

3. Análisis del tráfico vehicular en Colotlán: Estudio basado en simulaciones



ANA LUCÍA SERRANO OCHOA*

RACHID MARZOUG**

JUAN PABLO ASTUDILLO LEÓN***

ANA ROSA CARRILLO ÁVILA****

LETICIA LEMUS CÁRDENAS*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.03>

Resumen

La seguridad vial comprende todo un conjunto de estrategias y medidas aplicadas para garantizar una movilidad segura para conductores y peatones. Sin embargo, esta tarea se vuelve más compleja con el crecimiento del tránsito y las ciudades, lo que trae consigo el aumento de riesgo de accidentes, congestión vial y contaminación.

Colotlán registra un elevado índice de accidentes, con 230 incidentes documentados entre 2021 y 2023, según estadísticas del INEGI (2020). Los principales afectados son conductores de automóviles particulares y motocicletas. Es evidente la existencia de una problemática significativa en la movilidad y los riesgos asociados a los accidentes.

Este trabajo analiza la movilidad en la infraestructura vial de la ciudad, enfocándose en la zona de mayor incidencia de accidentes para identificar soluciones que reduzcan riesgos y mejoren la movilidad. El estudio se

* Ingeniera Industrial con especialidad en Six Sigma. Maestrante en la Universidad de Guadalajara, México. Correo electrónico: ana.serrano2007@cunorte.udg.mx

** Doctor en Física Computacional. Profesor-investigador de tiempo completo de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6578-696X> ; Scopus: 56142173900

*** Doctor en Ingeniería Telemática. Profesor en Yachay Tech, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7291-3584> ; Scopus: 57204736794

**** Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7334-0378>

***** Doctora en Ingeniería Telemática. Profesora de tiempo completo de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9139-5666>

ha planteado para desarrollarse en dos etapas: la aplicación de encuestas origen-destino (EOD) para recopilar datos de los patrones de viaje de los residentes de la ciudad, y la simulación del tráfico vehicular con SUMO (simulación de movilidad urbana).

Los resultados preliminares muestran retos importantes: tiempos irregulares en los flujos de tráfico que generan largas colas y desorden en cruces vehiculares. Además, las emisiones de CO₂ están cerca de los límites permitidos, mientras que los niveles de ruido en horas pico superan los valores aceptables, lo que puede afectar la salud y el bienestar. Este análisis busca aportar estrategias basadas en datos precisos y simulaciones realistas para mejorar la seguridad y la eficiencia en la movilidad de Colotlán.

Palabras clave: *SUMO, tráfico vehicular, seguridad vial, emisiones de CO₂, mejora.*

Introducción

La seguridad vial y la movilidad urbana son esenciales para el bienestar de las personas, ofrece acceso a servicios, desarrollo económico, conectividad y reducción de tiempos de desplazamiento. Sin embargo, el crecimiento del tráfico y las limitaciones de infraestructura han aumentado la congestión, los accidentes y la contaminación, lo que afecta negativamente la calidad de vida de los ciudadanos (Thomson y Bull, 2001).

La ciudad de Colotlán no está alejada de este contexto, ya que en un estudio reciente se revela un crecimiento exponencial de accidentes en los últimos años. Entre los años 2021 al 2023 se registraron 230 accidentes, que afectaron principalmente a motocicletas y automóviles particulares, con una tasa de accidentes de 0.35 % en el 2022, superando la media estatal de 0.165 % (INEGI, 2020).

La seguridad vial es clave para el desarrollo sostenible, ya que mejora el uso de recursos y reduce los impactos ambientales como la contaminación y el consumo energético. La planificación vial eficiente, en conjunto con tecnologías limpias y transporte sostenible, disminuye la huella ecológica (Doménech, 2009).

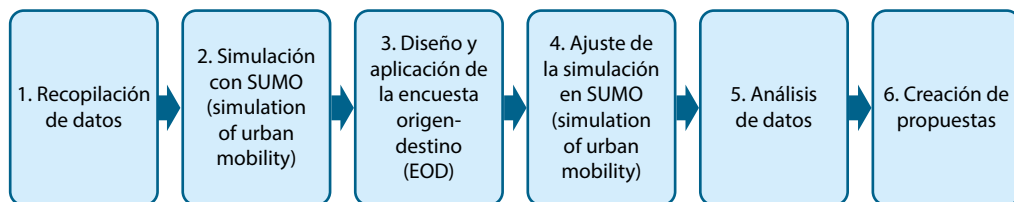
Este trabajo se alinea con los ODS 11 y 13, los cuales promueven las ciudades sostenibles y acción contra el cambio climático. Un transporte eficiente reduce accidentes, emisiones de CO₂, ruido y congestión, lo que mejora la calidad de vida y contribuye a la lucha contra el cambio climático (Naciones Unidas, 2015).

El objetivo de esta investigación es caracterizar y ayudar a mejorar el tráfico vehicular en Colotlán, evaluando su impacto en la seguridad vial y el medioambiente a través de simulaciones. Con el fin de identificar soluciones que ayuden disminuir estos riesgos y mejoren la movilidad, el estudio se centró en adaptar y representar el panorama realista de la zona de mayor incidencia de accidentes en un entorno de simulación. Para ello se organizó el trabajo en 6 etapas que se explicarán en el siguiente apartado de metodología.

Metodología

Para llevar a cabo esta investigación, se ha diseñado una metodología en seis etapas como se puede ver la figura 3.1, basada en un enfoque cuantitativo que facilita un análisis y una mejor comprensión del tráfico vehicular en Colotlán. Esta metodología combina la recopilación y análisis de datos reales con simulaciones avanzadas, lo que permite una evaluación precisa de la situación actual y la propuesta de soluciones eficientes.

Figura 3.1. *Etapas del proceso metodológico*



Fuente: Elaboración propia.

Diseño del estudio

El estudio utiliza un enfoque cuantitativo no experimental, con simulaciones que modelan escenarios hipotéticos mediante la herramienta SUMO (Akhter et al., 2020). No se manipulan variables en un entorno real, sino que se ajustan virtualmente para evaluar el impacto de los cambios en la infraestructura vial y señalización. El objetivo es analizar cómo los tiempos de espera, las emisiones de CO₂ y los niveles de ruido (dB) responden a intervenciones en la infraestructura. A través de un enfoque descriptivo y correlacional se busca identificar patrones de tráfico y su relación con accidentes e impacto ambiental en Colotlán.

La investigación se sustenta en la recopilación de datos primarios y secundarios, obtenidos a través de registros oficiales de tránsito, grabaciones de tráfico y la encuesta origen-destino (EOD) aplicada a la población local. Estos insumos proporcionan una base sólida para evaluar la situación actual y proponer soluciones para mejorar la movilidad y la seguridad vial en la ciudad.

Métodos utilizados

La investigación se estructura en seis etapas y emplea métodos que permiten una recolección rigurosa de datos y análisis cuantitativo. A continuación, se describen los métodos utilizados en cada fase del estudio.

Recopilación de datos

En esta etapa, se recopilan datos históricos de accidentes registrados en Colotlán durante los últimos dos años (2021-2023). Para identificar los puntos críticos con mayor incidencia, se realizaron consultas con los oficiales del Departamento de Tránsito, la dependencia encargada de regular y supervisar la seguridad vial en el municipio.

La intersección del bulevar de Colotlán, en Jalisco, presenta una zona complicada para el tránsito vehicular, como se muestra en la figura 3.2. Este

cruce conecta varias direcciones, sin embargo, no tiene semáforos y ni suficiente señalización, lo que representa un conflicto de tránsito para los vehículos y con ello un alto riesgo de accidentes. Además, algunos de sus carriles son el cruce hacia calles secundarias y accesos a zonas residenciales, lo que contribuye a periodos de congestión, específicamente durante las entradas y salidas de escuelas (7:00 am y 2:00 pm).

Figura 3.2. Mapa de detección de accidentes viales en Colotlán Jalisco (2021-2023)



Fuente: Elaboración propia con base en datos históricos del Departamento de Tránsito de Colotlán, Jalisco (<https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1noapyDvMoJ6fXYzKiQsGlbjPRchKA9Q&usp=sharing>).

Por consiguiente, para conocer el comportamiento de la movilidad en esta zona se procedió a realizar grabaciones del flujo vehicular durante las horas pico con el fin de recolectar datos clave sobre:

- *Flujos vehiculares*: cuántos vehículos circulan por hora.
- *Demanda vehicular*: cuántos vehículos usan diferentes partes de la intersección.
- *Clasificación de vehículos*: cuántos son autos particulares, transporte público, motocicletas, etc.

La figura 3.3 muestra la zona de estudio en el bulevar de Colotlán, resaltada con los flujos de tránsito vehicular, identifica las rutas para realizar el conteo y la clasificación de los vehículos. Con esta información es posible evaluar cómo se distribuye la demanda vehicular durante las horas pico.

Figura 3.3. *Detección del flujo vehicular (origen y destino) y conteo de vehículos*



Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de los vehículos se realizó en categorías que incluyen automóviles particulares, motocicletas, transporte público y camiones de carga pesada, organizada con los datos recabados durante una hora, a mitad de semana en el horario pico de las 2 pm. Esta clasificación se describe en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. *Clasificación y conteo de tráfico vehicular en Colotlán, Jalisco, el miércoles 20 de marzo de 2024 a las 2 pm*

Origen	Destino	Tipo de vehículo (veh/h)				Total (veh/h)
		Vehículo particular	Camión de carga pesada	Motocicletas o mototaxis	Transporte público	
Salida del pueblo de Colotlán (Punto 1)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	9	0	0	0	9
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	219	12	102	9	342
	Salida al ómnibus (Punto 6)	171	15	39	0	225
	Entrada a la calle La Montosa (Punto 7)	30	9	10	0	54

Origen	Destino	Tipo de vehículo (veh/h)				Total (veh/h)
		Vehículo particular	Camión de carga pesada	Motocicletas o mototaxis	Transporte público	
Entrada al bulevar desde los ómnibus (Punto 5)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	243	93	99	3	438
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	384	48	153	6	591
	Salida al ómnibus (Punto 6)	6	0	0	0	6
	Entrada a la calle La Montosa (Punto 7)	30	6	27	0	63
Entrada al bulevar desde el CUNorte (Punto 3)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	180	18	51	3	252
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	15	3	3	0	21
	Salida al ómnibus (Punto 6)	291	24	69	0	384
	Entrada a la calle La Montosa (Punto 7)	18	9	12	0	39
Entrada a la Calle La montosa (Punto 7)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	6	0	0	0	6
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	18	6	12	0	36
	Salida al ómnibus (Punto 6)	15	3	15	0	33

Fuente: Elaboración propia.

Esta información recopilada en tiempo real proporciona una visión integral del tráfico en Colotlán. Posteriormente, estos datos son utilizados como insumos para la simulación en la siguiente fase de la metodología.

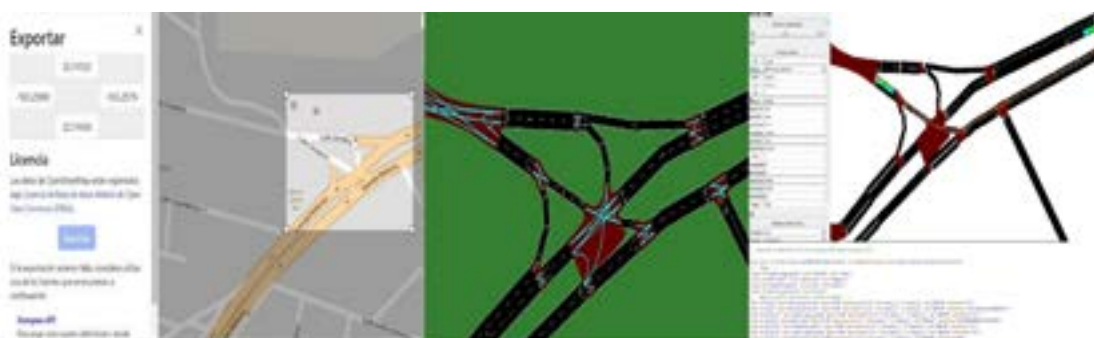
Simulación con SUMO (*simulation of urban mobility*)

SUMO (simulación de movilidad urbana) es un simulador de tráfico abierto microscópico y de código que permite modelar el flujo vehicular en redes viales reales, que integra datos de OpenStreetMap. Este simulador se utiliza para analizar movilidad, emisiones y consumo de combustible, apoyando estudios de tráfico y planificación urbana (Álvarez et al., 2018).

En esta fase, los datos recopilados en el paso 1 —incluyendo la red vial, flujos de tráfico, demanda y clasificación vehicular, así como puntos de origen y destino— se importan y programan en el simulador. En la figura 3.4

se muestra el proceso de configuración del escenario en SUMO (versión 1.21.0), utilizando datos estadísticos y gráficos reales, extraídos desde la plataforma OpenStreet maps (figura 3.4a) para el mapa con la red de carreteras a simular. El mapa con su infraestructura vial una vez cargado en el simulador (figura 3.4b) con los sentidos de flujo vehicular es posible agregar el número de vehículos calculados previamente para cada una de las rutas identificadas (figura 3.4c).

Figura 3.4. Configuración del escenario realista en el simulador de la zona de estudio



Notas: A = extracción de red de carreteras por medio de OpenStreetMap; B = configuración de la zona de estudio en SUMO; C = configuración de demanda vehicular y rutas en SUMO mediante Python.

Fuente: Elaboración propia.

Este paso permite adaptar la red simulada a las características específicas de la zona de estudio, lo que asegura una representación precisa de las condiciones reales del tráfico. Una vez configurado el escenario con estos datos se procedió a ejecutar las simulaciones para evaluar:

- Tiempos de espera en intersecciones y cruces principales
- Niveles de ruido (dB) en diferentes zonas de la ciudad
- Las emisiones de CO₂ generadas por los vehículos

La tabla 3.2 muestra las versiones del modelo de medición de emisiones de gases que dispone el simulador, HBEFA (Handbook emission factors for road transport / Manual de factores de emisión para el transporte por carretera), desarrollado por las agencias de protección ambiental Alemania,

Suiza y Austria, estima las emisiones según el tipo de vehículo, velocidad y comportamiento de conducción. Las emisiones se especifican en g/km para todas las categorías de vehículos especificadas por la versión 3 de este modelo: automóviles de pasajeros (HBEFA3(PC_G_EU4), vehículos pesados (HBEFA3/HDV), vehículo ligero comercial (HBEFA3/LDV_G_EU6) o autobús (HBEFA3/Bus). En este trabajo se seleccionan los modelos HBEFA3, adaptados a la flota vehicular de la zona de estudio, para obtener estimaciones precisas de las emisiones (Akhter et al., 2020).

Tabla 3.2. Descripción detallada del modelo HBEFA3

Modelo	Significado de las siglas	Clasificación del vehículo	Normativa/características
HBEFA3/PC_G_EU4	Turismo, gasolina, euro 4	Automóviles de pasajeros	Motor gasolina, euro 4 (2005-2009).
HBEFA3/HDV	Vehículo pesado	Vehículos pesados (camiones, tráileres)	Principalmente motores diésel.
HBEFA3/LDV_G_EU6	Vehículo ligero, gasolina, Euro 6	Vehículos ligeros comerciales (SUV, camionetas)	Motor a gasolina, euro 6 (2014+).
HBEFA3/Autobús	Autobús	Autobuses urbanos o interurbanos	Motor diésel o gas natural.

Fuente: Documentación SUMO-basada en HBEFA3 (Centro Aeroespacial Alemán, 2024).

La simulación permite obtener información detallada sobre el comportamiento del tráfico bajo las condiciones actuales y simular escenarios realistas, para generar la oportunidad de hacer modificaciones a fin de evaluar y mejorar en la movilidad e impacto de las emisiones de gases. Una parte importante previa a la simulación es la configuración de los datos que se quieren obtener como salida de este proceso, con el fin de analizarlos y evaluar el comportamiento en cada escenario acorde a las variables: emisiones de CO₂, tiempos de espera y nivel de ruido.

Diseño y aplicación de la encuesta origen-destino (EOD)

Las encuestas origen-destino son una fuente importante de información para conocer cómo se mueven las personas en una ciudad. A fin de contrastar la información recabada en las grabaciones del tráfico realizadas con

datos sobre la movilidad de la población en la zona de estudio, se diseñó un instrumento tipo EOD. El enfoque principal de esta encuesta es sobre aspectos importantes, como motivos de los viajes, horarios en los que se realizan, tipo de transporte y duración de los desplazamientos.

La estructura diseñada de la encuesta está conformada por 4 secciones y un total de 20 preguntas, aborda información demográfica, rutas de viaje, experiencias y comentarios.

Los resultados de la encuesta EOD muestra coherencia con los datos registrados, destacando la ruta del punto 1 al punto 4 (salida del pueblo hacia el CUNorte) como la más percibida por el 47.7 % de los encuestados, con un registro de 342 vehículos por hora. Sin embargo, la mayor densidad vehicular corresponde a la ruta del punto 5 al punto 4 (entrada al bulevar desde los ómnibus hacia el CUNorte), con 591 vehículos por hora y un 21.9 % en la encuesta. La ruta del punto 5 al punto 1 (entrada al bulevar hacia el pueblo) se identifica con un 9.6 % y 225 vehículos por hora (*vid.* figura 3.3). Esto valida la integración de ambas fuentes para un análisis más completo de la movilidad.

Ajuste de la simulación en SUMO (*simulation of urban mobility*)

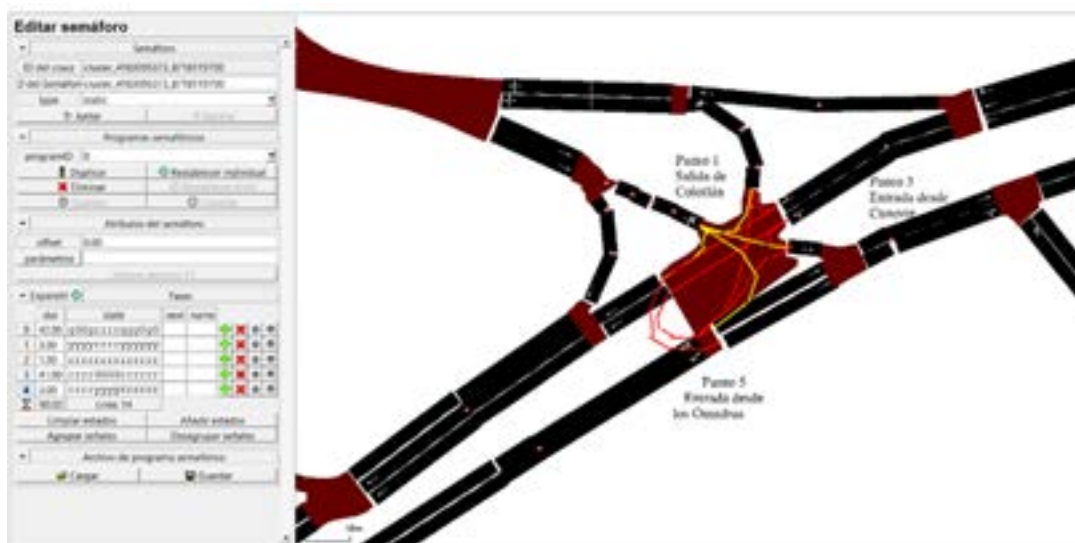
Con los datos obtenidos de la encuesta EOD, se realizó el ajuste de la configuración de la demanda vehicular, los patrones de origen y destino, y los parámetros de simulación en SUMO. Estos ajustes favorecen la precisión de las simulaciones y permiten evaluar el impacto de los cambios en el comportamiento de la movilidad.

Una vez configurado el escenario realista en el simulador, ajustado con los datos obtenidos de las grabaciones y validado con la información recolectada a través de la encuesta, se establece una base sólida para simular la movilidad de la zona de estudio. A partir de este escenario, es posible proponer diversas configuraciones y simularlas para analizar sus efectos sobre las variables de interés: tiempos de espera, emisiones de CO₂ y ruido. Como parte del estudio se realizó la configuración de dos propuestas enfocadas en el control del tráfico.

Semáforos estáticos con ciclo de 90 segundos

La primera propuesta configurada es un escenario con un sistema de semáforos. En esta propuesta, los 90 segundos corresponden a la duración total de un ciclo completo del semáforo, que incluye las fases de luz verde, amarilla y roja. Este tiempo se considera básico y estándar para regular de manera eficiente el flujo vehicular en intersecciones con tráfico moderado (Valentin y Arias, 2024). La figura 3.5 muestra la ubicación de los semáforos configurados en el escenario de simulación, los cuales se corresponden estratégicamente con las tres entradas principales de tráfico vehicular de la zona de estudio.

Figura 3.5. Configuración del escenario con semáforo estático de 90 segundos en el SUMO



Fuente: Elaboración propia.

El semáforo de este tipo conlleva una configuración determinada, en la cual se especifica el tiempo en segundos para cada uno de los estados posibles, es decir, para cada color: verde (g/G), rojo (r) y amarillo (y). En la tabla 3.3 se muestra la configuración aplicada del semáforo.

Tabla 3.3. Configuración del ciclo de semaforización de 90 segundos

<i>Fase</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Estado</i>	<i>Descripción</i>
1	41.00	g GG rrgg GG	Luz verde prolongada para las fases 2 y 3
2	3.00	yyyrryyy	Transición amarilla para las fases 2 y 3
3	1.00	Rrrrrrrr	Pausa en rojo para todas las rutas
4	41.00	rrr GGG r GG	Luz verde prolongada para la fase 1
5	3.00	rrryyyy	Transición amarilla para la fase 1
6	1.00	Rrrrrrrr	Pausa en rojo para todas las rutas
Total	90.00		

Fuente: Elaboración propia.

Semáforos con ciclo de 60 segundos basados en demanda vehicular

La segunda propuesta consiste en optimizar los semáforos al ajustar dinámicamente los tiempos de luz verde según la demanda vehicular registrada en cada ruta. Investigaciones como la de Jiménez y Sarmiento (2011) han demostrado que este enfoque reduce la congestión, aumenta la velocidad promedio, mejora la experiencia de los conductores y disminuye las emisiones de CO₂. Los parámetros de esta configuración se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Configuración del ciclo de semaforización de 60 segundos bajo demanda vehicular

<i>Fase</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Estado</i>	<i>Descripción</i>
1	16.00	rrrGGGrGG	Luz verde que favorece rutas secundarias en dos direcciones.
2	1.00	rrryyyryy	Transición amarilla para cesar el movimiento en una intersección específica.
3	1.00	yyyrrrryy	Luz amarilla como advertencia antes del cese total del movimiento.
4	17.00	GGGrrrrGG	Luz verde prolongada para rutas principales.
5	1.00	yyyrrrryy	Transición amarilla para rutas principales.
6	1.00	rrrryyyy	Breve advertencia amarilla antes del cese del flujo.
7	22.00	rrrrGGGG	Luz verde para rutas menos transitadas, evitando largos tiempos de espera.
8	1.00	rrryGyGG	Equilibrio de colas en rutas secundarias.
Total	60.00		

Fuente: Elaboración propia.

Estas configuraciones propuestas conforman la pauta inicial de pruebas para ubicar qué elementos de infraestructura vial favorecen a mejorar la movilidad vehicular y con ello la reducción de riesgo de accidentes.

Resultados y discusión

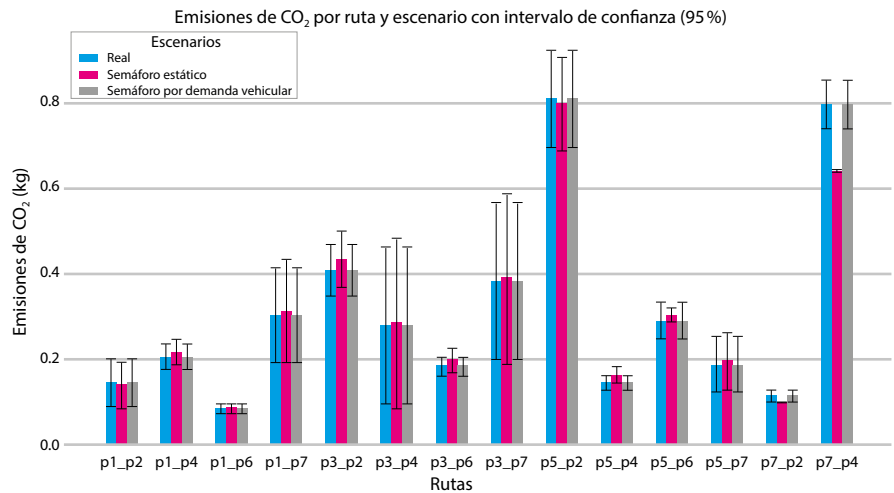
Como parte del estudio basado en simulaciones, el primer paso ha sido trasladar el comportamiento del tráfico real a un entorno de simulación.

El análisis y evaluación consiste en la revisión de tres escenarios: el escenario real (escenario 1) y dos propuestas con un sistema de semáforos (escenario 2 y escenario 3), que miden el tiempo de espera acumulado de los vehículos al transitar por la zona, las emisiones CO₂ y los niveles de ruido. A continuación, se detallan los resultados obtenidos de los escenarios.

Emisiones de CO₂

Los resultados sobre las emisiones de CO₂, en el escenario 1, correspondiente a la situación actual, presenta un total de 301.19 kg con una concentración de 1 533 ppm, superando el límite de 1 000 ppm que es considerado perjudicial para la salud (Unión Europea, 2015). En comparación, el escenario 2 registra 368.28 kg y 1 873 ppm, mientras que el escenario 3 alcanza hasta 360.7 kg y 1 834 ppm. La comparación de estos tres escenarios en las diversas rutas puede observarse en la figura 3.6. Aunque el escenario 2 muestra una disminución en la ruta del punto 3.7 al punto 4, en el resto de las rutas las emisiones aumentan o se mantienen similares. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar estrategias más efectivas para mitigar el impacto ambiental, reducir las concentraciones de CO₂ y mejorar la calidad.

Figura 3.6. Comparación de los diversos escenarios en cuanto a las emisiones de CO₂



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de ruido

Los niveles de ruido superan los 65 dB en el escenario 1, excediendo los 55 dB recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), lo que podría afectar la salud de los residentes. El escenario 2 muestra un nivel de ruido de 63.11 dB, mientras que el escenario 3 presenta 62.84 dB. Aunque los niveles de ruido en los dos escenarios con semáforos son menores que en el escenario 1, todavía superan el límite recomendado por la OMS. Esto resalta la importancia de implementar medidas para gestionar el ruido urbano y proteger la salud de la población (OMS, 2022).

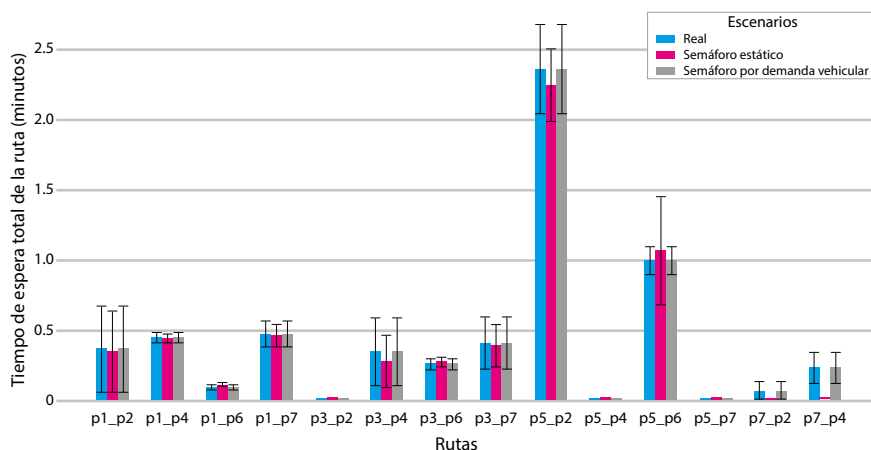
Tiempos de espera

El tiempo promedio de espera por vehículo en el escenario 1, correspondiente a la situación actual, es de 17.68 segundos. En contraste, los escenarios 2 y 3, propuestos como alternativos al escenario 1, muestran un aumento a 24.05 segundos y 25.93 segundos, respectivamente. La figura 3.7 evidencia

un desequilibrio en las colas de tráfico, con incrementos significativos en el tiempo de espera en ciertas rutas, como la del punto 5 al punto 2. Estos resultados sugieren que las propuestas de los escenarios 2 y 3 podrían no ser efectivas para reducir los tiempos de espera, ya que presentan un aumento en comparación con la situación actual.

Figura 3.7. *Tiempo de espera por vehículo en cada ruta (min)*

Tiempo de espera total de la ruta y escenario con intervalo de confianza (95 %)



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En este trabajo se identificó uno de los puntos con mayor incidencia de accidentes en la ciudad de Colotlán. Un aspecto relevante de esta zona a la que ocupa esta investigación es el estado de su infraestructura de señalización, que presenta deficiencias y convierte al lugar en un cruce conflictivo con escasa orientación para la movilidad vehicular.

Los resultados preliminares de la investigación muestran que las rutas punto5_punto2 y punto1_punto4 presentan tiempos de espera elevados debido a la congestión vehicular, especialmente por la presencia de vehículos de carga pesada. Este congestionamiento también genera un aumento en las emisiones de CO₂ y los niveles de ruido, lo que supera los límites

recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que puede tener un impacto negativo en la salud pública y la calidad de vida de la población.

En cuanto a los semáforos implementados, los resultados muestran que los sistemas basados en la demanda vehicular no han mejorado el flujo de tráfico como se esperaba. Los tiempos de espera aumentan, las emisiones incrementaron y la velocidad promedio disminuyó, especialmente en el escenario 2, que generó las mayores emisiones. Estos resultados sugieren que los semáforos, en su configuración actual, podrían contribuir a la congestión en lugar de aliviarla.

Sin embargo, es importante considerar que un sistema de semáforos permite un control en el flujo vehicular y, por ende, una disminución en riesgos de accidentes. Dado estos hallazgos, se llevará a cabo una reevaluación exhaustiva de la zona y se formularán propuestas adicionales para mejorar la movilidad y la seguridad vial. Esto incluirá la reconfiguración de las rutas, una evaluación de la demanda vehicular futura y un análisis más detallado sobre la viabilidad de los semáforos a largo plazo. Estas nuevas propuestas permitirán una mejor comprensión sobre cómo intervenir en la infraestructura vial de manera efectiva y sostenible, para ajustar las soluciones a las necesidades específicas de cada ruta.

Referencias

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2015). *Visión general*. Unión Europea. https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-environment-agency-eea_es
- Akhter, S., Ahsan, Md. N., Quaderi, S. J. S., Forhad, Md. A. Al, Sumit, S. H. y Rahman, Md. R. (2020). A SUMO based simulation framework for intelligent traffic management system. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 1-5. <https://doi.org/10.18178/jtle.8.1.1-5>
- Álvarez López, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P. y Wiessner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using SUMO. En *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2575-2582). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938>
- Centro Aeroespacial Alemán. (2024). *SUMO de un vistazo*. Simulation of urban mobility. https://sumo.dlr.de/docs/SUMO_at_a_Glance.html

- Doménech Quesada, J. L. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. AENOR.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas 2021*. <https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/>
- Jiménez Uribe, M. M. y Sarmiento, I. (2011). Sistema adaptativo de control y optimización del tráfico de un corredor vial semaforizado: Aplicación a la ciudad de Medellín. *DYNA*, 78(169), 71–78. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20661>
- Organización de Naciones Unidas. (2015, 17 de septiembre). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización Mundial de la Salud. (2022, 2 de marzo). *La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición* (Comunicado de prensa). <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>
- Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable. (2017). *Encuesta Origen-Destino*. <https://www.implantepic.gob.mx/descarga/PIMUS/Encuesta%20origen-destino.pdf>
- Thomson, I. y Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales*. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Valentin Congora, N. A. y Arias Palomino, J. F. (2024). *Propuesta de semaforización adaptativa en la intersección de la Av. Tomás Valle con la Carretera Panamericana Norte para mitigar la demora vehicular y peatonal mediante microsimulación* [Trabajo de suficiencia profesional]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/674459>