

A Systematic Review of PTV Vissim Applications in Urban Vehicle Traffic Management

Huaco-Panca, Yonatan¹ ; Yarin-Achachagua, Anwar Julio² 

^{1,2}Universidad Científica del Sur, Perú, 100094037@cientifica.edu.pe, ayarin@cientifica.edu.pe

Abstract— *In recent years, traffic congestion has become a global problem that worsens annually, impacting mobility and quality of life in modern cities. The objective of this systematic review of scientific literature published between 2012 and 2025 is to analyze the application strategies of Vissim PTV (Public Traffic Management) systems to improve urban traffic management. To this end, a systematic search was conducted in two databases: Scopus and ScienceDirect, applying the PRISMA method with a PICO question approach to identify articles that met the eligibility criteria for the search, selection, and data extraction. The STROBE tool was used to assess the risk of bias, along with Robvis for domain analysis. Results: Thirty-five studies (n=478) were included to compile different vehicular mobility management strategies, which are divided into geometric and control improvements. The study showed that the efficiency level of the simulated measure in Vissim varies depending on traffic volume, type, and road geometry. In conclusion, Vissim software is used to model everything from intersections to complex networks, and the solutions focus on geometric interventions (roundabouts and grade separations) for structural problems and dynamic management (adaptive traffic lights) to optimize road capacity. The reliability of the simulation depends on calibration and validation using GEH<5 and MAPE<15%~25%. In summary, geometric improvements achieve the greatest delay reductions (>60~90%).*

Keywords-- *Microsimulation, improvement flow, traffic signs, intersection*

Una Revisión Sistemática de las aplicaciones de PTV Vissim en la gestión del tráfico vehicular urbano

Huaco-Panca, Yonatan¹ ; Yarin-Achachagua, Anwar Julio² 

^{1,2}Universidad Científica del Sur, Perú, 100094037@cientifica.edu.pe, ayarin@cientifica.edu.pe

Resumen– En los últimos años la congestión vehicular es un problema a nivel mundial que aumenta cada año afectando la movilidad y la calidad de vida en las ciudades modernas. El objetivo de esta revisión sistemática de literatura científica publicada entre 2012 y 2025 es analizar las estrategias de aplicaciones de PTV Vissim para mejorar la gestión del tráfico vehicular urbano. Para ello, el método fue realizar una búsqueda sistemática en 2 bases de datos: Scopus y ScieceDirect, aplicando el método PRISMA con un enfoque de preguntas PICO, para identificar los artículos que cumplan con los criterios de elegibilidad, en la búsqueda, selección y extracción de datos. Para evaluar el riesgo de sesgo, se utilizó la herramienta STROBE, acompañada de Robvis en el análisis de dominios. Resultados: Se incluyeron 35 estudios (n=478), para recopilar diferentes estrategias de gestión de la movilidad vehicular, las cuales se dividen en mejoras geométricas y de control. A su vez, se mostró que el nivel de eficiencia de la medida simulada en Vissim, varía en función del volume, tipo de tráfico y geometría de la vía. En conclusión, El software Vissim, es aplicado para modelar desde intersecciones hasta redes complejas y las soluciones se centran en intervenciones geométricas (rotondas y pasos a desnivel) para problemas estructurales y gestiones dinámicas (semáforos adaptativos) para optimizar la Capacidad vial, la confiabilidad de la simulación depende de la calibración y validación mediante GEH<5 y MAPE<15%-25%, en síntesis, las mejoras geométricas logran mayores reducciones de demora (>60-90%).

Palabras clave- Vissim, microsimulación, mejora del flujo, señales de tráfico, intersección

I. INTRODUCCIÓN

La congestión del flujo vehicular en las redes urbanas representa un desafío crítico, por el rápido crecimiento poblacional y el aumento de la motorización [1], [2], [3]. Generando demoras significativas, deterioro ambiental y graves preocupaciones de seguridad [4], [5], [6]. Las intersecciones, son vías críticas dentro de la red vehicular, ya que son los puntos donde los flujos de tráfico de diferentes aproximaciones convergen y divergen [7].

El rendimiento y la seguridad del tráfico en estos puntos están influenciados por una multitud de factores complejos, incluyendo aquellos relacionados con el entorno, el factor humano (edad y experiencia) los cuales tiene un impacto medible en el rendimiento y la seguridad [6]. Asimismo, factores ambientales como las condiciones climáticas adversas (nieve, hielo), pueden alterar los patrones de tráfico y el comportamiento del conductor, siendo que estas condiciones deterioran parámetros clave de la operación del tráfico, como el flujo de saturación, la velocidad de flujo libre y el tiempo de arranque perdido [8]. Decisiones de planificación como la configuración geométrica de la intersección [7] (por ejemplo,

intersecciones en T o de múltiples ramales), la ubicación y el diseño de las paradas de autobús [9], y la presencia de zonas de obras para construcción o mantenimiento, impactan directamente la eficiencia y la capacidad de la red [10].

El propósito de este estudio es realizar una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2012 y 2025, con el fin de sintetizar y analizar las evidencias existentes sobre la gestión del flujo vehicular en carreteras urbanas mediante la aplicación de un modelo de simulación computacional, para ello existen diferentes herramientas de simulación para la gestión del tráfico, facilitando la gestión de manera segura [11]. En este contexto, la simulación del tráfico y en particular la microsimulación, se ha consolidado como una herramienta importante para la planificación y evaluación. Los antecedentes en esta área indican un creciente cuerpo de investigación que aprovecha la plataforma de simulación de PTV Vissim, el cual es un “software de simulación multimodal del tráfico más popular del mundo, reproduciendo digitalmente los patrones de tráfico de todos los usuarios de las vías públicas” [42], para permitir a los planificadores e ingenieros, modelar con precisión las condiciones del mundo real y probar rigurosamente diversos escenarios y medidas de gestión antes de su implementación física [12], [13] porque esta metodología permite evaluar el impacto de intervenciones específicas, tales como la instalación de nuevos semáforos, la optimización de los planos de señales para condiciones climáticas específicas, o la evaluación de rediseños geométricos, como la implementación de rotondas, islas centrales o carriles de giro libre.

Además de la eficiencia operativa de la microsimulación se puede combinar con herramientas como el Modelo de Evaluación de Seguridad Sustituta (SSAM, por sus siglas en inglés) para analizar los conflictos de tráfico[4], sirviendo como un indicador sustituto para la seguridad vial, también se complementa con C++[14] para mejorar la eficiencia de semáforos adaptativos con un enfoque integral es particularmente útil para evaluar operaciones en condiciones complejas, como el tráfico heterogéneo (común en países en desarrollo) [7]. Entre otros complementos como Python, Matlab, Viswalk e incluso un emulador VS-Plus.

Esta revisión se justifica para consolidar las estrategias de mejora en la gestión del tráfico vehicular en los últimos trece años, proporcionando a la comunidad académica un estado del arte claro que sirva como base para futuras investigaciones. Facilitando la toma de decisiones mediante soluciones que ya han probados en entornos virtuales y que sirven como guía para abordar temas relacionados a la gestión del tráfico vehicular.

II. METODOLOGÍA

En la siguiente investigación se optó por un enfoque cuantitativo para presentar datos de las revisiones correspondientes con el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). La metodología PRISMA presentada en el 2009, tiene como objetivo principal verificar, guiar informes para asegurar la calidad de una revisión sistemática [15].

Es importante indicar que la verificación PRISMA constituye una valiosa metodología de ayuda para las revisiones [16]. La metodología se actualizó por última vez el año 2020 con mejoras en la implementación de verificación de bibliografías que incluyan síntesis estadística en su contenido [17]. Para el estudio se realizó una adaptación del “Method Lía”, que consta de la utilización de Microsoft Excel, instrumento que fue diseñado con el fin de sistematizar los datos bibliométricos de las revisiones sistemáticas [18].

Por ello, los autores aseguran que la revisión sistemática sea completa, transparente y reproducible al seguir la metodología PRISMA, aumentando la confiabilidad y credibilidad de la investigación [19]. Por último, todo el procedimiento desde la selección e identificación de los estudios es desarrollado hasta la elaboración de los resultados. [20]

A. Procedimiento de búsqueda

Para recopilar todos los artículos sobre la gestión del tráfico vehicular utilizando PTV Vissim, se ha realizado una revisión de documentos en las bases de Scopus y ScieceDirect en octubre, lo que resultó en un total de 473 documentos. Todos los artículos recuperados están escritos en inglés y publicados en los últimos 13 años. Entre 2012 y 2025. Esta búsqueda de realizó con la finalidad de reunir más información, identificar trabajos similares y encontrar estudios relevantes. Mediante una estrategia de búsqueda basada en el estilo PICO.

P, población o problemática: ¿En qué tipo de redes viales urbanas se han aplicado las estrategias de gestión de tráfico?

I, intervención: ¿Cuáles son las estrategias de gestión del tráfico vehicular?

C, comparación: ¿Qué métodos de calibración y validación se emplean para verificar la precisión de los modelos?

O, resultados: ¿Qué mejoras cuantificables de eficiencia se obtuvieron en las simulaciones?

Este enfoque tiene como objetivo tratar una pregunta relacionada con la mejora del flujo vehicular.

¿Qué estrategias se aplicaron en PTV Vissim para mejorar la gestión del tráfico vehicular urbano mediante simulaciones?

La estrategia de búsqueda inició con un análisis de datos enfocado en la utilización de PTV Vissim en todos los artículos

para la gestión del flujo vehicular. Luego se utilizó el Excel para sintetizar la información mediante títulos, resumen, palabras clave, métodos, etc. A continuación, en la Tabla I se expone las cadenas de búsqueda.

TABLA I
CADENAS DE BÚSQUEDA

Scopus	ScieceDirect
("Vissim" AND "improvement flow" AND "traffic control")	("Vissim" AND "improvement flow" AND "traffic control devices")

Durante la identificación de artículos en ambas bases de datos, se utilizaron criterios de inclusión y exclusión, teniendo como objetivo asegurar la semejanza con el tema de investigación y eliminar aquellos que no guardan ninguna relación. Tal como se muestra en la Tabla II.

TABLA II
NORMAS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Estudios publicados entre 2012 y 2025	Estudios sin simulación
Enfoque ingenieril	Aviones, barcos, otros
Artículos en inglés o español	Tesis, conferencias
Carreteras urbanas	Estudios sin acceso
Uso de PTV Vissim	SUMO, AIMSUN, Synchro, Paramics, Transims

B. Enfoque PRISMA

En las bases de datos de Scopus y ScieceDirect en un principio de recopilaron 473 artículos previamente aplicando ciertos filtros (ingeniería y artículos) para sintetizar más la información, de los cuales se importó al formato CVS para copiarlo en Excel. Después de comenzaron a filtrar los archivos por duplicidad, herramientas y otras razones, eliminado un total de 288 artículos, quedando 185 artículos cribados. Para aplicar los principios de inclusión y exclusión, se realizó la lectura del título y resumen, quedando 94 artículos para recuperar. Seguidamente se inició el proceso de recuperación de los cuales se lograron obtener 48 archivos. Finalmente se inició el proceso de evaluación para la elegibilidad, quedando un total de 35 artículos para la revisión sistemática.

A continuación, en la figura 1. Se muestra el proceso completo de la selección de información, junto a los criterios de eliminación de cada etapa.

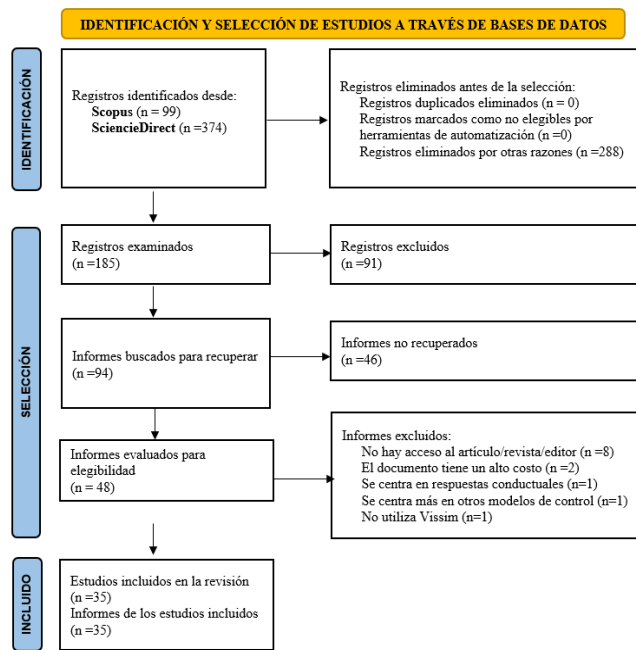


Fig. 1. Esquema de proceso de acuerdo al PRISMA.

III. RESULTADOS

Este capítulo presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en la revisión sistemática según la metodología PRISMA, sobre la simulación de redes vehiculares para la gestión del tráfico urbano, abarcando el período de 2012 a 2025. El análisis también contribuye a abordar las preguntas PICOC

A. Selección de estudios

En la Figura 2. Se observa que de los 35 artículos seleccionados entre los años 2012 y 2025, sobresale que el año 2025 cuenta con la mayor cantidad de documentos, con un total de 6, seguido por el año 2017 con 5 artículos.

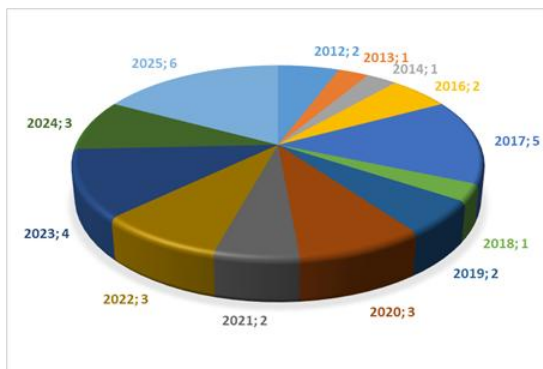


Fig. 2. Años de publicación de los artículos desde el 2012 al 2025.

En la Figura 3. Se aprecian los estudios por Países, se evidencia que China está liderando el tema de investigación de transportes al tratarse de un País muy desarrollado con sus vehículos autónomos.

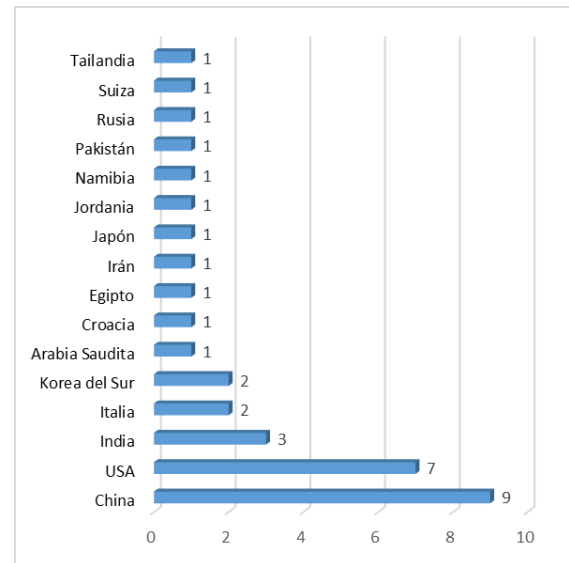


Fig. 3. Cantidad de artículos por Países

En la Tabla III se evidencia la cantidad de categorías según el cuartil de las revistas consultadas, observándose que el cuartil 1 abarca el 34.3%, asegurando un buen resultado.

TABLA III
RESUMEN POR CATEGORÍA DE CUARTIL (Q)

Cuartil	Cantidad	Porcentaje
Q1	12	34.3%
Q2	9	25.7%
Q3	9	25.7%
Q4	5	14.3%

En la Figura 4 se muestra el conteo de palabras clave que se han utilizado. Las palabras que se visualizan en una dimensión más grande son las más frecuentes.



Fig. 4. Nube de palabras sobre palabras clave que han utilizado los autores de los artículos

En la Figura 5, se muestra la cantidad de artículos publicados en la revista Transportation Research Procedia (mas repitente) entre el 2014 y 2024, siendo el año 2023, donde se nota una mayor publicación de artículos que fueron 1090, si se realiza un chequeo histórico, la cantidad de estudios aumenta y disminuye, sin embargo, en el último año se nota un declive en la cantidad de artículos publicados.



Fig. 5. Cantidad de artículos publicados en Transportation Research Procedia

B. Resultados de la evaluación de riesgos

En la Figura 6 se muestra el análisis de sesgo de los 35 artículos clasificados en riesgo bajo (verde), riesgo medio (amarillos) y riesgo alto de sesgo (rojo) según ROBVIS, para asegurar la calidad de la información presentada, el verde asegura un buen artículo a evaluar

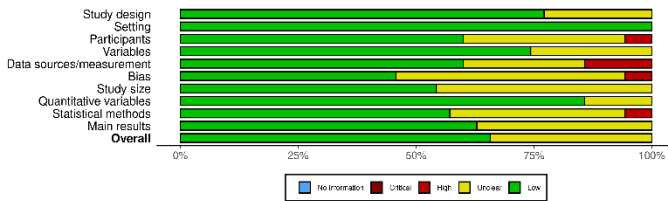


Fig. 6. Distribución porcentual del riesgo de sesgo por dominio.

C. Resultados de estudios individuales

A continuación, los 35 artículos responderán a las siguientes preguntas PICO.

Q1: ¿En qué tipo de redes viales urbanas se han aplicado las estrategias de gestión de tráfico?

El software de PTV Vissim (Simulación de tráfico en ciudades) es una herramienta muy popular de simulación que se adapta a diferentes redes vehiculares [42]. Su aplicación no se limita a una determinada vía, sino que se extiende y abarca muchas infraestructuras completas de transporte, desde intersecciones hasta complejas autopistas.

La aplicación más frecuente fue en corredores arteriales urbanos que destacan por tener una alta congestión vehicular

debido a la presencia de múltiples intersecciones que la conectan y por ende los estudios han modelado estas arterias para evaluar los diversos problemas, incluyendo el impacto total entre intersecciones muy cercanas entre si como lo mostró [21] y [22], adicionalmente el autor [8] muestra el efecto de las condiciones climáticas de la nieve en un corredor [23] y [6] en la operación del tráfico mixto heterogéneo.

Dentro de las redes urbanas una gran área de aplicación son las intersecciones y se han utilizado para modelar intersecciones señalizadas según [11] para optimizar tiempos y [24] para evaluar el impacto de giros a la derecha. En Rotondas [21] y [25] lo aplican para evaluar la instalación de semáforos y [4] lo utiliza para proponer rotondas como alternativa a las intersecciones semaforizadas. En geometrías complejas [7] lo utiliza para modelar intersecciones de multiples accesos (multi-legged) e intersecciones no alineadas o escalonadas según [10] y [26]. Y por ultimo en Intersecciones complejas [6] lo aplica en modelar el comportamiento de los conductores en intersecciones no señalizadas tipo T para evaluar la seguridad.

Una segunda gran aplicación encontrada es en autopistas y autovías. Por ende, se utilizó Vissim en: Zonas de Obras, para evaluar la eficiencia de diferentes esquemas de ocupación de carriles [2], por su parte [27] la utilizó para evaluar el impacto de estrategias de fusion como "Late Merge", basada en señalizaciones. Para la gestión de rampas, según [28] y [29] muestran la efectividad de incorporar rampas de entrada como estrategias de control como el Ramp Metering, incluyendo un controlador de semáforo "inteligente" (adaptativo). En corredores de Altas Velocidades con el fin de evaluar el impacto total de carriles exclusivos para vehículos pesados (camiones) [1] y [30] proponen sistemas de emergencia con Carriles Virtuales de Emergencia (VEL) para facilitar el paso rápido y seguro de vehículos.

También se utilizó Vissim para modelar los terminales de autobuses [22] con altos flujos peatonales utilizando uno de los complementos de Vissim, Viswalk [31].

Q2: ¿Cuáles son las estrategias de gestión del tráfico vehicular?

Las estrategias analizadas son diversas porque van desde cambios físicos hasta ajustes sutiles en la lógica de controles.

La Tabla IV, muestra la estrategia más común para resolver problemas de congestión vehicular.

TABLA IV
MEJORAS GEOMÉTRICAS

	Propuesta	Artículo
Rediseño	Conversión de cruces semaforizados a rotondas	[4], [14], [21], [25]
	Construcción de pasos elevados	[3], [23]
	Adición de carriles	[25]
	Rediseño físico de carriles	[2], [10]
Canalización y Señalización	Canalización de vía	[7]
	Señalización de intersecciones	[4]

La Tabla V, se muestran estrategias que optimizan la infraestructura actual mediante tecnologías y reglas

TABLA V
GESTIÓN DINÁMICA Y CONTROL

Propuesta		Artículo
Control de semáforos	Optimizar la temporización de los semáforos	[8], [24]
	Implementar sistemas adaptativos que responden a la demanda	[11], [14]
Control Avanzado	Sistemas de control basados en Inteligencia Artificial y Aprendizaje por Refuerzo (DGMARL)	[32]
	Controles de velocidades óptimas para Vehículos Conectados (CVs)	[33]
Gestión Dinámica de carriles	Sistemas que se reconfiguran en tiempo real con la Asignación Dinámica de Carriles (DLA)	[1]
	Reversión Dinámica de Carriles (DRL)	[34]
	Carriles Virtuales de Emergencia (VEL)	[2]
Control de Autopistas	Implementación de Ramp Metering (RM), límites de Velocidad Variables (VSL) y cambios de carril seguros mediante autos autónomos	[28], [29], [40]

La Tabla VI, se muestran estrategias dirigidas a la regulación de vehículos pesados para mejorar la seguridad vial y del transporte público.

TABLA VI
PRIORIZACIÓN DE VEHÍCULOS ESPECÍFICOS

Propuesta		Artículo
Gestión de Vehículos Pesados (HVs)	Restricción de carril para camiones, al usar el carril izquierdo	[5], [35], [36], [37]
	Pelotón de camiones "platooning"	[12]
Prioridad de Transporte Público (PT)	Carriles exclusivos para autobuses	[38]
	Optimización de la ubicación de los paraderos de autobuses	[9], [22]
Gestión de peatones	Implementación del esquema Pedestrian to Infrastructure, da prioridad a los peatones en cuando sus zonas están muy congestionadas	[31]

Q3: ¿Qué métodos de calibración y validación se emplean para verificar la precisión de los modelos?

El proceso de validación de un modelo de simulación es un paso muy importante y estricto mencionado en la mayoría de los artículos. El primer paso consiste en la calibración siguiendo la metodología de Wiedemann 74 y 99, basado en el comportamiento del conductor para asemejarse lo más posible a la situación real. Lo que implica ajustar parámetros internos como distancias, volúmenes, velocidades y tiempos. [6], [7], [8].

Una vez calibrado se valida comparando los resultados con un conjunto de datos reales, los métodos estadísticos más frecuentes son por Estadística GEH en honor a Geoffrey E. Havers. Como se muestra en la ecuación "(1)"

La formula de la estadística GEH es:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{M+C}} \quad (1)$$

M es el volumen de tráfico por hora del modelo de tráfico (o conteo nuevo). C es conteo en el mundo real (o conteo inicial). En el que se compara los volúmenes de tráfico simulados con los reales (grabados con drones o cámaras de video) y si el valor es menor a 5 ($GEH < 5$) esta validado [1], [4], [5], [21], [22], [23], [29], [31], [38].

La otra forma de validarlo es mediante MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio), compara los resultados de campo con las mediciones de campo, identificando qué escenario era estadísticamente superior aceptandose con un valor inferior al 15% o 25% [2], [6], [7], [10]. Ver la ecuación "(2)", donde n denota los flujos, C_v^i significa la capacidad simulada en Vissim (veh/h) y C_f^i es el volumen según la investigación (veh/h)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n C_v^i - \sum_{i=1}^n C_f^i}{\sum_{i=1}^n C_f^i} \quad (2)$$

En un estudio se encontró que para la validación se utilizó ANOVA, en el que se usan pruebas estadísticas [28], [36] y en otro caso se aplico un concepto de análisis de sensibilidad, modificando variables del modelo [39].

Q4: ¿Qué mejoras cuantificables de eficiencia se obtuvieron en las simulaciones?

El nivel de eficiencia varía mucho según el tipo de intervención, cada estrategia demostró mejorar la gestión del flujo vehicular, dentro de las métricas más comunes a evaluar, fueron las demoras y las longitudes de cola.

Las mejoras más importantes se evidencio en intervenciones geométricas. El autor [4] propuso reemplazar intersecciones (LOS F) en Tailandia por rotondas bien diseñadas, reduciendo las demoras en un 90.8% y [25] en un 65%. Según [3], [23] por su parte evidenciaron que la construcción de pasos elevados o la canalización en intersecciones congestionadas mostraron mejoras en demoras en un rango del 64% al 70% y [7] encontró mejoras en el nivel de Servicio de F a C o B.

Por otra parte las estrategias de gestion también muestran una alta eficiencia en la mejorar del flujo vehicular, como lo menciona el [1] respecto a la Asignación Dinámica de Carriles (DLA) en un corredor muy caótico o congestionado, reduciendo las demoras en un 58.05%. Otro autor [32] implementó los Sistemas Adaptativos (IA) demostrando reducir el Índice ECO_PI (métrica de demora y consume) en un 55.38% en simulaciones que duraron hasta 24 horas lo que indica un resultado más confiable. Adicionalmente [2] implementó todo un Sistema de Carriles Virtuales de Emergencia (VEL) reduciendo las demoras en un promedio del 60% y las colas en un 50% - 80%.

La priorización de vehículos funciona especialmente en la categoría pesados. Por ello [38] en su propuesta de carriles exclusivos para-autobuses reducen el tiempo de viaje en un 37% y [22] propone la reorganización de paraderos para reducir aún más el tiempo hasta un 59%. Por otra parte el tema de restricción de camiones muestra una mejora en las demoras y aunque no sea muy alta y evidencia reducir el número de cambios de carril hasta en 27% [32]. Considerando a [40] la seguridad después de la simulación de carriles autónomos con vehículos de conducción autónoma (CAV) logra una seguridad cercana al 100% tanto en vías congestionadas y des congestionadas

Por último, el autor [41] evalúa la viabilidad de Diagramas Macroscópicos Fundamentales (MDF) y no implementa una mejora directa, pero demuestra que independientemente de la estrategia utilizada para la selección de enlaces, un mínimo del 25 % de los enlaces garantiza un error promedio en los índices de densidad inferior a 15 puntos porcentuales, estando dentro de lo permitido para la mejora de la capacidad de la vía en Zurich.

IV. DISCUSIÓN

La literatura confirma que la aplicabilidad de la herramienta de PTV Vissim no depende únicamente del nivel de desarrollo de la infraestructura, porque también abarca redes vehiculares desordenados en países desarrollados. Del total de estudios evaluados se observó que hay una mayor cantidad de estudios en corredores arteriales urbanos 60%, utilizados para evaluar desde las coordinaciones entre semáforos en climas de invierno en Canadá [8], hasta interacciones complejas entre vehículos motorizados y no motorizados como en la India y Namibia [7],[13]. Además, dentro de estas redes, las intersecciones son nodos críticos constantes, por ello la simulación es importante para modelar propuestas de mejora como en China [26] y rotondas como en Jordania y Rusia [14], [25], por otro lado, también está la incorporación de rampas con controles de medición mencionado por Tafti et al [28] y Mitkas et al [29] para mantener un flujo constante. A pesar de que diferentes estudios sugieren que la simulación fallaba en condiciones de saturación extrema, los hallazgos indican que la herramienta es confiable incluso en condiciones críticas de flujo. Por ejemplo, el autor [38] logró modelar redes complejas con 6 intersecciones en un área de 1.7 km x 1.8 km en Tashkent, Uzbekistán, para predecir los cambios de comportamiento a largo plazo. Se plantea que la complejidad geométrica es un factor importante para aplicar la simulación desde las fases iniciales de diseño, independientemente del volumen de tráfico proyectado.

Se logró identificar el uso de estrategias de gestión del tráfico vehicular basadas en infraestructura y gestión. Analizando las Tablas IV, V y VI, las intervenciones geométricas siguen siendo una solución más segura para solucionar fallas de capacidad que ocasiona congestión, aplicado por [3], [4], [38]. La implementación de Asignación

Dinámica de carriles (DLA) [1] y la coordinación de Ramp Metering con Límites de Velocidad Variables (VSL) aplicado por [28] representa un cambio hacia la optimización del espacio disponible sin modificar la geometría existente. En resumen, que las intervenciones mediante estrategias de Gestión, control y priorización [14], [28], [30] de vehículos también muestran resultados comparables en eficacia. Por otro lado, una limitación encontrada en estudios de gestión dinámica (semáforos adaptativos) [14], [32], es que suponen una tecnología ideal o infraestructura con sensores que actualizan constantemente los semáforos, sin errores, bajo cualquier condición climática sin latencia, mencionando que la demora por parada promedio se redujo en un 42.78% [32], el cual es en un escenario perfecto, por ello existe un pequeño margen de error. Estos hallazgos confirman que la tecnología puede sustituir parcialmente a la infraestructura física. No obstante, surge una contradicción en las estrategias de segregación del tráfico, porque en teoría, si separamos a los vehículos por tipos, dando a los camiones su propio carril el razonamiento es que los coches tendrán una mayor velocidad porque no tendrán que estar detrás de los camiones y los estudios de [35], [36] mencionan que la creación de carriles exclusivos para camiones, tienen un impacto pequeño en la velocidad de los coches (aunque no fue estadísticamente significativo) [36] o que puede volverse más lento, porque se reduce el número de carriles. Resaltando la importancia de analizar las estrategias de gestión con sus efectos.

La validez de los estudios revisados sigue procesos de calibración y validación estandarizados. La calibración se basa en modelos psicofísicos de seguimiento vehicular (Wiedemann 74 y 99), que representa la realidad siempre y cuando los parámetros como: Distancias, volúmenes, velocidades y tiempos. [6], [7], [8] estén ajustadas. Para la validación se aplican dos conceptos, la primera es: La estadística GEH que compara el volumen de vehículos reales y simulados, si el resultado es menor a 5, el modelo es muy preciso [5], [22]. La segunda manera es: MAPE, el cual mide los tiempos de viaje de cuanto demora un vehículo en ir de A hasta B en la realidad vs. En la simulación, si el resultado es menor a 15% se considera un modelo muy preciso [10]. Adicionalmente, en estudios futuros se debería avanzar hacia una calibración automatizada basada en datos masivos [32] (volumen, velocidad y variedad) complementada por Machine Learning (IA) para ajustar los parámetros en tiempo real con el objetivo de reducir el error humano.

En el análisis de eficiencia, los resultados muestran que las modificaciones físicas de las estructuras brindan las mejoras más drásticas, porque el autor [4] interviene una intersección con falla de capacidad (Nivel de Servicio F) reportando una reducción en la demora vehicular del 90.8% (de 203s a 18.7s) al convertir una intersección semaforizada en una rotonda y este hallazgo es superior a lo reportado por [25] quienes lograron una reducción del 65% (de 132s a 46.8s) mediante la adición de

carriles y semáforos en una rotonda muy saturada. En el caso de los corredores arteriales, la segregación mediante pasos a desnivel (flyovers) se presentó como una excelente solución [3] en la que documento una reducción de demora del 81.6% (72.3s a 13.3s), mientras que [23] reportaron mejoras del 64% y el 70% en intersecciones críticas en la India. En el ámbito del control semafórico, los algoritmos de Inteligencia Artificial evaluados por [32] mostraron una reducción del 55.38% en el índice de eficiencia Eco_Pi durante ciclos (simulaciones) de 24 horas, lo que representa una mejora importante frente a los métodos convencionales de semáforos con tiempos fijos como el que evalúo [8], que reportó mejoras del 6.3% al 19.3% bajo condiciones climáticas adversas. En autopistas las Ramp Metering y Límites de Velocidad Variables (VSL) redujo la demora total en un 23.8% [28]. Por lo que, se deduce que cuando la relación volumen/capacidad supera el límite 1, las soluciones geométricas superan a las de gestión dinámica y tecnológica. Entonces, la eficiencia no siempre es sinónimo de velocidad, porque el autor [38] al implementar carriles exclusivos para autobuses en Tashkent, reduce el tiempo de viaje del transporte público en un 37%, pero indirectamente provocó una disminución en el nivel de servicio del transporte privado bajo a F. En temas de seguridad, las restricciones de carril para camiones mostraron un impacto neutro o ligeramente negativo respecto a las velocidades promedio (reducción del 1% al 6% para autos), pero lograron disminución en los cambios de carril del 20% al 27% [35], [37], lo que conlleva a confirmar que ciertas estrategias priorizan la seguridad vial que la eficiencia en general. Por otro lado, los hallazgos de [1], [33], mencionan que la capacidad de una vía no debe ser tomada como un valor fijo, más bien como una variable o dato dependiente de las tecnologías de control, además que la capacidad de la vía puede elevarse mediante la homogenización del flujo [30]. En resumen, las mejoras mencionadas son sensibles a los parámetros de comportamiento, por ello es importante realizar una buena calibración y validación del modelo mediante volúmenes [4], [5], [22] o tiempos de viaje [2], [10] para considerar confiables los resultados.

V. CONCLUSIONES

En esta investigación, los tipos de redes vehiculares estudiados presentaron congestionamiento y/o complejidad operativa en los diferentes tipos de vías, en el que se aplicó el programa de PTV Vissim, debido a su gran capacidad de modelar diferentes tipos de vías, desde intersecciones (rotondas y cruces en T) hasta corredores complejos y redes de autopista con zonas de obras, independientemente del tipo de geometría de la vía.

Por otro lado, las estrategias de gestión del flujo vehicular, se centran principalmente en dos maneras, la primera es la: Intervención geométrica, que consta de rotondas, pasos a desnivel, adición de carriles, señalizaciones y canalizaciones para los problemas estructurales; la segunda es la: Gestión dinámica y Control, que consta de semáforos adaptativos,

asignación dinámica de carriles para optimizar la capacidad actual sin considerar obras viales. Es decir que, las estrategias de mejora no logran únicamente tiempos reducidos, si no mayores capacidades de flujo vehicular, porque una reduciendo considerablemente las colas (hasta un 80% con carriles virtuales de emergencia), mejora la seguridad (casi al 100% en determinadas intersecciones tipo T mediante la canalización) y mejora el nivel de servicio que indica la calidad de la circulación en una vía.

En cuanto a la validez de los modelos, la confiabilidad de los estudios evaluados depende de la calibración y validación. Para ello, se ha establecido un método recurrente de la estadística GEH (<5) para volúmenes y MAPE ($<15\%-25\%$) para tiempos de viaje, los cuales son obligatorios realizar para que el modelo digital sea una réplica de la realidad del flujo vehicular.

Finalmente, con respecto a las mejoras cuantificables de eficiencia, se halló que las mejoras geométricas logran mayores reducciones de demora ($>60\%\sim 90\%$), seguido por las mejoras de gestión y control (tecnológicas) ($20\%\sim 50\%$), el cual es una excelente opción de costo-beneficio siempre y cuando el volumen de vehículos no sea muy exagerado y se cuente con la información masiva.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Profesora Violeta Quevedo, Julio Anwar y a mi asesor Wilder Eder

REFERENCIAS

- [1] M. Vujić, L. Dedić, and M. Majstorović, "The modeling and application of dynamic lane assignment in urban areas: a case study of Vukovar Street in Zagreb, Croatia," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 12, p. 6479, Jun. 2025, doi: 10.3390/app15126479.
- [2] Y. Wang, B. Pan, Z. Xie, M. Shao, M. Shi, and X. Tian, "Evaluation of different Work Zone Road-Occupation Schemes for monorail construction," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 24, p. 13200, Dec. 2023, doi: 10.3390/app132413200.
- [3] M. S. Riaz et al., "Strategic utilization of microsimulation for sustainable traffic analysis and intersection improvement," *The Open Transportation Journal*, vol. 17, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.2174/0126671212281061231123113624.
- [4] C. Yaibok, P. Suwanno, T. Pornbunyanon, C. Kanjanakul, P. Luatthep, and A. Fukuda, "Improving urban intersection safety insights from simulation analysis," *IATSS Research*, vol. 48, no. 4, pp. 523–536, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.iatssr.2024.10.005.
- [5] N. K. Lee, N. H. Park, and N. S. M. Lee, "Assessing the effectiveness of exclusive truck lanes: A Korean Expressways case study," *Advances in Technology Innovation*, vol. 10, no. 2, pp. 174–185, Apr. 2025, doi: 10.46604/aiti.2024.14507.
- [6] M. B. Ulak et al., "Assessment of traffic performance measures and safety based on driver age and experience: A microsimulation based analysis for an unsignalized T-intersection," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 6, no. 5, pp. 455–469, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jtte.2018.05.004.
- [7] J. Mistry, P. Chaudhari, S. Arkatkar, and C. Antoniou, "Examining Traffic Operations at Multi-Legged Intersection Operating under Heterogeneous Traffic: A Case Study in India," *Transportation Research Procedia*, vol. 62, pp. 83–90, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.trpro.2022.02.011.

- [8] Z. Lu, L. Fu, and T. J. Kwon, "Effects of winter weather on traffic operations and optimization of signalized intersections," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, vol. 6, no. 2, pp. 196–208, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.jtte.2018.02.002.
- [9] Z. Liu, K. Li, and Y. Ni, "Optimization of bus stops layout under the conditions of coordinated control," *Transportation Research Procedia*, vol. 25, pp. 1585–1596, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.190.
- [10] Y. Shao *et al.*, "Evaluation of Two Improved Schemes at Non-Aligned Intersections Affected by a Work Zone with an Entropy Method," *Sustainability*, vol. 12, no. 14, p. 5494, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12145494.
- [11] R. Tian and X. Zhang, "Design and evaluation of an adaptive traffic signal control system – a case study in Hefei, China," *Transportation Research Procedia*, vol. 21, pp. 141–153, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.03.084.
- [12] M. D. Alahmadi and A. S. Alzahrani, "Improving freight traffic efficiency at urban intersections using heavy vehicle platooning," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 5, p. 2682, Mar. 2025, doi: 10.3390/app15052682.
- [13] O. K. Bore and R. Ambunda, "Microscopic evaluation of traffic operations on urban arterial roads: the case of Ongwediva, Namibia," *Transportation Research Procedia*, vol. 89, pp. 594–620, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.trpro.2025.05.085.
- [14] I. Khelifat, M. Naser, F. Alhomaidat, and S. Hanandeh, "Improving the capacity and level of service at the Sixth Circle in Jordan by using traffic signals and roundabout metering approach," *The Open Transportation Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 69–80, May 2021, doi: 10.2174/1874447802115010069.
- [15] M. J. Page *et al.*, "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, Mar. 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [16] D. Moher *et al.*, "Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement," *Systematic Reviews*, vol. 4, no. 1, p. 1, Jan. 2015, doi: 10.1186/2046-4053-4-1.
- [17] A. D. F. Leon, K. F. G. Salinas, and M. Brito, "The role of acetylsalicylic acid in forage production: scientific evidence and human dimensions of agricultural innovation," *Journal of Global Innovations in Agricultural Sciences*, pp. 1257–1265, Oct. 2025, doi: 10.22194/jgias/25.1835.
- [18] [1] G. Miñan, J. Moreno, and X. Fernández, "LIA method for the application of Microsoft Excel in data tabulation in systematic reviews," in *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 3691, pp. 1–12, Dec. 2023.
- [19] G. Urrutia and X. Bonfill, "PRISMA declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses," *Medicina Clinica (Barc.)*, vol. 135, no. 11, pp. 507–511, Oct. 2010.
- [20] S. Briscoe, "Errors to avoid when searching for studies for systematic reviews: A guide for nurse researchers," *International Journal of Older People Nursing*, vol. 18, no. 3, pp. 1–7, May 2023.
- [21] P. Fernandes, M. C. Coelho, and N. M. Roupail, "Assessing the impact of closely-spaced intersections on traffic operations and pollutant emissions on a corridor level," *Transportation Research Part D Transport and Environment*, vol. 54, pp. 304–320, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.05.016.
- [22] H. Priya, K. K. V. R. R. Shankar, C. S. R. K. Prasad, and T. S. Reddy, "Evaluation of area traffic management measures using microscopic simulation model," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 104, pp. 815–824, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.11.176.
- [23] M. M. Bandi and V. George, "Microsimulation modelling in VISSIM on short-term and long-term improvements for Mangalore City Road Network," *Transportation Research Procedia*, vol. 48, pp. 2725–2743, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.trpro.2020.08.243.
- [24] S. Farivar and Z. Z. Tian, "Modeling delay at signalized intersections with channelized right-turn lanes considering the impact of blockage," *Journal of Advanced Transportation*, vol. 50, no. 8, pp. 1666–1682, Oct. 2016, doi: 10.1002/atr.1422.
- [25] N. Nikitin, V. Patskan, and I. Savina, "Efficiency Analysis of Roundabout with Traffic Signals," *Transportation Research Procedia*, vol. 20, pp. 443–449, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.072.
- [26] Z. Cai, M. Xiong, D. Ma, and D. Wang, "Traffic design and signal timing of staggered intersections based on a sorting strategy," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 8, no. 4, Apr. 2016, doi: 10.1177/1687814016641292.
- [27] M. Algomaiah and Z. Li, "Exploring work zone late merge strategies with and without enabling connected vehicles technologies," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 9, p. 100316, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.trip.2021.100316.
- [28] M. F. Tafti, "A study on the merits for Coordinated use of ramp metering and variable speed limit traffic control systems," *The Open Transportation Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 230–245, Jul. 2018, doi: 10.2174/1874447801812010230.
- [29] D.-Z. Mitkas and I. Politis, "Evaluation of alternative Ramp Metering scenarios on freeway on-ramp with the use of microscopic simulation software Vissim," *Transportation Research Procedia*, vol. 45, pp. 483–490, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.042.
- [30] Y. Wang, M. Zhang, X. Yang, T. Wei, X. Zhang, and L. Wang, "Research on virtual emergency lane optimization and control strategy based on VISSIM expressway," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 16, no. 12, p. 103750, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.asej.2025.103750.
- [31] A. Psarra, A. Kopsacheilis, and I. Politis, "A dynamic pedestrian to infrastructure scheme around metro areas. A traffic microsimulation study in Thessaloniki, Greece," *Transportation Research Procedia*, vol. 90, pp. 368–375, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.trpro.2025.06.131.
- [32] V. K. Kumarasamy *et al.*, "Integration of Decentralized Graph-Based Multi-Agent Reinforcement Learning with Digital Twin for Traffic Signal Optimization," *Symmetry*, vol. 16, no. 4, p. 448, Apr. 2024, doi: 10.3390/sym16040448.
- [33] S. Park, J. Kim, S. Lee, and K. Hwang, "Experimental Analysis on control constraints for connected vehicles using Vissim," *Transportation Research Procedia*, vol. 21, pp. 269–280, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.03.097.
- [34] Q. Fu, Y. Tian, and J. Sun, "Modeling and simulation of dynamic lane reversal using a cell transmission model," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol. 26, no. 6, pp. 717–729, Sep. 2021, doi: 10.1080/15472450.2021.1973898.
- [35] N. Gonah, H. Salama, M. Ali, and M. Elsopky, "An evaluation of the impact of truck-lane restriction strategies on traffic operation characteristics," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 10, no. 4, Mar. 2025, doi: 10.1007/s41062-025-01928-9.
- [36] J. L. Mwakalonge and R. Moses, "Evaluation of truck lane Restriction on Non-Limited Access Urban Arterials," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 191–204, Jun. 2012, doi: 10.1260/2046-0430.1.2.191.
- [37] S. Moridpour, E. Mazloumi, M. Sarvi, and G. Rose, "Enhanced evaluation of heavy vehicle lane restriction strategies in microscopic traffic simulation," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 138, no. 2, pp. 236–242, May 2011, doi: 10.1061/(asce)te.1943-5436.0000301.
- [38] B. Khakimov and S. Tanaka, "Evaluation of the impact of exclusive bus lanes on traffic in Tashkent," *Asian Transport Studies*, vol. 10, p. 100151, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.eastsj.2024.100151.
- [39] Y. Gao, Z. Qu, X. Song, and Z. Yun, "Modeling of urban road network traffic carrying capacity based on equivalent traffic flow," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 115, p. 102462, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.simpat.2021.102462.
- [40] F. V. Monteiro and P. Ioannou, "Safe autonomous lane changes and impact on traffic flow in a connected vehicle environment," *Transportation Research Part C Emerging Technologies*, vol. 151, p. 104138, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.trc.2023.104138.
- [41] J. Ortigosa, M. Menendez, and H. Tapia, "Study on the number and location of measurement points for an MFD perimeter control scheme: a case study of Zurich," *EURO Journal on Transportation and Logistics*, vol. 3, no. 3, pp. 245–266, Sep. 2013, doi: 10.1007/s13676-013-0034-0.
- [42] PTV Group, "PTV Vissim – Traffic Simulation Software", PTV, [En línea]. Disponible en: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>