrucijadas, (42). https://repositoriouba.sisbi.uba.ar/gsd/collect/encruci/index/assoc/HWA_338.dir/338.PDF
- Mendoza Becerril, O. (2022). La contaminación vehicular en México y la transición a vehículos de emisiones cero. *Hechos y Derechos*, (68). <https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/hechos-y-derechos/article/view/16746/17321>
- Molina Tapia, J. I. (2018). *Simulación del sistema de líneas de espera del Centro de Rehabilitación y Educación Especial (CREE) de Baja California Sur para mejorar su eficiencia* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Baja California Sur. <https://biblio.uabcs.mx/tesis/te4123.pdf>

- Muñoz Pérez, S. P., Cabanillas Gálvez, P. L., Ydrogo Pérez, C. R., & Vigo Zumaeta, F. E. (2021). Relación entre el parque automotor y su impacto ambiental en América. *Ingeniería*, 25(2).
- Muñoz Pérez, S., Salcedo Reátegui, J., & Sotomayor Mendoza, A. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: Revisión de literatura. *Revista inventum*, 16(30), 20–30.
<https://portal.amelica.org/ameli/journal/671/6713690008/html/>
- Portilla, L. M., Arias Montoya, L., & Fernández Henao, S. A. (2010). Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación. *Scientia et Technica*, XVII(46), 56–61.
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84920977012.pdf>
- Pulido Rojano, A. V., Verdeza-Villalobos, A., Martínez-Jiménez, B., Pérez-De-Ávila, K., Castellanos-Benítez, D., Sarmientopérez-Polo, J., & Pulido-Rojano, P. (2022). A discrete-event simulation model for the analysis of a waiting line system in port services: A case study. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. 30(1), 145–156.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052022000100145>
- Salcedo, O., Pedraza, L. F., & Hernández, C. A. (2006). Modelo de semaforización inteligente para la ciudad de Bogotá. *Ingeniería*, 11(2), 61–69.
<https://www.redalyc.org/pdf/4988/498850163009.pdf>
- Solís Fonseca, J. P., Salazar Bravo, L. C., Romero Carrión, V. L., & Solís Salazar, A. (2022). Congestión Vehicular y Contaminación Ambiental en Lima Metropolitana. *Revista Lasallista de Investigación*, 19(1), 152–164.
<https://doi.org/10.22507/rli.v19n1a9>
- Villa, J. (2018). *Simulación Monte Carlo*.
https://www.academia.edu/38485767/Metodo_MonteCarlo