

**Retos en la Implementación de Sistemas Avanzados de Monitoreo y Control para Mejorar
la Seguridad Vial en Colombia**

Duván Danilo Reyes Fernández, German Yezid Rincón Oyola

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Miller Humberto Salas Rondón

Doctor en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A nuestros padres, por su apoyo incondicional de inicio a fin y en cada reto en el camino; a nuestros hermanos, compañeros en nuestras noches de desvelo y a nuestros amigos con quienes disfrutamos cada parte del proceso y fueron cómplices en cada historia dentro de nuestro pregrado. Este logro también es suyo, y en este viaje que hoy termina les damos gracias por ser nuestra fuerza y refugio.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios, cuya guía y fortaleza nos han permitido llegar hasta este momento especial en nuestra vida académica. A nuestros padres y familiares, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios, que han sido fundamentales en nuestro camino. A nuestros amigos cercanos, por su compañía, palabras de aliento y confianza en nosotros. Expresamos también nuestra profunda gratitud a nuestro director, por su orientación, paciencia y valiosos conocimientos, así como a todas las personas que, de una u otra manera, nos acompañaron y contribuyeron al desarrollo de nuestro trabajo de grado. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Antecedentes	13
1.1 Marco Legal	14
1.2 Sistemas Avanzados de Monitoreo	15
1.2.1 Sistemas de Supervisión del Entorno.....	16
1.2.2 Sistemas de Asistencia al Conductor	16
2. Objetivos	18
2.1 Objetivo General.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. Metodología	19
3.1 Elaboración de la encuesta.....	22
4. Resultados	23
4.1 Análisis bibliométrico.....	23
4.2 Resultados de la encuesta.....	28
4.3 Principales hallazgos.....	33
4.3.1 Monitoreo del transporte utilizando un teléfono inteligente.....	37
4.3.2 Aplicaciones de los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS)	39
4.3.3 Sistema de Transporte Inteligente para el Monitoreo del Tráfico	40
5. Conclusiones	42
6. Recomendaciones	45

Referencias Bibliográficas	47
Apéndices	56

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Artículos por año de publicación</i>	26
Tabla 2. <i>País de publicación de artículos</i>	26
Tabla 3. <i>Literatura agrupada por variables</i>	28
Tabla 4. <i>Desafíos y soluciones para la implementación de sistemas avanzadas de monitoreo y control en Colombia</i>	60
Tabla 5. <i>Análisis bibliométrico complementario</i>	73

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Edad de los encuestados</i>	30
Figura 2. <i>Años de experiencia conduciendo</i>	31
Figura 3. <i>Sistema de seguridad vial que conocen los encuestados</i>	33
Figura 4. <i>Edad por rangos de los encuestados</i>	69
Figura 5. <i>Género de los encuestados</i>	69
Figura 6. <i>Frecuencia de conducción de encuestados</i>	70
Figura 7. <i>Grado de escolaridad encuestados</i>	70
Figura 8. <i>Tipo de vehículo que conducen los encuestados</i>	71
Figura 9. <i>Conocimiento de los sistemas avanzados de monitoreo y control por parte de los encuestados</i>	71
Figura 10. <i>Sistemas avanzados que conocen los encuestados</i>	72
Figura 11. <i>Experiencia usando los sistemas avanzados</i>	72
Figura 12. <i>Implementación de los sistemas avanzados de monitoreo y control en vehículos de los encuestados</i>	73
Figura 13. <i>Posición respecto al potencial de mejorar la seguridad vial en Colombia</i>	73
Figura 14. <i>Disposición para pagar tarifas que ayuden con la implementación de sistemas avanzados</i>	74
Figura 15. <i>Costos que estarían dispuestos a pagar para implementar los sistemas en los vehículos de los encuestados</i>	74
Figura 16. <i>Posición respecto a la vulnerabilidad y privacidad de datos</i>	75
Figura 17. <i>Posición respecto a la recopilación de datos por parte del gobierno</i>	75

Lista de Apéndices

	pág.
Apéndice A. Información de desafíos y soluciones para la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control en Colombia	60
Apéndice B. Formato encuesta aplicada	62
Apéndice C. Resultados de la encuesta aplicada	68

Resumen

Título: Retos en la Implementación de Sistemas Avanzados de Monitoreo y Control para Mejorar la Seguridad Vial en Colombia^{1*}

Autor: Duván Danilo Reyes Fernández, German Yezid Rincón Oyola^{2*}

Palabras Clave: Seguridad vial, sistemas de monitoreo, control de tráfico, tecnología vehicular, accidentalidad, Colombia, implementación tecnológica, políticas públicas.

Descripción: Este artículo analiza los desafíos asociados a la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control para mejorar la seguridad vial en Colombia. La investigación aborda la problemática de la alta tasa de siniestralidad vial en el país y examina cómo las nuevas tecnologías pueden contribuir a su reducción. Se exploran los obstáculos técnicos, económicos, comerciales, de infraestructura, legales, culturales y éticos que dificultan la adopción de estas soluciones innovadoras en el contexto colombiano. El estudio emplea una metodología mixta, combinando revisión bibliométrica, análisis de normativas y encuestas a usuarios determinados del sistema vial. A través de este enfoque, se busca obtener una visión integral sobre las barreras existentes y las oportunidades de mejora. Los resultados revelan la importancia de estructurar una estrategia integral que incluya adecuación de infraestructura, actualización legislativa, capacitación de personal y campañas de concientización pública para fomentar el uso y la aceptación de estas tecnologías. Se concluye que, a pesar de los retos identificados, la implementación gradual de estos sistemas tiene el potencial de transformar significativamente la seguridad vial en Colombia. La reducción de accidentes de tránsito no solo salvaría vidas, sino que también disminuiría los costos socioeconómicos asociados, beneficiando a la sociedad en su conjunto.

^{1*} Trabajo de Grado

^{2**} Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Miller Humberto Salas Rondón. Doctor en Gestión del Territorio e Infraestructuras del Transporte.

Abstract

Title: Challenges in Implementing Advanced Monitoring and Control Systems to Improve Road Safety in Colombia ^{3*}

Author(s): Duván Danilo Reyes Fernández, German Yezid Rincón Oyola ⁴

Key Words: road safety, monitoring systems, traffic control, vehicle technology, accident rates, Colombia, technological implementation, public policies.

Description: This article analyzes the challenges associated with the implementation of advanced monitoring and control systems to improve road safety in Colombia. The research addresses the issue of the high rate of road accidents in the country and examines how new technologies can contribute to its reduction. The study explores the technical, economic, commercial, infrastructural, legal, cultural, and ethical obstacles that hinder the adoption of these innovative solutions in the Colombian context. The study employs a mixed methodology, combining bibliometric review, regulatory analysis, and surveys of selected road system users. This approach seeks to provide a comprehensive perspective on the current barriers and the opportunities for improvement. By identifying key factors affecting implementation, the study aims to offer recommendations for a more effective and sustainable adoption of these systems. The findings highlight the need for a comprehensive strategy that includes infrastructure adaptation, legislative updates, personnel training, and public awareness campaigns. These elements are essential to encourage the use and acceptance of advanced monitoring technologies, fostering a safer road environment. It is concluded that, despite the challenges, the gradual implementation of these systems has the potential to significantly enhance road safety in Colombia. Reducing traffic accidents would not only save lives but also lower the socioeconomic costs associated with road incidents, ultimately benefiting society as a whole.

^{3*} Degree Work

⁴Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Miller Humberto Salas Rondón. PhD in Land Management and Transport Infrastructure.

Introducción

Hoy en día, las ciudades albergan aproximadamente el 55% de la población mundial, lo que equivale a 4.2 mil millones de personas. Se espera que esta tendencia continúe en aumento hasta un 13% en los próximos años, lo que significa que para el año 2050, la población urbana mundial incrementará a un 68% (Naciones Unidas, 2018). De esta manera, aproximadamente 7 de cada 10 personas residirán en áreas urbanas.

Por otro lado, el alto costo de vida en los distritos industriales y en las áreas comerciales y de servicios que generan empleo obliga a los trabajadores a vivir lejos de estos centros, lo que los lleva a desplazarse diariamente entre sus hogares y sus destinos. Además, existen otros desplazamientos relacionados con necesidades como la educación, la salud, la recreación y actividades financieras y legales, lo que incrementa el flujo vehicular y, por ende, la saturación de las vías (Bull, 2003).

En el escenario actual de las ciudades, la congestión vehicular se ha convertido en un problema importante, ya que afecta los tiempos de desplazamiento, aumenta la incidencia de accidentes de tránsito debido a la premura de las personas por cumplir con sus actividades y genera pérdidas económicas. Los centros urbanos son los más afectados debido a la alta afluencia vehicular. Por ello, contar con información en tiempo real sobre la densidad del tráfico sería una herramienta útil para optimizar la movilidad urbana. Entre los factores que contribuyen a la congestión vehicular se encuentran la capacidad inadecuada de la infraestructura vial, el aumento del parque automotor y los retrasos significativos en los semáforos. Si bien las restricciones de capacidad y demanda están interrelacionadas, reducir los tiempos de espera en los semáforos es una estrategia viable para mejorar la gestión del tráfico (ONU-Habitat, 2022).

En los últimos años, los sistemas de procesamiento de imágenes y vigilancia se han convertido en herramientas clave para la gestión del tráfico. Estas tecnologías permiten estimar la densidad vehicular mediante el análisis de imágenes y el rastreo de automóviles en movimiento, proporcionando así datos cuantitativos sobre el flujo de tráfico (Bull, 2003).

El crecimiento incontrolado del número de vehículos ha convertido la gestión del tráfico en un desafío, especialmente en ciudades densamente pobladas, donde las estrategias tradicionales resultan insuficientes. En este contexto, los sistemas de monitoreo en tiempo real han cobrado relevancia, pues permiten optimizar la frecuencia de los semáforos y mejorar la movilidad urbana. Medidas como el pico y placa, los días sin carro, las restricciones para vehículos de carga pesada y el incremento en el valor de las sanciones han sido implementadas con el fin de mejorar la movilidad, aunque en muchos casos han resultado insuficientes (Bull, 2003).

Los accidentes de tránsito representan una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en Colombia. Según la Agencia Nacional de Seguridad Vial, entre 2018 y 2023 se registró un aumento del 25% en el número de muertes por accidentes de tránsito, pasando de 6.826 a 8.546 fallecimientos anuales. Esto equivale a una tasa de 16,4 muertes por cada 100.000 habitantes en 2023 (Infobae, 2022). Esta problemática resalta la urgencia de implementar estrategias innovadoras para mejorar la seguridad vial.

En este sentido, los sistemas avanzados de monitoreo y control se presentan como herramientas fundamentales para reducir la siniestralidad vial. En 2023, el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses reportó 33.119 víctimas no mortales, lo que representa el 79,4% del total de incidentes de tránsito (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2023). Tecnologías como el frenado automático de emergencia, la advertencia de cambio de carril y el control de cruce adaptativo han demostrado su eficacia en la reducción de

accidentes. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, la integración de tecnologías avanzadas en los vehículos y en la infraestructura vial es un pilar esencial para mejorar la seguridad en las carreteras (ONU-Habitat, 2022).

Por ello, el objetivo principal de este estudio fue analizar los retos asociados a la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control para mejorar la seguridad vial en Colombia. A través de una metodología mixta, que combinó análisis bibliométrico, revisión de normativas y encuestas a usuarios del sistema vial, se buscó responder la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los principales desafíos para la implementación de nuevas tecnologías en la seguridad vial en Colombia y cómo pueden superarse?

1. Antecedentes

La situación actual de la seguridad vial en Colombia presenta un panorama preocupante. Según el informe más reciente de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), en 2023 se registraron 8.546 muertes por accidentes de tránsito (Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2023), lo que representa una tasa de 16.4 defunciones por cada 100.000 habitantes (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2023). Por su parte el autor Rodríguez Hernández señaló que esta alta tasa de accidentalidad ha persistido a pesar de los esfuerzos realizados durante la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 (Rodríguez Hernández, 2021, p. 45-62).

Los sistemas avanzados de monitoreo y control para seguridad vial representan una prometedora solución tecnológica. Estos sistemas incluyen una amplia gama de tecnologías, como el frenado automático de emergencia (AEB), la alerta de colisión frontal (FCWS), el control de cruceo adaptativo (ACC), y la asistencia de mantenimiento de carril (LKAS), entre otros. Autores

como Khan y Lee (Khan & Lee, 2019) identificaron que estos sistemas ayudan a prevenir accidentes y pueden mitigar la gravedad de estos cuando ocurren.

Las experiencias internacionales en la implementación de estos sistemas ofrecen lecciones valiosas. En la Unión Europea, por ejemplo, el Reglamento (UE) 2019/2144 ha hecho obligatoria la instalación de varios sistemas avanzados de asistencia al conductor en todos los vehículos nuevos a partir de 2022 (Hsieh & Shannon, 2005). Isaksson-Hellman y Lindman (2016) mostraron, a partir de un estudio en Suecia, que los vehículos equipados con sistemas AEB experimentaron una reducción del 38 % en colisiones por alcance en entornos urbanos (p.25-29).

1.1 Marco Legal

En Colombia, la regulación de los Sistemas Inteligentes para la Infraestructura, el Tránsito y el Transporte (SIT) se encuentra establecida en el Decreto 2060 de 2015, el cual sienta las bases para su implementación con el objetivo de mejorar la movilidad y la seguridad vial (Decreto 2060 de 2015, 2015). Este decreto promueve el uso de tecnologías avanzadas para la gestión del tráfico, el monitoreo de la infraestructura vial y la optimización del transporte público. Sin embargo, su aplicación enfrenta limitaciones significativas, como la falta de mecanismos efectivos de supervisión, el acceso restringido a tecnologías adecuadas y la necesidad de mayor coordinación interinstitucional. Como señalan Useche et al. (2018), la efectividad de estas normativas se ve comprometida por la deficiencia en los sistemas de control y sanción, lo que dificulta su cumplimiento y aplicación uniforme en todo el país.

Por su parte, el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida" enfatiza la importancia de la innovación tecnológica en la seguridad vial, planteando una política pública integral que fomenta el uso de sistemas avanzados de monitoreo y control para

reducir la accidentalidad y mejorar la movilidad (Departamento Nacional de Planeación, 2022). No obstante, la adopción de estas tecnologías debe considerar cuidadosamente las implicaciones en materia de protección de datos personales, reguladas por la Ley 1581 de 2012 (Ley 1581 de 2012, 2012).

La Ley 1581 de 2012 establece el marco normativo para la protección de datos personales en Colombia, garantizando el derecho fundamental a la privacidad y regulando el tratamiento de la información recopilada por entidades públicas y privadas. En el contexto de los sistemas inteligentes de transporte, esta ley impone límites y responsabilidades en la recopilación, almacenamiento y uso de los datos generados por dispositivos de monitoreo, cámaras de vigilancia y sistemas de geolocalización, entre otros.

Dado lo anterior, la implementación de tecnologías de monitoreo y control en la seguridad vial requiere una regulación clara y estricta que equilibre la eficiencia operativa con la protección de la privacidad de los ciudadanos. La falta de lineamientos específicos sobre el uso de datos personales en los sistemas de transporte inteligente representa un desafío que debe abordarse para garantizar un desarrollo tecnológico alineado con el marco legal vigente.

1.2 Sistemas Avanzados de Monitoreo

La constante evolución de la industria automotriz está impulsada por la búsqueda de tecnologías que mejoren la experiencia de conducción y la seguridad vial. En este contexto, los sistemas de asistencia y monitoreo del conductor han mejorado significativamente la interacción entre el usuario y el vehículo.

Estos sistemas recopilan información sobre el entorno vehicular y el comportamiento del conductor en tiempo real mediante sensores, cámaras, radares y otros dispositivos. A partir de este

análisis, ofrecen diversas funciones para asistir a los conductores en la conducción, prevenir accidentes y mejorar la seguridad vial (MITRE Corporation, 2022).

1.2.1 Sistemas de Supervisión del Entorno

Alerta de Colisión Frontal (FCWS): Detecta la posibilidad de una colisión frontal con un vehículo o peatón y alerta al conductor con señales visuales y auditivas para que tome medidas evasivas (Khan & Lee, 2019; MITRE Corporation, 2022).

Frenado Automático de Emergencia (AEB): Si la alerta de colisión frontal no recibe respuesta, el AEB aplica los frenos automáticamente para evitar o reducir la gravedad de la colisión (Khan & Lee, 2019; MITRE Corporation, 2022).

Alerta de Cambio de Carril (LDWS): Detecta la intención del conductor de cambiar de carril sin señalizar y emite alertas auditivas o vibraciones en el volante si hay un vehículo en el punto ciego (Khan & Lee, 2019; MITRE Corporation, 2022).

Monitoreo de Punto Ciego (BSM): Detecta vehículos en el punto ciego mediante sensores de radar o ultrasonidos y alerta al conductor mediante una luz indicadora en el espejo retrovisor o señales auditivas (Khan & Lee, 2019; MITRE Corporation, 2022).

Detección de Peatones y Ciclistas (PDW): Identifica la presencia de peatones y ciclistas en la vía mediante cámaras y radares, alertando al conductor con señales auditivas o visuales para evitar atropellos (Khan & Lee, 2019; MITRE Corporation, 2022).

1.2.2 Sistemas de Asistencia al Conductor

Control de Crucero Adaptativo (ACC): Mantiene la velocidad constante y segura del vehículo incluso en condiciones de tráfico congestionado, ajustando la distancia con el vehículo precedente (Khan & Lee, 2019).

Asistencia de Mantenimiento de Carril (LKAS): Emite alertas auditivas o vibraciones en el volante para ayudar al conductor a mantener el vehículo dentro del carril (Khan & Lee, 2019).

Asistencia al Estacionamiento (PAS): Facilita el estacionamiento de forma automática o semiautomática, empleando sensores para detectar obstáculos (Khan & Lee, 2019).

Visión Nocturna: Utiliza cámaras infrarrojas o tecnología de visión nocturna para mejorar la visibilidad del conductor en condiciones de poca luz o niebla (Khan & Lee, 2019).

En este contexto, Pino y Puche han realizado investigaciones locales enfocadas en el desarrollo de sistemas para detectar la somnolencia en conductores, un factor de riesgo en la accidentalidad vial colombiana. Estos esfuerzos demuestran el creciente interés en adaptar y desarrollar tecnologías de seguridad vial al contexto específico del país.

La implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control en Colombia enfrenta desafíos únicos debido a la complejidad de su sistema de transporte. Como señalan Rodríguez y colaboradores la presencia de modos de transporte informal como mototaxis y bicitaxis añade un nivel adicional de complejidad que debe ser considerado en cualquier estrategia de implementación tecnológica (Rodríguez et al., 2020).

2.Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar los requerimientos para la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial en Colombia.

2.2 Objetivos Específicos

Aplicar herramientas bibliométricas para clasificar y analizar las bases de datos para determinar tendencias a nivel global.

Comprender las implicaciones legales y de protección de datos relacionadas con la recopilación y uso de información por parte de los sistemas avanzados de monitoreo para reducir la accidentalidad.

Identificar estrategias y medidas efectivas para incentivar la adopción y aceptación de estos sistemas por parte de conductores de todo tipo de en Colombia para mejorar la seguridad vial.

3. Metodología

Este estudio adoptó un enfoque de investigación mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos. La metodología se centró en herramientas de recolección de datos como el análisis bibliométrico, la revisión de normativas y la aplicación de una encuesta. Para clasificar y analizar las bases de datos con el fin de identificar tendencias a nivel global, se aplicaron herramientas bibliométricas. El análisis se llevó a cabo utilizando Bibliometrix, un paquete de código abierto para R que permite un estudio detallado de la literatura científica. La búsqueda de información se realizó en las bases de datos Web of Science y Scopus, empleando las palabras clave: "advanced driver assistance systems", "road safety", "implementation challenges", "developing countries" y "Colombia". Para garantizar la actualidad y relevancia de los datos, el período de búsqueda se limitó a los últimos cinco años (2020-2024).

El proceso de análisis bibliométrico siguió el flujo de trabajo propuesto por Aria y Cuccurullo (2017), que abarca la recolección de datos bibliográficos, el análisis de la estructura conceptual del campo de investigación y la identificación de temas emergentes. Además, se llevaron a cabo análisis de co-citación y acoplamiento bibliográfico, así como la visualización de redes de colaboración entre autores y países.

En el análisis del proceso bibliográfico realizado en R, inicialmente, se importaron los documentos bibliográficos seleccionados mediante una hoja de cálculo en formato compatible con R, incluyendo datos como autor, año, idioma, país y tipo de publicación. Posteriormente, se procedió al preprocesamiento de datos, donde se eliminan duplicados y registros incompletos utilizando las bibliotecas dplyr y tidyr, lo cual permitió estructurar la información de manera uniforme para el análisis posterior.

El análisis temporal se llevó a cabo con la biblioteca ggplot2, graficando las publicaciones por año y revelando un aumento considerable en 2024, con un total de 23 publicaciones en contraste con los años previos. En cuanto a la distribución geográfica, se mapean las publicaciones por país utilizando las bibliotecas sf y tmap, señalando la alta participación de Colombia, con siete publicaciones, junto a otros países con menor contribución. Además, se realizó una clasificación por idioma mediante tablas de frecuencia y gráficos circulares, reflejando que la mayoría de los documentos estaban en inglés (27), seguidos por español (15). Así, la exploración de tendencias temáticas empleó la biblioteca tm y algoritmos de minería de texto, identificando palabras clave como IoT (Internet of Things), ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) y seguridad vial.

Para comprender las implicaciones legales y de protección de datos en la recopilación y uso de información por parte de los sistemas avanzados de monitoreo para la reducción de la accidentalidad, se empleó un enfoque de análisis documental cualitativo. Este proceso implicó la recopilación y revisión sistemática de leyes, decretos, resoluciones y planes nacionales relacionados con la seguridad vial y la implementación de tecnologías de monitoreo y control en Colombia. Las principales fuentes consultadas fueron el sitio web de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), el Sistema Único de Información Normativa (SUIN-Juriscol) y los repositorios documentales del Ministerio de Transporte y del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

El análisis normativo se llevó a cabo siguiendo el método de análisis de contenido propuesto por Hsieh y Shannon. En primer lugar, se realizó una lectura exploratoria para obtener una visión general del contenido de los textos. Luego, se identificaron los conceptos clave y se desarrolló un esquema para organizar y clasificar la información relevante. Finalmente, se verificó

la coherencia del esquema para garantizar la validez del análisis y se extrajeron conclusiones a partir de los datos organizados (Hsieh & Shannon, 2005).

Para el análisis de los datos recopilados, se utilizó una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos. Los estadísticas descriptivas y análisis de redes, implementados a través del paquete Bibliometrix en R. Esto permite identificar tendencias en la investigación, autores y países líderes, y temas emergentes en el campo de los sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial. Por otro lado, los datos cualitativos provenientes de la revisión de normativas se analizan utilizando el método de análisis temático propuesto por Braun y Clarke, lo que implicó la identificación de patrones o temas dentro de los datos cualitativos y se realizó en seis fases: familiarización con los datos, generación de códigos iniciales, búsqueda de temas, revisión de temas, definición y nombramiento de temas, y producción del informe (Braun & Clarke, 2006). Por último, se integraron los resultados del análisis bibliométrico y la revisión normativa mediante una síntesis narrativa. Este enfoque permitió combinar los hallazgos de ambas fuentes, ofreciendo una visión integral de los desafíos en la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial en Colombia.

Con el objeto de identificar estrategias y medidas efectivas para incentivar la adopción y aceptación de estos sistemas por parte de conductores en Colombia, se realizaron encuestas y entrevistas a conductores para comprender sus percepciones y actitudes hacia los sistemas avanzados de monitoreo y seguridad vial. En esta investigación se tomó como universo el número de vehículos matriculados en el país, tomando como población objeto de investigación los vehículos matriculados en el Área Metropolitana de Bucaramanga (849.000 para el año 2023). Con el fin de garantizar un porcentaje de confianza del 95%, se tomó como muestra representativa la cantidad de 200 vehículos, que arrojan un porcentaje de error del 6.93%. En la toma de

información se tuvieron en cuenta automóviles tanto de servicio particular como público, y conductores mayores de 18 años de género femenino y masculino.

Para hallar el porcentaje de error, se tuvo en cuenta la siguiente fórmula:

$$ME = z * \sqrt{\frac{p * (1 - p)}{n}}$$

Donde:

ME: Margen de error

z: valor crítico de la distribución normal estándar

(para un nivel de confianza del 95%, $z=1.96$)

p: proporción estimada ($p=0.5$ para maximizar el margen de error)

n: tamaño de la muestra (200 encuestados)

Cabe resaltar que existe un sesgo por vehículos que, a pesar de transitar en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se encuentran matriculados fuera de ella.

3.1 Elaboración de la encuesta

Para el desarrollo de esta actividad, se diseñó un formulario de encuesta con la herramienta de Google forms, que permite la tabulación inmediata de la información y vinculación con hojas de cálculo que visualizan los comportamientos y tendencias a analizar a través de gráficas y tablas en Excel. La encuesta constó de 15 preguntas de selección con única y múltiple respuesta, de las cuales 6 corresponden a datos personales no específicos para evaluar la población encuestada, 3 que permiten valorar el conocimiento general de la muestra en cuanto a los sistemas de monitoreo

y control para la seguridad vial y las restantes 6 preguntas evidencian la disposición a la implementación en sus vehículos y el uso de datos personales.

3.1.1 Recolección de datos

Se tomaron encuestas a conductores de automóviles particulares y de transporte público (taxis) en los cuatro municipios del Área Metropolitana de Bucaramanga, en puntos estratégicos, esto es zonas muy concurridas o con acceso directo a una autopista (vías nacionales). En Bucaramanga, la recolección de datos se realizó a la entrada (en ambos sentidos) de las tres vías más concurridas: carrera 15, carrera 27 y carrera 33). Para Floridablanca, en el sitio conocido como “papi quiero piña” y en el semáforo ubicado en la calle 34 con carrera 9, junto al Colegio Panamericano. En el municipio de Girón, en la avenida Los caneyes frente al supermercado METRO CENCOSUD y en el conocido terminalito de Girón ubicado la carrera 29A con calle 34A. Por último, para el municipio de Piedecuesta, en el semáforo ubicado frente a la Estación de servicio El Molino y en el intercambiador ubicado en el barrio quinta granada.

4. Resultados

4.1 Análisis bibliométrico

De acuerdo con el análisis bibliométrico sobre los requerimientos para la implementación de sistemas de monitoreo y control enfocados en la seguridad vial, realizado previamente, se identificaron publicaciones de los últimos cinco años en inglés y español, lo que arrojó 54 documentos, de los cuales 42 corresponden a artículos científicos, y 12 a informes, planes o programas especializados. Durante el proceso de selección, se excluyeron 12 documentos debido a no cumplir con los criterios establecidos, ya sea por haber sido publicados fuera del periodo

delimitado, por tratarse de estudios especializados que no abordaban directamente los sistemas de monitoreo y control, o por ser duplicados en las bases de datos revisadas. El conjunto final de 42 documentos fue analizado para identificar tendencias temáticas, enfoques metodológicos y aspectos clave relacionados con la implementación de dichos sistemas.

Los resultados preliminares del análisis bibliométrico sugieren un interés creciente en la utilización de tecnologías emergentes, como el Internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial, para optimizar la seguridad vial. Asimismo, se encuentra un enfoque que considera factores técnicos, normativos y sociales. Entonces, como lo muestra la Tabla 1 el año 2024 concentra más de la mitad de los artículos considerados en el análisis (23), seguido por el 2023 con 7 publicaciones y 2020 con 5.

Tabla 1.

Artículos por año de publicación

Año	Frecuencia
2020	5
2021	3
2022	4
2023	7
2024	23
Total	42

Asimismo, se encontraron 27 artículos en idioma inglés y 15 en español. Además, como se muestra en la tabla 2, frente al país donde se realizó la publicación de los artículos encontrados, se identificaron 7 de Colombia, mientras que, Estados Unidos se registra con 4 y para Ecuador e India con 3 cada nación.

Tabla 2.*País de publicación de artículos*

País	Frecuencia
Colombia	7
Ecuador	3
India	3
Estados Unidos	4
Rusia	2
Ucrania	2
Suecia	2
México	1
Tailandia	1
Australia	1
Emiratos Árabes	1
Venezuela	1
El Salvador	1
Reino Unido	1
Eslovaquia	1
China	1
Polonia	1
Marruecos	1
Irak	1
Indonesia	1
Austria	1
Bangladesh	1
Bulgaria	1
Alemania	1
Brasil	1
Total	42

La Tabla 3 expone las principales variables encontradas en la literatura analizada sobre la implementación de sistemas de monitoreo y control en seguridad vial, es decir, sobre "Infraestructura tecnológica", "Gestión y análisis de datos", "Políticas y normativas", y "Capacitación y sensibilización".

Por un lado, la infraestructura tecnológica contempla la implementación de Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS), Internet de las Cosas (IoT) y herramientas de monitoreo en tiempo real, cada uno con un enfoque específico para mejorar la seguridad vial. Los sistemas ADAS incluyen funciones como frenado automático de emergencia, detección de peatones y asistente de mantenimiento de carril, los cuales reducen el riesgo de colisiones al alertar o intervenir en la conducción. Por su parte, el IoT permite la interconexión de vehículos e infraestructura vial mediante sensores y comunicación en red, facilitando la detección de riesgos en tiempo real y la optimización del tráfico. Finalmente, las herramientas de monitoreo en tiempo real recopilan y analizan datos sobre la conducción, el estado de las carreteras y el comportamiento del tráfico, lo que permite una respuesta inmediata ante situaciones de riesgo y una mejor gestión de la movilidad. La integración de estas tecnologías no solo contribuye a prevenir accidentes mediante la asistencia al conductor y la detección temprana de peligros, sino que también facilita la toma de decisiones basada en datos, optimizando la seguridad en las vías (PARTS, 2024).

Por su parte, la gestión y análisis de datos muestra el uso de herramientas analíticas para evaluar el desempeño de los sistemas de monitoreo, lo que facilita la toma de decisiones y la priorización de acciones en seguridad vial. Este aspecto está respaldado por referencias como el International Transport Forum (2022) y el Gobierno de México (2024). Asimismo, en políticas y normativas, se encuentran leyes y regulaciones que promueven la adopción de estos sistemas, alineándose con objetivos de seguridad y sostenibilidad, con ejemplos como CONFEBUS (2021) y la Dirección General de Tráfico, España (2020). Finalmente, la capacitación y sensibilización señala la necesidad de educar a usuarios y operadores sobre los beneficios de los sistemas de monitoreo y fomentar una cultura de seguridad vial, pues referencias como la Superintendencia de Transporte, Colombia (2023), respaldan este enfoque.

Tabla 3.*Literatura agrupada por variables*

Variable	Descripción
Infraestructura tecnológica	Implementación de sistemas avanzados como ADAS, tecnologías IoT y herramientas de monitoreo en tiempo real para mejorar la seguridad vial y reducir accidentes.
Gestión y análisis de datos	Uso de herramientas analíticas para evaluar el desempeño de los sistemas de monitoreo, mejorar la toma de decisiones y priorizar acciones en seguridad vial.
Políticas y normativas	Desarrollo e implementación de leyes y regulaciones que fomenten la adopción de sistemas de monitoreo, alineadas con objetivos nacionales e internacionales de seguridad y sostenibilidad.
Capacitación y sensibilización	Educación a los usuarios y operadores sobre los beneficios de los sistemas de monitoreo y control, además de promover una cultura de seguridad vial.

Por último, algunos artículos analizaron la movilidad sostenible y propusieron ajustes tarifarios basados en una revisión de otros estudios previos y análisis comparativos de sistemas (Azad et al., 2024; Dimitrov, 2024; Elassy et al., 2024). Mientras que el trabajo de Yigitcanlar y colaboradores identificó brechas en la adopción de tecnologías digitales en el transporte mediante un protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis), destacando la falta de implementación generalizada, las desigualdades en el acceso a estas tecnologías, los desafíos en la aceptación por parte de los usuarios, así como las barreras relacionadas con la infraestructura y los costos de adopción (Yigitcanlar et al., 2024).

Por otro lado, Prakash y otros (2024) evaluaron sistemas inteligentes basados en IoT y aprendizaje automático, mostrando alta precisión en la detección de congestión vehicular (p.14). Para profundizar lo anterior, ver el Anexo 4 que expone el análisis de documentos seleccionados

y agrupados, indicando el tipo de revista, el objeto de análisis, el método utilizado y los resultados principales.

4.2 Resultados de la encuesta

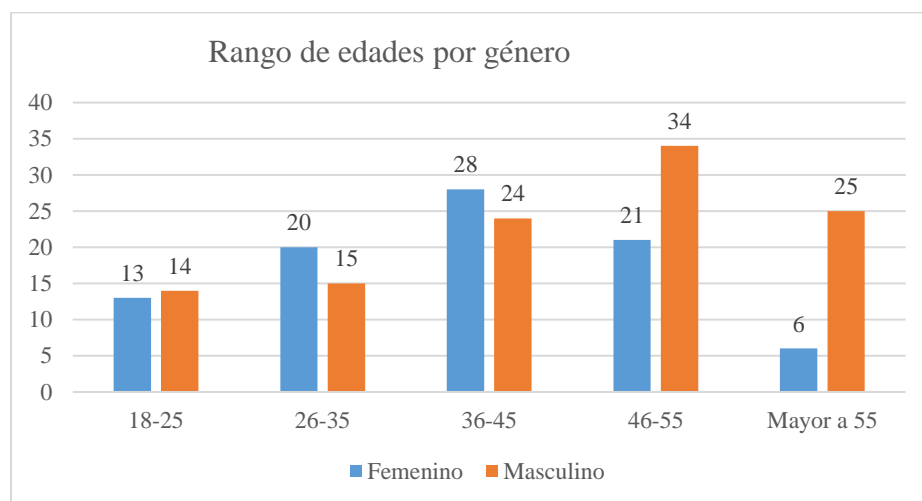
En la última fase de la metodología, se llevó a cabo una encuesta dirigida a 200 personas residentes del área metropolitana de Bucaramanga durante los últimos dos meses del 2024.

La figura 1 muestra la distribución por género en los rangos de edades de las personas encuestadas, mostrando así que la mayoría de estas se encuentra en el rango de edad de (46-55) años, con mayor participación masculina.

Se puede identificar una participación proporcional de personas, ya que las personas menores a 45 años representan un 57% de los encuestados, mientras que quienes son mayores a esta edad equivale a un 43% lo que equivale a 86 personas.

Figura 1.

Edad de los encuestados

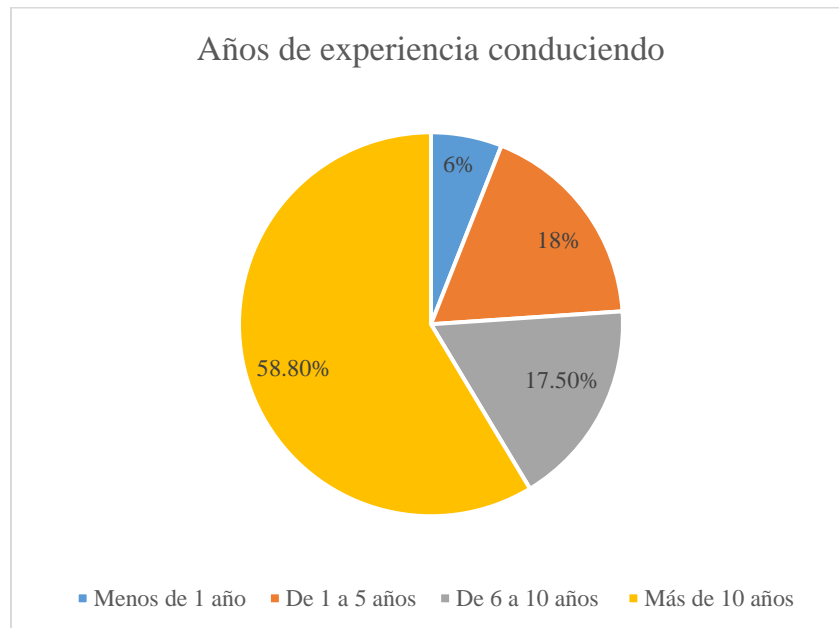


Esta grafica también expone una mayor participación de hombres en la encuesta, lo cual podría mostrar diferencias en la composición de la población encuestada o en el interés relacionado con el tema evaluado.

Por otro lado, la mayoría de los encuestados mostró una amplia experiencia en la conducción como se muestra en la figura 2, la cual muestra que la mayoría de los participantes (58.5%) han conducido por 10 o más años.

Figura 2.

Años de experiencia conduciendo



El nivel educativo de los encuestados en general es alto, teniendo así 61 profesionales universitarios (30.5%), la misma cantidad de aquellos que poseen un postgrado. Les sigue la educación básica secundaria, representada por 39 personas (19.5%), mientras que la formación técnica profesional o tecnológica abarca a 29 participantes (14.5%). En contraste, solo el 5% (10 individuos) cuenta con estudios hasta primaria.

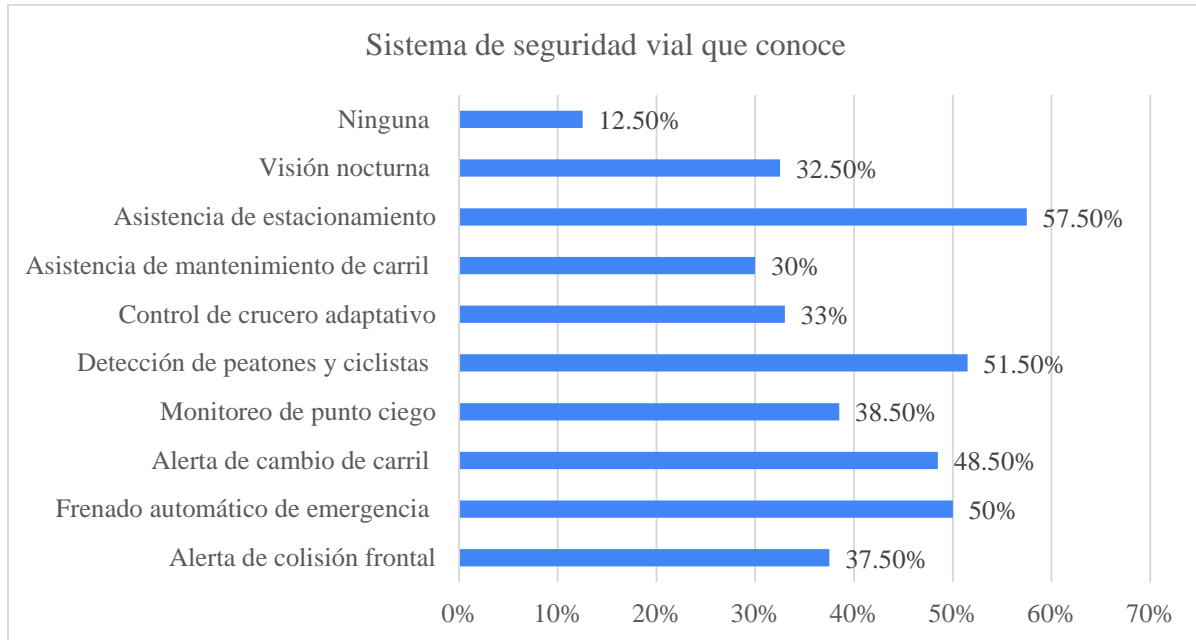
Para la distribución del tipo de vehículo entre los 200 participantes muestra una clara predominancia del automóvil, con 106 personas (53%), lo que representa más de la mitad de la muestra. En segundo lugar, las camionetas son utilizadas por 54 participantes (27%), mientras que el taxi aparece como la opción menos frecuente, con 40 personas (20%).

La percepción sobre el conocimiento de estos sistemas entre las personas que participaron en la encuesta revela que la mayoría está consciente de estas tecnologías. El 63% de los encuestados (126 personas) afirmó conocer estos sistemas, lo que es una base significativa de familiaridad que tienen los encuestados. Sin embargo, un 37% (74 participantes) indicó desconocerlos, lo que representa una proporción considerable que podría reflejar brechas en acceso a información, difusión o formación en el tema.

La figura 3 ilustra el conocimiento específico de los sistemas ADAS entre los encuestados. Los sistemas más conocidos son la asistencia al estacionamiento (120 personas, 60%), alerta de colisión frontal (106 personas, 53%), frenado automático de emergencia (107 personas, 53.5%), detección de peatones y ciclistas (97 personas, 48.5%) y monitoreo de punto ciego (85 personas, 42.5%). Sistemas como el control de crucero adaptativo (76 personas, 38%), alerta de cambio de carril (77 personas, 38.5%) y visión nocturna (50 personas, 25%) son menos conocidos. La asistencia de mantenimiento de carril (49 personas, 24.5%) es la menos reconocida. Esto quiere decir, que en mayor medida los conductores están familiarizados con los sistemas que ayudan en maniobras comunes, mientras que los sistemas más complejos o menos comunes no son tan conocidos.

Figura 3.

Sistema de seguridad vial que conocen los encuestados



Respecto a la experiencia utilizando alguno de estos sistemas, el 41.5% (83 personas) afirmó haber tenido algún tipo de interacción con ellos, mientras que el 58.5% (117 personas) declaró no tener experiencia previa. Con relación a la disposición hacia la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control en sus vehículos, el 83% (166 personas) expresó estar de acuerdo, el 4.5% (9 personas) se mostró en desacuerdo y otro 12.5% (25 personas) indicó tal vez. Y, sobre si creen que estos sistemas mejorarían la seguridad vial en Colombia, el 85.5% (171 personas) respondió que sí, el 2% (4 personas) no considera que tengan el potencial de mejorar la seguridad vial, mientras que el 12.5% (25 personas) consideró que tal vez.

El análisis de la encuesta también revela una aceptación significativa de estos sistemas, con un 72.5% de los participantes (145 personas) mostrando una clara disposición a invertir en su implementación, siempre y cuando se demuestre su capacidad para mejorar la seguridad vial. Sin

embargo, un 27.5% de los encuestados (55 personas) no estarían dispuestos a incurrir en costos adicionales por la incorporación de sistemas inteligentes de asistencia en sus vehículos.

Entre quienes sí invertirían, la mayoría (70.5%, 141 personas) estaría dispuesta a pagar menos de \$1.000.000, incluyendo en esta categoría las personas que no están dispuestas a pagar ni un solo peso, mientras que un 25.5% (51 personas) estaría dispuesto a invertir entre \$1.000.000 y \$5.000.000, y un 4% (8 personas) consideraría sistemas con costos entre \$5.000.000 y \$10.000.000. Estos hallazgos evidencian la predisposición de la materia de las personas a la inversión y la necesidad de considerar la diversidad socioeconómica al diseñar estrategias para la adopción de ADAS en Colombia.

En cuanto a la afectación de la privacidad por cámaras y sensores, el 46.5% de los participantes (94 personas) manifestó desacuerdo (16.5% totalmente en desacuerdo, 30.5% en desacuerdo), frente a un 26% que expresó acuerdo (19% de acuerdo, 7% totalmente de acuerdo), mientras que el 27% (54 personas) mantuvo neutralidad, sugiriendo que, aunque existe una mayoría de personas que no considera que su privacidad pueda verse afectada, una minoría significativa evidencia preocupación. Por otro lado, al evaluar si los encuestados estaban de acuerdo o no con el acceso gubernamental a estos datos para investigación en seguridad vial, se encontró una tendencia favorable: el 48.5% (97 personas) mostró acuerdo (36.5% de acuerdo, 12% totalmente de acuerdo), superando al 34.5% en desacuerdo (17% totalmente en desacuerdo, 17.5% en desacuerdo), con un 17% neutral (34 personas). Los resultados de la encuesta, obtenidos mediante preguntas con un formato similar al de una escala de Likert, revelan que, a pesar de que la mayoría de muestra de encuestados está en desacuerdo con que estos sistemas pueden afectar su privacidad, existe una cantidad de personas en las cuales persiste la preocupación sobre cómo puede verse afectada su privacidad, lo que hace que su disposición para el uso de los datos

recopilados por estos sistemas, por parte del gobierno, sea vea afectada. Esta situación expone la necesidad de desarrollar estrategias que promuevan la confianza del público.

4.3 Principales hallazgos

Para la población, una solución común para abordar el aumento del tráfico es ampliar los carriles o elevar los niveles de las carreteras. Sin embargo, las ciudades deberían centrarse en mejorar la eficiencia de sus calles en lugar de simplemente extenderlas o construir nuevas vías (Superintendencia de Transporte de Colombia, 2023). Los sistemas de transporte rápido y masivo son fundamentales para el desarrollo económico de todos los países. La mala gestión y la congestión pueden generar largos tiempos de desplazamiento, desperdicio de combustible y dinero. Por lo tanto, un sistema de control del tráfico rápido, eficiente y económico es de vital importancia para el desarrollo de un país (Khrustalev et al., 2020).

Las tecnologías de automatización y control inteligente son una forma de mejorar el flujo del tráfico y la seguridad en los sistemas de transporte contemporáneos, lo que lleva al sistema propuesto en el estudio de Bhadwal y otros, que busca automatizar la vigilancia de fronteras, especialmente en zonas de difícil acceso o con condiciones climáticas extremas, para mejorar la seguridad. En este sistema, se utilizarán microcontroladores y cámaras para rastrear el número de vehículos, permitiendo el monitoreo basado en el tiempo. Con el creciente número de usuarios de las vías y los recursos limitados de infraestructura, la regulación inteligente del tráfico será un tema crucial en los próximos días. Los trancones en el tráfico pueden ocurrir debido a una alta congestión en las intersecciones. Existen diversas estrategias de gestión del tráfico que son inherentemente autoajustables para evitar la congestión (Bhadwal et al., 2019).

Para adaptarse a escenarios de tráfico en tiempo real en constante cambio, se propone un sistema basado en el procesamiento de imágenes mediante control de señales adaptativo y

tecnología de visión por computadora. El tiempo de las señales se calcula automáticamente según el volumen de tráfico. El sistema propuesto incorpora cámaras instaladas junto a los semáforos en carriles estratégicos, seleccionados según la densidad del tráfico. Estas cámaras capturan video en tiempo real de la intersección, permitiendo el análisis a través de un modelo basado en el algoritmo EfficientDet, un avanzado sistema de detección de objetos. Dicho modelo, previamente entrenado e implementado en un microordenador Raspberry Pi de bajo costo, procesa la información y optimiza la gestión de los tiempos de las señales de tráfico (Aleksa et al., 2024; Son et al., 2023).

Una característica innovadora del sistema es la priorización de vehículos de emergencia, como ambulancias y camiones de bomberos. Por lo tanto, las señales cambiarán según el resultado del algoritmo, que calcula la densidad del tráfico en los carriles y detecta la presencia de un vehículo de emergencia en cualquiera de ellos. Esto permite gestionar los trancones de manera más eficiente y automática, minimizando los tiempos de desplazamiento y los costos asociados (Lv & Shang, 2022).

En este contexto, diversas investigaciones han abordado el problema de la congestión vehicular. Un estudio propuso el desarrollo de VANET (Vehicular Ad Hoc Network), un innovador tipo de red dentro de la tecnología inalámbrica. Su característica principal es la capacidad de proporcionar comunicación tanto entre vehículos como entre estos y las unidades instaladas en las carreteras, mejorando así la eficiencia del tráfico y la seguridad vial.

También se ha presentado como una solución en conceptos modernos como las ciudades inteligentes. Este marco incluye un sistema que envía información sobre las condiciones del tráfico y ayuda a los conductores a tomar decisiones voluntarias e inteligentes para evitar la congestión. Su principal limitación es que requiere un hardware adecuado y debe instalarse en todos los vehículos, lo cual es especialmente difícil en motocicletas. Además, el sistema depende en gran

medida del usuario, ya que la congestión del tráfico está condicionada a las decisiones inmediatas del conductor (Ge & Qin, 2024; Herich & Vaščák, 2024).

En otro estudio se introduce un proceso para detectar y contar vehículos utilizando cámaras instaladas en lo alto. Estas cámaras monitorean intersecciones en forma de T, extrayendo cuadros del video. Utilizan el método de sustracción de fondo para calcular las diferencias entre el cuadro más cercano y el fondo, identificando los objetos en primer plano, contando los vehículos y rastreándolos dentro de una zona de detección. La principal desventaja de este método es que la detección basada en áreas específicas puede ser compleja. Si muchos vehículos pasan simultáneamente, la zona de detección no puede identificarlos todos (Oladimeji et al., 2023).

Asimismo, otro estudio muestra cómo estimar la densidad del tráfico usando un modelo no supervisado. Este marco utiliza conjuntos de características visuales que no requieren la detección o seguimiento individual de vehículos, aplicando un modelo temático para detectar patrones de movimiento en escenas de tráfico. La predicción de densidad se realiza extrayendo características de bajo nivel y aplicando el modelo temático. Sin embargo, este marco no puede estimar con precisión el volumen de tráfico en condiciones climáticas adversas, y la complejidad del procesamiento en tiempo real lo hace menos eficiente (Herich, 2024).

Se encuentra también una investigación sobre un enfoque para optimizar la detección y conteo de múltiples vehículos en autopistas, desarrollando un nuevo conjunto de datos llamado NOHWY a través del uso de un algoritmo de seguimiento correlacionado para abordar problemas de inestabilidad y optimizar trayectorias de vehículos en movimiento. Este método logró una precisión superior al 93 % y una velocidad promedio de 25 fps (fotogramas por segundo) en secuencias de video de autopistas (Wajeetongratana, 2023; Zuluaga-Isaza & Arango-Monsalve, 2023).

Además, cuando los vehículos están conectados a Internet y forman una red ad hoc, esto se denomina "Internet de los Vehículos" (IoV, por sus siglas en inglés) (Herich, 2024). Se trata de una tecnología en rápido desarrollo que busca conectar vehículos no solo a Internet, sino también entre sí y con infraestructuras inteligentes, permitiéndoles interactuar y compartir información en tiempo real. Gracias a esta interconectividad, el IoV facilita la comunicación vehicular, lo que permite optimizar el tráfico, mejorar la gestión de la movilidad y reducir los tiempos de desplazamiento. Además, esta tecnología tiene el potencial de transformar la industria del transporte al mejorar la seguridad vial, reducir la congestión del tráfico y optimizar el consumo de energía (Zuluaga-Isaza & Arango-Monsalve, 2023). Estas son las principales contribuciones de este estudio.

Además, los sistemas IoV permiten a los vehículos interactuar entre sí y con infraestructuras de tráfico, como semáforos y señales, mediante tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA), redes 5G y el IoT. Como resultado, la integración de estas tecnologías permitirá optimizar la gestión del tráfico en tiempo real, reducir la congestión, mejorar la seguridad vial y fomentar una movilidad más sostenible y eficiente (Oladimeji et al., 2023).

El monitoreo vial es el proceso de recopilar, analizar y utilizar información sobre las carreteras para mejorar la movilidad y proporcionar información en tiempo real a conductores y viajeros. Según Oladimeji et al. este aspecto se ha convertido en un componente crítico de los ITS como resultado de los avances tecnológicos. Además, la integración de dispositivos IoT, sensores, cámaras y otras tecnologías ha permitido la recopilación de datos en tiempo real sobre las carreteras y las condiciones del tráfico (Oladimeji et al., 2023).

Wajeetongratana señala que los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) comprenden las herramientas y servicios basados en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)

que se utilizan en el sector del transporte. Estos sistemas pueden ser implementados para reducir las emisiones de carbono y mejorar la sostenibilidad ambiental. La integración de los ITS en la infraestructura de transporte permite la comunicación entre vehículos (V2V), entre vehículos e infraestructura (V2I) e infraestructura con vehículos (I2V). Esta conectividad permite a los ITS monitorear el movimiento del transporte, evaluar la información recibida y transmitirla en tiempo real a los usuarios del transporte público o privado, así como a los responsables de la gestión del tráfico. Los datos recopilados pueden ser utilizados para la toma de decisiones en el sistema de transporte, para alertar a los conductores, o para incitarlos a tomar medidas inmediatas. Además, los ITS pueden mejorar indirectamente la gestión del tráfico al proporcionar datos que promuevan la conducción ecológica. A pesar de sus beneficios, los ITS también presentan desafíos, como el aumento de la dependencia de los automóviles personales y la necesidad de una inversión significativa en infraestructura (Wajeetongratana, 2023).

4.3.1 Monitoreo del transporte utilizando un teléfono inteligente

La conectividad ubicua de los teléfonos inteligentes habilita diversas capacidades para aplicaciones de monitoreo de vehículos, como el seguimiento del tráfico, el redireccionamiento del tráfico y la notificación de accidentes. Es posible identificar accidentes utilizando únicamente los sensores de los teléfonos inteligentes actuales (Paul et al., 2023). A través de una infraestructura de comunicación máquina a máquina (M2M), otros conductores pueden ser desviados del sitio del accidente. Además, se puede alertar a los conductores que se aproximan a la zona para aumentar su atención y alentarlos a reducir la velocidad, disminuyendo así el riesgo de accidentes adicionales. Sin embargo, las limitaciones en la precisión de los sensores tradicionales y la falta de integración con sistemas inteligentes de gestión del tráfico pueden afectar la efectividad de estas alertas (Paul et al., 2023). La mayoría de los teléfonos inteligentes modernos tienen una variedad

de sensores integrados, como acelerómetros, giroscopios, sensores de luz, sensores de proximidad y sistemas de posicionamiento global (GPS). Estos sensores pueden complementarse con el procesamiento de datos de cámaras y micrófonos. No obstante, su precisión puede verse afectada por factores como interferencias, condiciones climáticas adversas o la disponibilidad de señal GPS, lo que dificulta su uso en tiempo real para una gestión eficiente del tráfico (Paul et al., 2023).

El uso de teléfonos inteligentes como detectores de señales de tráfico ha sido explorado en estudios previos; sin embargo, su implementación enfrenta desafíos como la falta de estandarización en los sistemas de gestión de tráfico, la necesidad de una infraestructura en la nube para el procesamiento eficiente de datos y la integración con tecnologías avanzadas como sensores LiDAR y algoritmos de control adaptativo. Para mejorar la seguridad vial, es fundamental desarrollar soluciones que combinen estos sensores móviles con sistemas inteligentes de semáforos y priorización de vehículos de emergencia, permitiendo así una respuesta más efectiva ante incidentes y reduciendo la congestión en entornos urbanos (Paul et al., 2023).

Además del uso de sensores móviles y comunicación M2M para la gestión del tráfico, se han desarrollado enfoques avanzados basados en visión por computadora para mejorar la seguridad vial. Un sistema de monitoreo a bordo basado en visión estéreo ha sido propuesto para analizar la seguridad en vehículos de transporte público (Battiato et al., 2018). Este sistema combina datos de GPS, secuencias de vídeo y mapas de profundidad para identificar y clasificar conflictos de tráfico, con especial atención en peatones, seguimiento de vehículos e intersecciones. Para lograrlo, se implementan algoritmos de visión por computadora que detectan y miden la frecuencia de estos conflictos, generando un mapa de riesgo que resalta áreas peligrosas. Los resultados experimentales obtenidos en Catania, Italia, han demostrado la efectividad de este marco para identificar ubicaciones críticas, facilitando intervenciones preventivas y mejorando la seguridad

vial (Battiato et al., 2018). Integrar este tipo de sistemas con tecnologías avanzadas de gestión del tráfico, como la priorización de vehículos de emergencia y la adaptación dinámica de semáforos, podría optimizar aún más la movilidad urbana y reducir el riesgo de accidentes.

4.3.2 Aplicaciones de los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS)

El término ITS se utiliza para aplicar tecnologías de información y comunicación a problemas tradicionales de transporte (Paul et al., 2023). La tecnología innovadora en esta industria mejora la seguridad, eficacia, eficiencia, accesibilidad y sostenibilidad de las redes de transporte sin aumentar su capacidad.

Handayani et al. en 2022 identificaron numerosos factores que deben considerarse en relación con la movilidad inteligente de los ITS, incluidos los siguientes (Handayani et al., 2022):

- a. Recolección de datos de carreteras: Permite que los centros de control de tráfico recopilen datos de tráfico mediante sistemas georreferenciados (GPS, GSM y GPRS).
- b. Sistema de gestión del transporte: Es esencial para la gestión del transporte, ya que recolecta y analiza datos en tiempo real provenientes de dispositivos como cámaras.
- c. Recolección de datos de vehículos: Permite recopilar datos de vehículos en la red vial.
- d. En congestión: Esta tecnología permite que los vehículos de emergencia circulen libremente por la red vial sin contribuir al embotellamiento.
- e. Monitoreo de condiciones viales: Se requiere un sistema de monitoreo con múltiples sensores para observar las condiciones de las carreteras. En caso de desastres, ayuda con la comunicación vehicular y aplicaciones en línea.

4.3.3 Sistema de Transporte Inteligente para el Monitoreo del Tráfico

El sistema de transporte inteligente, que monitorea el tráfico y la información sobre eventos, busca proporcionar información útil a los usuarios en tiempo real para tomar decisiones óptimas de movilidad en un entorno urbano. Tanto Gupta et al. como Kheder y Mohammed abordan la capacidad de la tecnología para recomendar rutas alternativas a los conductores con el fin de evitar ubicaciones donde se estén desarrollando eventos. Gupta et al. destacan que los sistemas de control de tráfico en tiempo real pueden detectar eventos como accidentes o atascos y sugerir rutas alternativas a los conductores. Kheder y Mohammed señalan que los sistemas de monitoreo de tráfico en tiempo real pueden detectar eventos similares y compartir esta información con los conductores a través de una aplicación móvil, lo que les permite evitar estas áreas y tomar rutas alternativas. Ambos enfoques demuestran el potencial de la tecnología para mejorar la eficiencia y la seguridad del tráfico al proporcionar a los conductores información en tiempo real para la toma de decisiones informadas sobre sus rutas (Gupta et al., 2023; Kheder & Mohammed, 2024). Este sistema proporciona información sobre eventos viales, sugiere rutas alternativas y permite el monitoreo de la movilidad urbana, ayudando a los usuarios a identificar puntos potencialmente congestionados.

La implementación de sistemas avanzados de monitoreo vial en Colombia enfrenta desafíos técnicos, económicos, legales y culturales, requiriendo un análisis multidimensional. Como señalan Rodríguez et al. 2020 la complejidad del sistema de transporte colombiano, con modos informales como mototaxis y bicitaxis, aumenta la dificultad de implementar soluciones tecnológicas avanzadas. En contraste, Venezuela, Ecuador y Brasil han utilizado tecnologías emergentes y estrategias de planificación urbana para mejorar el monitoreo vial. En Venezuela, el enfoque sistémico en el transporte colectivo busca mejorar la calidad del servicio a través de

sistemas de monitoreo y gestión más integrados. La experiencia de estos países puede ser valiosa para Colombia, pero se necesita un análisis profundo que considere las particularidades del contexto colombiano para una implementación exitosa (Mundó Tejada, 2022, p.12).

En Ecuador, se habla sobre la necesidad de mejoras estructurales en el transporte en Quito, proponiendo sistemas de gestión más eficientes y sostenibles (Paredes & Berbey-Álvarez, 2019). Además, de la implementación de sistemas web en cooperativas de transporte para una gestión integral que optimice la movilidad (Yaulema-Rojas et al., 2024). Por su parte, Brasil ha experimentado avances con la adopción de tecnologías IoT, aplicadas al transporte de carga para garantizar un control y seguimiento más eficiente (Flores-Cortez & Gonzales Crespin, 2023).

En el caso de Colombia, la literatura refleja un enfoque multidimensional en el monitoreo y la seguridad vial (Espinoza-Mina & Colina-Vargas, 2024; Rodríguez et al., 2020); el desarrollo de aplicaciones móviles para fortalecer la seguridad vial en Bucaramanga que promueven una movilidad más segura y controlada; dichas aplicaciones permiten la recopilación, el procesamiento y el análisis eficientes de datos de accidentes de tráfico. La aplicación permite a cualquier ciudadano reportar accidentes, capturando detalles esenciales como la ubicación, la hora, el estado de la vía y las partes involucradas. Esta recopilación de datos en tiempo real ayuda a las autoridades a identificar áreas propensas a accidentes, comprender los factores que contribuyen y diseñar medidas de control efectivas. La aplicación también promueve el autocuidado entre peatones y conductores al proporcionarles información oportuna y facilitar el diseño de medidas de control efectivas por parte de las autoridades locales (Atamanenko et al., 2022), promoviendo una movilidad más segura y controlada.

Un estudio de Colombia realiza un análisis comparativo de los sistemas de transporte público en la región cafetera, enfocándose en la accesibilidad geográfica como un factor clave. El

estudio utiliza el modelo de accesibilidad geográfica para evaluar la facilidad de movimiento de los usuarios en las ciudades de Manizales, Pereira y Armenia (Montoya et al., 2024). Además, Quintero González propuso un esquema conceptual para la planificación y diseño de terminales de transporte de pasajeros, enfocándose en la sostenibilidad y eficiencia (Quintero González, 2024).

Los principales hallazgos de este estudio muestran la complejidad de implementar sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial en Colombia, donde, la congestión vehicular empeora la problemática. No se trata simplemente de instalar tecnologías, sino de abordar desafíos que van desde la infraestructura hasta la cultura vial. La congestión, como se ha visto a lo largo del estudio, no solo aumenta los tiempos de desplazamiento y genera pérdidas económicas, sino que también incrementa el riesgo de accidentes. En este contexto, los sistemas avanzados de monitoreo y control, con tecnologías como el frenado automático de emergencia, la advertencia de cambio de carril y el control de cruce adaptativo, entre otros ya mencionados, surgen como herramientas cruciales e innovadoras para mejorar la seguridad vial y optimizar el flujo del tráfico.

Sin embargo, la implementación de estos sistemas en el país enfrenta diversos retos en el contexto colombiano. La tabla expuesta en el Anexo 1, de elaboración propia, expone estos desafíos y propone soluciones, buscando un camino para que la innovación tecnológica nos ayude a proteger vidas y una conduzca a una movilidad más eficiente en las vías colombianas.

5. Conclusiones

La seguridad vial en Colombia enfrenta desafíos críticos, con altas tasas de accidentalidad que generan costos humanos y socioeconómicos significativos. Este estudio, desarrollado

mediante una metodología mixta que incluyó revisión bibliométrica, análisis normativo y encuestas a usuarios, explora los obstáculos y oportunidades asociados a la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control, como cámaras inteligentes, sensores y análisis de datos en tiempo real. Los resultados revelan un panorama complejo, marcado por brechas tecnológicas, regulatorias y culturales, pero también un potencial transformador si se adoptan estrategias integrales.

Uno de los principales desafíos identificados es la insuficiente infraestructura tecnológica. La implementación de estas tecnologías requiere inversiones sustanciales en hardware, como sensores, radares y cámaras, así como en software especializado para el análisis de datos. Además, la falta de redes de comunicación robustas, especialmente en regiones con baja cobertura de internet, limita la transmisión y procesamiento eficiente de la información generada por estos sistemas. Esta brecha tecnológica no solo afecta la operatividad de los sistemas de monitoreo, sino que también amplía las desigualdades entre zonas urbanas y rurales.

Junto a lo anterior, el marco legal colombiano se encuentra desactualizado frente a los avances tecnológicos. La recolección de datos personales mediante sistemas de monitoreo entra en tensión con la Ley 1581 de 2012, que protege el derecho fundamental a la privacidad. El estudio destaca la ausencia de regulaciones específicas para el uso de datos en sistemas de transporte inteligente (ITS), lo que genera incertidumbre jurídica y riesgos de vulneración de derechos. Por ejemplo, no existen protocolos claros sobre cómo deben manejarse los datos recopilados por cámaras o sensores, ni cómo garantizar su anonimización o destrucción una vez cumplida su propósito.

Además de los obstáculos técnicos y legales, persisten barreras culturales y sociales. Según la encuesta aplicada a 200 usuarios en el área metropolitana de Bucaramanga, el 46.5% de los

participantes manifestó preocupación por el uso de cámaras y sensores en espacios públicos, asociándolos con posibles violaciones a su privacidad. Esta desconfianza se combina con una percepción escéptica sobre la eficacia de la tecnología y una preferencia por métodos tradicionales de gestión vial. La resistencia al cambio y la falta de educación en seguridad vial emergen como factores clave que dificultan la adopción de estas soluciones.

Para superar estos desafíos, el estudio propone una estrategia integral basada en cuatro ejes. Primero, priorizar la modernización tecnológica escalonada, invirtiendo en infraestructura crítica como redes 5G y centros de procesamiento de datos, mientras se adoptan tecnologías modulares que permitan una implementación gradual y adaptada a diferentes contextos regionales. Segundo, actualizar el marco normativo con enfoque en derechos digitales, creando regulaciones específicas para ITS que equilibren la innovación con la protección de datos, incluyendo protocolos de anonimización, consentimiento informado y auditorías externas. Tercero, impulsar campañas de sensibilización y formación ciudadana que expliquen los beneficios de los sistemas de monitoreo, como la reducción de accidentes y la optimización del tráfico, y fomenten una cultura de corresponsabilidad vial. Finalmente, fortalecer las alianzas público-privadas y la cooperación interinstitucional para financiar proyectos piloto, compartir conocimientos y estandarizar protocolos, involucrando actores como el gobierno, empresas tecnológicas, universidades y organismos internacionales.

La encuesta revela una tensión entre expectativas y reservas ciudadanas. Aunque el 63% de los participantes conoce los sistemas de monitoreo, solo el 41.5% los ha utilizado, evidenciando una brecha entre teoría y práctica. El 83% apoyaría su implementación, pero exige pruebas concretas de eficacia: reducción de accidentes, respuestas rápidas en emergencias o mejoras en flujo vehicular. En privacidad, las opiniones se dividen: mientras el 48.5% acepta el uso de datos

para investigación, el 46.5% rechaza posibles intrusiones, exigiendo mayor claridad sobre quién accede a la información y con qué fines.

El éxito de estos sistemas dependerá de equilibrar innovación con ética. Más que tecnología, se requiere transparencia en el manejo de datos —como veedurías ciudadanas o informes públicos— y participación activa de comunidades en el diseño de soluciones. Iniciativas piloto en zonas críticas, combinadas con educación vial y alianzas entre sector público y academia, podrían convertir a Colombia en referente regional. La meta no es solo modernizar carreteras, sino construir confianza: que cada sensor o cámara sea percibido no como un vigilante, sino como un aliado en la protección de vidas.

6. Recomendaciones

Para superar los obstáculos dichos y para una implementación efectiva de sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial en Colombia, se recomienda: fortalecer la infraestructura tecnológica, mejorando la conectividad a internet en las vías, instalando sensores y dispositivos de monitoreo, y desarrollando plataformas de análisis de datos. También es crucial educar y sensibilizar a la población mediante campañas de sensibilización, programas de capacitación e inclusión de contenidos sobre nuevas tecnologías en la educación vial.

Se debe crear un marco regulatorio que defina políticas de acceso y manejo de datos, establezca estándares de seguridad y privacidad, y regule la responsabilidad en caso de accidentes. Además, es esencial fomentar la colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia, impulsando la investigación, el desarrollo y la creación de alianzas para financiar proyectos.

Para incentivar la adopción de estas tecnologías, se pueden ofrecer incentivos fiscales a empresas, subsidios para la compra de vehículos equipados y beneficios para conductores que usen

las herramientas. Finalmente, se deben considerar la accesibilidad para personas con discapacidad, la protección de datos personales, la transparencia en el uso de estas tecnologías y el impacto en la seguridad vial.

Referencias Bibliográficas

- Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2023). Boletín estadístico nacional: Fallecidos y lesionados. 2023. <https://ansv.gov.co/>
- Aleksa, M., Schaub, A., Erdelean, I., Wittmann, S., Soteropoulos, A., y Fördös, A. (2024). Impact analysis of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) regarding road safety – computing reduction potentials. *European Transport Research Review*, 16(39), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12544-024-00654-0>
- Angarita Reina, F., Aparicio Duran, B. A., Arias Quintero, P. A., Gómez Salgado, L., Gil Herrera, R. D. J., y Delgado, D. R. (2024). Securing mobility in Bucaramanga: Road safety control based on a mobile application. *Revista Ingeniería Solidaria*, 20(1). <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2024.01.07>
- Aria, M., y Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4). <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Atamanenko, Y. Y., Merdova, O. M., Martsenyshyn, Y. I., Tsurkan, O. P., y Chebotar, S. O. (2022). Legal analysis of implementation of the traffic accident monitoring system. *Revista de la Universidad del Zulia*, 13(36), 339–356. <https://doi.org/10.46925/rdluz.36.22>
- Azad, A. K., Atkison, T., y Shah, A. F. M. (2024). A review on machine learning in intelligent transportation systems applications. *The Open Transportation Journal*, 18, e26671212330496. <https://doi.org/10.2174/0126671212330496240821114216>

- Battiato, S., Farinella, G. M., Gallo, G., y Giudice, O. (2018). On-board monitoring system for road traffic safety analysis. *Computers in Industry*.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.014>
- Bhadwal, N., Madaan, V., Agrawal, P., Shukla, A., y Kakran, A. (2019). Smart border surveillance system using wireless sensor network and computer vision. *International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM)*.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8776749>
- Braun, V., y Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2). <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito: El problema y cómo enfrentarlo (Vol. 87)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Decreto 2060 de 2015. (2015). Por el cual se reglamenta la implementación de Sistemas Inteligentes para la Infraestructura, el Tránsito y el Transporte (SIT). *Diario Oficial No. 49.673*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2060>
- Departamento Nacional de Planeación. (2022). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia Potencia Mundial de la Vida*. <https://dnp.gov.co/>
- Dimitrov, D. (2024). Digitization and intelligent management systems in transport: An overview of problems and solutions. *Environment. Technology. Resources.*, 2.
<https://doi.org/10.17770/etr2024vol2.8048>

- Dirección General de Tráfico. (2020). Estudio sobre la efectividad de los sistemas de seguridad en los distintos vehículos sobre el riesgo de accidentes o lesión. <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
- Elassy, M., Al-Hattab, M., Tavruri, M., y Badawi, S. (2024). Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. *Transportation Engineering*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100252>
- Espinoza-Mina, M. A., y Colina-Vargas, A. M. (2024). Characterization of traffic accidents for urban road safety. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 112, 60–77. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20231134>
- Flores-Cortez, O. O., y Gonzales Crespin, B. (2023). Aplicación de tecnologías IoT en el control y seguimiento de transporte de carga terrestre. *Revista Minerva*, 6(1), 43–56. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v6i1.16416>
- Ge, C., y Qin, S. (2024). Digital twin intelligent transportation system (DT-ITS)—A systematic review. *IET Intelligent Transport Systems*, 18(1), 1–34. <https://doi.org/10.1049/itr2.12539>
- Gobierno de México. (2024). Programa Integral de Movilidad de la Ciudad de México 2019-2024. Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México.
- Gupta, M., Miglani, H., Deo, P., y Barhatte, A. (2023). Real-time traffic control and monitoring. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100211>

Handayani, A. S., Soim, S., Carlos, R. S., Zahra, S. A., y Husni, N. L. (2022). Design of application an intelligent transportation system for monitoring traffic accidents. *Atlantis Highlights in Engineering*. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-052-3_68

Herich, D. (2024). Advancing drones warm simulation: A comprehensive system for real-time control and dynamic interaction. *Archives of Electrical Engineering*. <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/aei-2024-0003>

Herich, D., y Vaščák, J. (2024). The evolution of intelligent transportation systems: Analyzing the differences and similarities between IoV and IoFV. *Drones*, 8(2), 34. <https://doi.org/10.3390/drones8020034>

Hsieh, H. F., y Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*. <https://doi.org/10.1177/1049732305276687>

Infobae. (2022). Más de 5000 personas han muerto en siniestros viales en lo que va del 2022: ¿Qué pasa en las carreteras de Colombia? <https://www.infobae.com/>

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (2023). *Forensis 2023*. https://www.medicinalegal.gov.co/documents/20143/1124000/Forensis_2023.pdf

International Transport Forum. (2024). *Transport system resilience: Summary and conclusions (ITF Roundtable Reports No. 194)*. OECD Publishing. <https://www.itf-oecd.org/>

Isaksson-Hellman, I., y Lindman, M. (2016). Real-world performance of City Safety based on Swedish insurance data. *Traffic Injury Prevention*, 25–29. <https://doi.org/10.1080/15389588.2016.1194980>

- Khan, M. I., y Lee, S. (2019). A comprehensive review of the current automotive safety systems for occupant protection. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(12). <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1127-y>
- Khan, M. Q., y Lee, S. (2019). A comprehensive survey of driving monitoring and assistance systems. *Sensors*, 19(11). <https://doi.org/10.3390/s19112574>
- Kheder, M. Q., y Mohammed, A. A. (2024). Real-time traffic monitoring system using IoT-aided robotics and deep learning techniques. *Kuwait Journal of Science*. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.10.017>
- Khrustalev, B. B., Shlapakova, N. A., Ganiev, M. G., Khrustalev, Y. B., y Solovev, D. B. (2020). Formation of the sustainable development strategy of the enterprises of construction complex and housing utility services. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 753(6). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/753/6/062006>
- Klyavin, V., Baryshev, N., Dvurechenskaya, A., y Zelikov, V. (2021). Road safety status monitoring and evaluation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1079(7). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/7/072026>
- Ley 1581 de 2012. (2012). Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. *Diario Oficial* No. 48.587. https://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/normatividad/LEGISLACION_2012/Ley_1581_de_2012.pdf

- Lv, Z., y Shang, W. (2022). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100002>
- MITRE Corporation. (2022). PARTS – Real-world effectiveness of model year 2015–2020 advanced driver assistance systems. <https://www.nhtsa.gov/PARTS>
- Montoya, J. A., Escobar, D. A., y Moncada, C. A. (2024). A comparative analysis, through geographical accessibility, of urban public transport systems in cities of Colombia's coffee-growing region. *Geojournal of Tourism and Geosites*. <https://doi.org/10.30892/gtg.55326-1298>
- Mundó Tejada, J. (2022). El transporte colectivo urbano: Aplicación del enfoque de sistemas para un mejor servicio. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70511239005>
- Naciones Unidas. (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. <https://www.un.org/es/desa/2018-world-urbanization-prospects>
- Oladimeji, D., Gupta, K., Kose, N. A., Gundogan, K., Ge, L., y Liang, F. (2023). Smart transportation: An overview of technologies and applications. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s23083880>
- ONU-Habitat. (2022). *Reporte Mundial de las Ciudades 2022*. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf

- Paredes, E., y Berbey-Álvarez, A. (2019). Situación actual del sistema de transporte en la ciudad de Quito, Ecuador: Una propuesta de mejora. TRIM. Tordesillas, Revista de Investigación Multidisciplinar. <https://doi.org/10.24197/trim.16.2019.5-40>
- PARTS. (2024). Market penetration of advanced driver assistance systems (ADAS): A report by the Partnership for Analytics Research in Traffic Safety. U.S. Department of Transportation. <https://www.nhtsa.gov/parts>
- Paul, S., Mitra, A., Singh, A., Ghosh, S., y Bhattacharya, P. (2023). Smart traffic signal management for urban efficiency and safety: Leveraging vehicle density and emergency prioritization. CEUR Workshop Proceedings. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1234567>
- Prakash, J., Murali, L., Manikandan, N., Nagaprasad, N., y Ramaswamy, K. (2024). A vehicular network-based intelligent transport system for smart cities using machine learning algorithms. Scientific Reports, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50906-7>
- Quintero González, J. R. (2024). Terminales de transporte de pasajeros por medio de autobuses: Planificación y diseño, esquema conceptual para Colombia. Revista Habitus: Semilleros de Investigación, 4(7). <https://doi.org/10.19053/uptc.22158391.17565>
- Reglamento (UE) 2019/2144 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de noviembre de 2019. (2019). Diario Oficial de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/>
- Rodríguez, N., Gómez, V., y Pérez, L. (2020). Desafíos en la implementación de tecnologías de seguridad vial en sistemas de transporte informales en Colombia. Journal of Urban Mobility, 12(3). <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2020.100123>

- Rodríguez Hernández, J. M. (2021). Análisis de la siniestralidad vial en Colombia durante la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020. *Revista de Transporte y Territorio*, 24, 45–62.
- Son, H., Weeon, Z., y Yigitcanlar, T. (2023). Algorithmic urban planning for smart and sustainable development: Systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104562>
- Superintendencia de Transporte. (2023). Plan Estratégico de Seguridad Vial: Versión 1. https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2023/Marzo/TalentoHumano_24/Plan-Estrategico-de-Seguridad-Vial-ST.pdf
- Superintendencia de Transporte de Colombia. (2023). Informe de rendición de cuentas 2022-2023: Seguridad y vigilancia en el sector transporte. <https://www.supertransporte.gov.co/>
- Useche, S. A., Montoro, L., y Alonso, F. (2018). Factores psicosociales y normativos en la seguridad vial de los países latinoamericanos: Una revisión crítica. *Revista Latinoamericana de Psicología*. <https://doi.org/10.14349/rlp.2018.v50.n2.1>
- Wajeetongratana, S. (2023). Environmental benefits of intelligent transport systems implementing. *E3S Web of Conferences*, 389, 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338905003>
- Yaulema-Rojas, E. F., Núñez-Silva, L. G., Moposita-Lasso, R. M., y Almache-Villacís, C. A. (2024). Implementación de un sistema web para la gestión integral del transporte para la Cooperativa Río San Pablo. *Dominio de las Ciencias*. <https://doi.org/10.23857/dc.v10i3.3950>

Yigitcanlar, T., Downie, A. T., Mathews, S., Fatima, S., MacPherson, J., Behara, K. N. S., y Paz, A. (2024). Digital technologies of transportation-related communication: Review and the state-of-the-art. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100987>

Zuluaga-Isaza, J. A., y Arango-Monsalve, A. M. (2023). Una revisión a los sistemas de transporte inteligente. *Revista de Ingenierías Interfaces*, 6(1), 1–18. <https://doi.org/10.2619/interfaces.v6i1.2023>

Apéndices

Apéndice A. Información de desafíos y soluciones para la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control en Colombia

Tabla 4.

Desafíos y soluciones para la implementación de sistemas avanzadas de monitoreo y control

	Desafíos	Soluciones propuestas
Infraestructur a	Insuficiente infraestructura tecnológica (sensores, cámaras, redes de comunicación).	Inversión en infraestructura crítica (redes 5G, centros de procesamiento de datos).
	Limitaciones en la cobertura de internet, especialmente en zonas rurales.	Implementación de tecnologías modulares y escalables para adaptarse a diferentes contextos.
Técnicos	Falta de hardware y software especializado para el análisis de datos.	Desarrollo de plataformas de análisis de datos en tiempo real y adopción de tecnologías IoT.
	Dificultades en la integración de sistemas con el transporte informal.	Diseño de soluciones tecnológicas adaptadas a la diversidad del sistema de transporte colombiano.
Económicos	Altos costos de implementación y mantenimiento de los sistemas.	Fomento de alianzas público-privadas para financiar proyectos piloto y subsidios para la adopción.

	Resistencia a invertir en tecnologías por parte de los usuarios.	Campañas de sensibilización sobre los beneficios económicos a largo plazo (reducción de accidentes).
Legales	Marco normativo desactualizado en relación con la protección de datos.	Actualización del marco legal con enfoque en derechos digitales y regulaciones específicas para ITS.
	Ausencia de protocolos claros para el manejo de datos recopilados.	Establecimiento de protocolos de anonimización, consentimiento informado y auditorías externas.
Culturales	Desconfianza y preocupación por la privacidad con el uso de cámaras y sensores.	Campañas de educación y sensibilización sobre los beneficios de los sistemas de monitoreo.
	Resistencia al cambio y preferencia por métodos tradicionales de gestión vial.	Programas de capacitación y formación en seguridad vial para conductores y operadores.
Comerciales	Falta de estandarización en los sistemas de gestión de tráfico.	Promoción de estándares técnicos y protocolos comunes para la interoperabilidad de sistemas.
	Dificultades en la adopción de tecnologías por parte de empresas y usuarios.	Incentivos fiscales y beneficios para empresas y conductores que adopten estas tecnologías.

Sociales	Desigualdades en el acceso a tecnologías entre zonas urbanas y rurales.	Implementación de proyectos piloto en zonas críticas y extensión gradual a áreas rurales.
	Falta de educación y conciencia sobre seguridad vial.	Inclusión de contenidos sobre nuevas tecnologías en programas de educación vial.

Apéndice B. Formato encuesta aplicada**ENCUESTA SOBRE LOS RETOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS AVANZADOS DE MONITOREO Y CONTROL PARA MEJORAR LA SEGURIDAD VIAL EN COLOMBIA****Estimado(a) participante:**

Le agradecemos su interés en participar en esta encuesta. Este documento tiene como objetivo informarle sobre los aspectos relevantes de este estudio y solicitar su consentimiento para participar.

Objetivo del estudio:

Analizar los retos asociados a la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control para mejorar la seguridad vial, tomando como referencia el comportamiento de las personas en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.

Descripción:

La participación consiste en responder un cuestionario que incluye preguntas sobre sus conocimientos, percepciones y opiniones acerca de los sistemas avanzados de seguridad vial. Su participación es voluntaria y se estima que completarlo le tomará aproximadamente 10-15 minutos.

La encuesta se realiza a conductores de automóviles.

Confidencialidad:

Toda la información que proporcione será tratada de manera confidencial y utilizada únicamente con fines académicos y de investigación. Sus respuestas serán anonimizadas y no se asociarán con su identidad personal.

Derechos del participante:

- Su participación es completamente voluntaria.

- Puede abstenerse de responder cualquier pregunta con la que no se sienta cómodo(a).
- Puede retirar su participación en cualquier momento sin repercusiones.

Riesgos y beneficios:

No existen riesgos significativos asociados con su participación. Los beneficios incluyen contribuir al conocimiento sobre los sistemas avanzados de monitoreo y control para la mejora de la seguridad vial en Colombia.

Consentimiento:

Al firmar este documento, usted confirma que:

- Ha leído y entendido los términos del estudio.
- Ha tenido la oportunidad de realizar preguntas sobre el mismo.
- Acepta participar de manera voluntaria.

Si tiene alguna inquietud o desea más información sobre este estudio, puede comunicarse con el investigador al contacto proporcionado.

1. Datos personales**Edad: (Marque una opción)**

- 18-25
- 26-35
- 36-45
- 46-55
- Mayor a 55

Género: (Marque una opción)

- Masculino

Femenino

Otro

¿Cuántos años de experiencia tiene conduciendo?

Menos de 1 año

De 1 a 5 años

De 6 a 10 años

Más de 10 años

¿Con qué frecuencia conduce?

Diariamente

Varias veces a la semana

Una vez por semana

Ocasionalmente

Casi nunca

Grado de escolaridad: (Marque una opción)

Ninguno

Primaria

Básica secundaria

Técnica profesional o tecnológica

Profesional Universitario

Postgrado

Tipo de vehículo que conduce: (Marque una opción)

Automóvil

Camioneta

Taxi

2. Conocimiento y uso de sistemas de seguridad vial

¿Conoce los sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial?

Sí

No

¿Tiene usted algún conocimiento o ha escuchado sobre alguno de los siguientes sistemas de seguridad vial? (Marque todas las que correspondan).

Alerta de colisión frontal

Frenado automático de emergencia

Alerta de cambio de carril

Monitoreo de punto ciego

Detección de peatones y ciclistas

Control de cruceo adaptativo

Asistencia de mantenimiento de carril

Asistencia al estacionamiento

Visión nocturna

Ninguno

¿Ha tenido alguna experiencia utilizando alguno de estos sistemas?

Sí

No

3. Percepciones sobre los sistemas de seguridad vial

¿Estaría de acuerdo con la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control en su vehículo?

- Sí
- No
- Tal vez

¿Cree que estos sistemas tienen el potencial de mejorar la seguridad vial en Colombia?

- Sí
- No
- Tal vez

¿Estaría dispuesto a pagar una tarifa adicional por la implementación de estos sistemas si se demuestra que mejoran significativamente la seguridad vial?

- Sí
- No

¿Cuánto estaría dispuesto a invertir para que en su vehículo fuesen implementados uno o más sistemas de monitoreo y asistencia?

- Menos de \$1.000.000
- Entre \$1.000.000 y \$5.000.000
- Entre \$5.000.000 y \$10.000.000
- Más de \$10.000.000

Teniendo en cuenta que la mayoría de estos sistemas están conformados por cámaras y sensores, ¿considera usted que puede verse afectada su privacidad?

- Totalmente en desacuerdo
- En desacuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- De acuerdo

Totalmente de acuerdo

¿En qué medida estaría de acuerdo con que el gobierno acceda a los datos recopilados por estos sistemas para fines de investigación y mejora de la seguridad vial?

Totalmente en desacuerdo

En desacuerdo

Ni de acuerdo ni en desacuerdo

De acuerdo

Totalmente de acuerdo.

Apéndice C. Resultados de la encuesta aplicada

Figura 4.

Edad por rangos de los encuestados

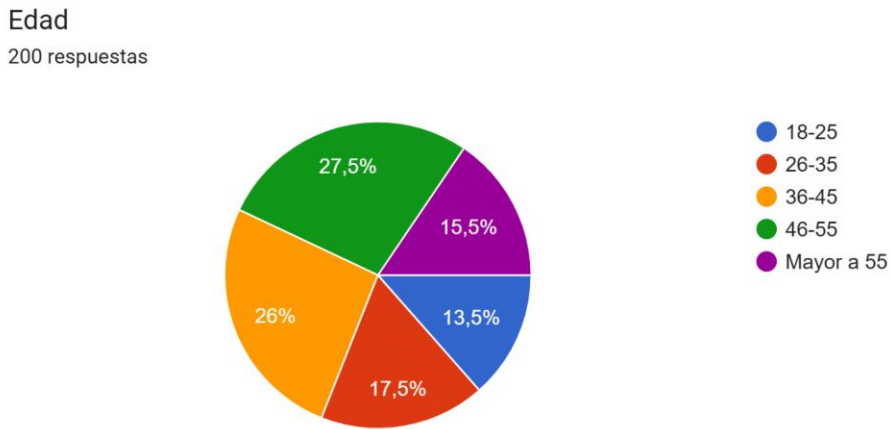


Figura 5.

Género de los encuestados

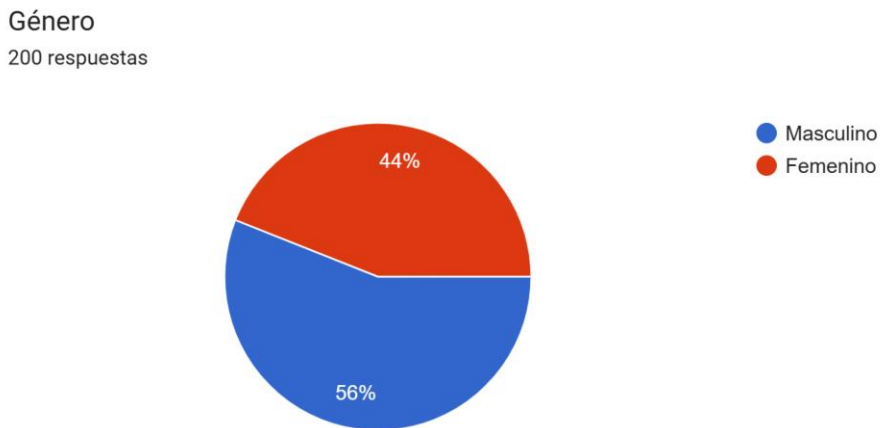


Figura 6.

Frecuencia de conducción de encuestados

¿Con qué frecuencia conduce?

200 respuestas

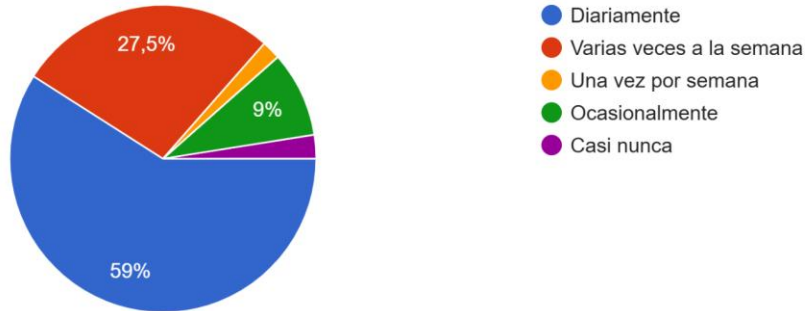


Figura 7.

Grado de escolaridad encuestados

Grado de escolaridad

200 respuestas

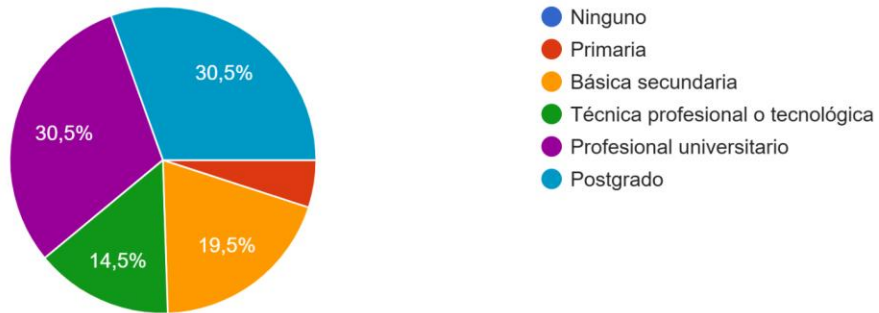


Figura 8.

Tipo de vehículo que conducen los encuestados

Tipo de vehículo que conduce.

200 respuestas

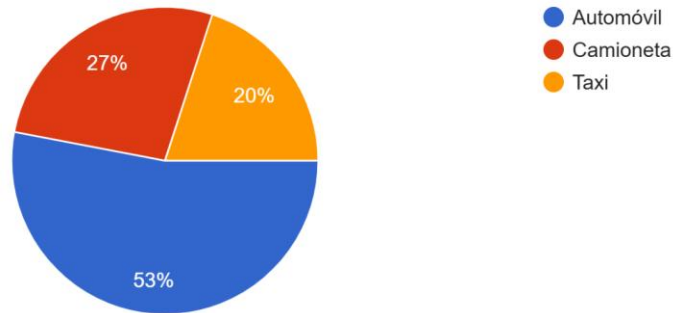


Figura 9.

Conocimiento de los sistemas avanzados de monitoreo y control por parte de los encuestados

¿Conoce los sistemas avanzados de monitoreo y control para la seguridad vial?

200 respuestas

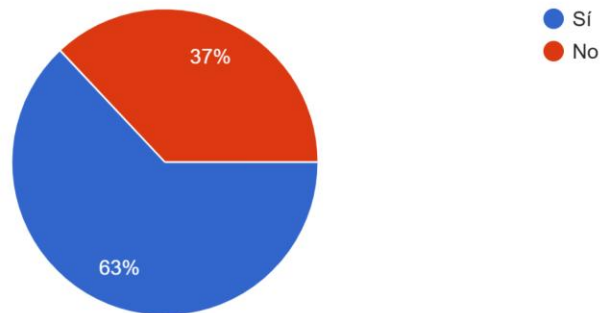


Figura 10.

Sistemas avanzados que conocen los encuestados

¿Tiene usted algún conocimiento o ha escuchado sobre alguno de los siguientes sistemas de seguridad vial? (Marque todas las que correspondan).

200 respuestas

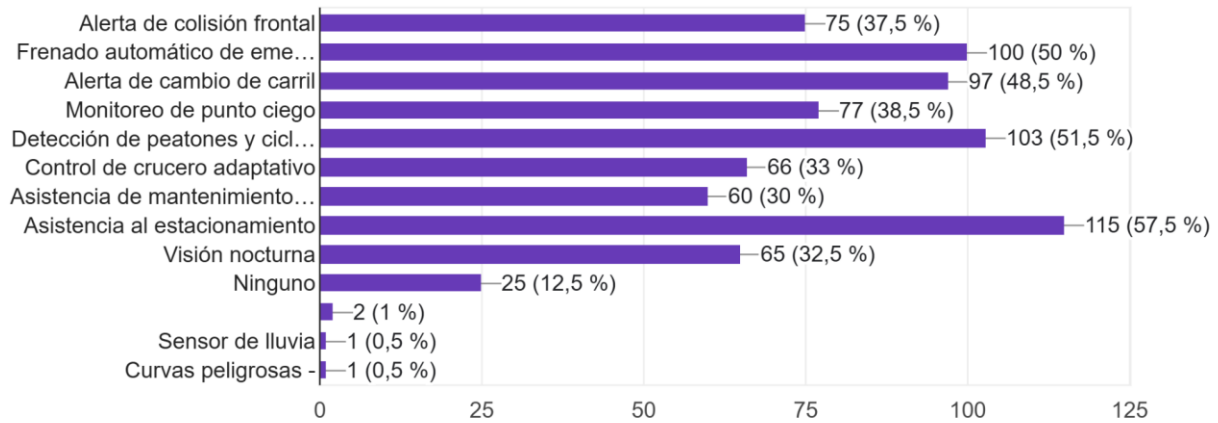


Figura 11.

Experiencia usando los sistemas avanzados

¿Ha tenido alguna experiencia utilizando alguno de estos sistemas?

200 respuestas

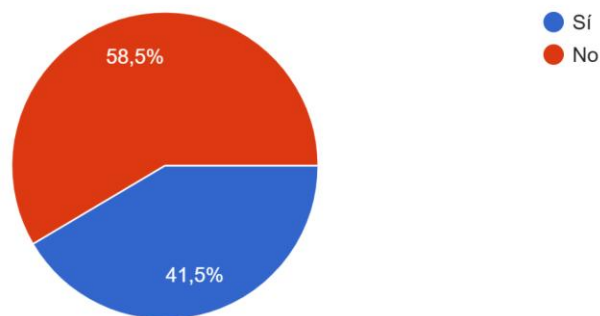


Figura 12.

Implementación de los sistemas avanzados de monitoreo y control en vehículos de los encuestados

¿Estaría de acuerdo con la implementación de sistemas avanzados de monitoreo y control en su vehículo?

200 respuestas

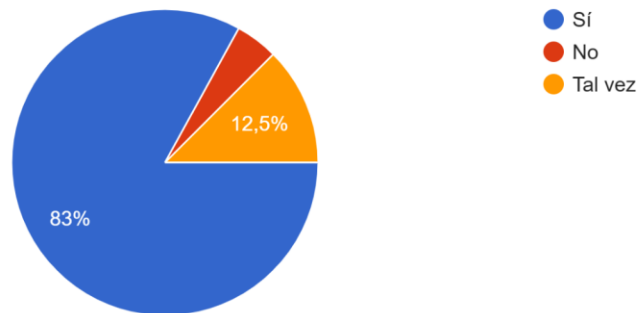


Figura 13.

Posición respecto al potencial de mejorar la seguridad vial en Colombia

¿Cree que estos sistemas tienen el potencial de mejorar la seguridad vial en Colombia?

200 respuestas

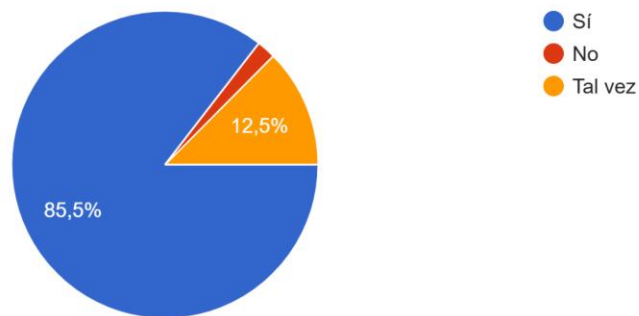


Figura 14.

Disposición para pagar tarifas que ayuden con la implementación de sistemas avanzados

¿Estaría dispuesto a pagar una tarifa adicional por la implementación de estos sistemas si se demuestra que mejoran significativamente la seguridad vial?

200 respuestas

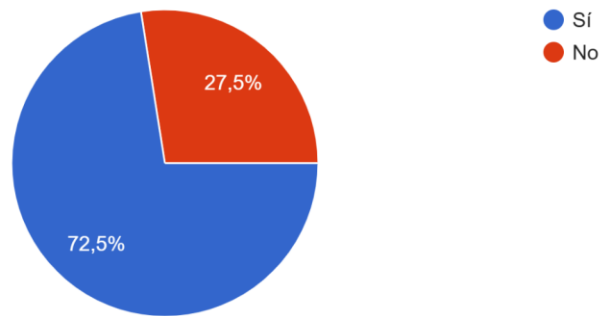


Figura 15.

Costos que estarían dispuestos a pagar para implementar los sistemas en los vehículos de los encuestados

¿Cuánto estaría dispuesto a invertir para que en su vehículo fuesen implementados uno o más sistemas de monitoreo y asistencia?

200 respuestas

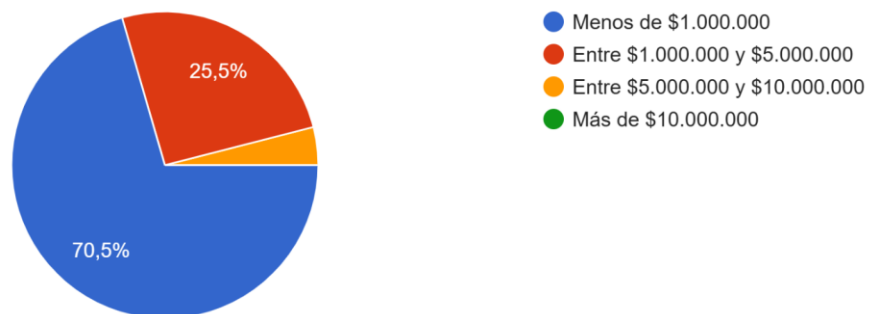


Figura 16.

Posición respecto a la vulnerabilidad y privacidad de datos

Teniendo en cuenta que la mayoría de estos sistemas están conformados por cámaras y sensores, ¿considera usted que puede verse afectada su privacidad?

200 respuestas

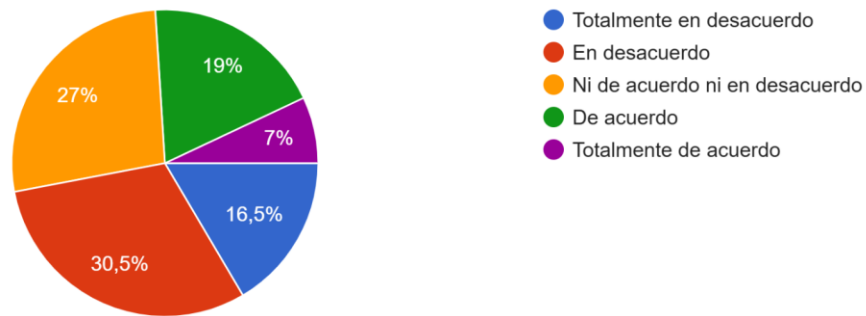
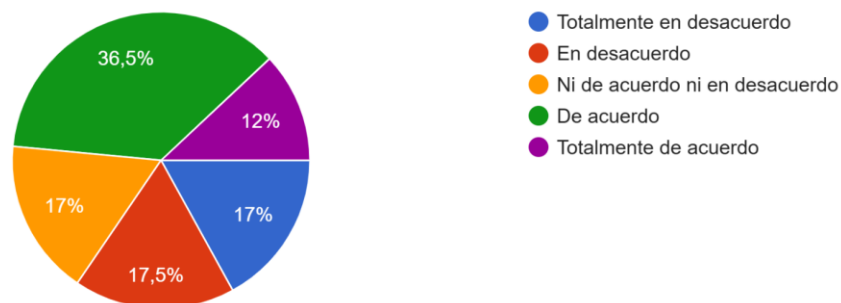


Figura 17.

Posición respecto a la recopilación de datos por parte del gobierno

¿En qué medida estaría de acuerdo con que el gobierno acceda a los datos recopilados por estos sistemas para fines de investigación y mejora de la seguridad vial?

200 respuestas



Apéndice D. Recopilación del análisis bibliométrico

Tabla 5.

Análisis bibliométrico complementario

Artículo	Tipo de revista	Objeto de análisis	Método	Resultados
ATUC (2024) Movilidad Sostenible	Revista especializada	Movilidad sostenible y financiación del transporte urbano	Revisión de estudios y análisis comparativo de sistemas tarifarios	Identificación de parámetros de financiación y propuesta de ajustes tarifarios
Zuluaga & Arango (2023) ITS	Revista académica	Sistemas de Transporte Inteligente (ITS)	Revisión bibliográfica mediante Tree of Science	Tres enfoques principales: aprendizaje profundo, uso de datos, y predicción de flujo
Yigitcanlar et al. (2024) Tecnologías Digitales	Revista interdisciplinaria	Tecnologías digitales en comunicación del transporte	Revisión sistemática (protocolo PRISMA)	Identificación de brechas y potencial de adopción de tecnologías digitales
Yaulema et al. (2024) Sistema Web Transporte	Revista técnica	Gestión integral del transporte en Ecuador	Diseño descriptivo y exploratorio; implementación con JavaScript y MySQL	Modernización operativa y generación automatizada de reportes para toma de decisiones

		Impacto		ITS como instrumento
Wajeetongratana (2023) ITS y sostenibilidad	Revista de ciencias ambientales	ambiental de sistemas de transporte inteligente	Análisis de datos empíricos y modelos de propensión	de política para mejorar la sostenibilidad económica y ambiental
Rizzi et al. (2024) Seguridad Vial	Revista de investigación en seguridad	Seguridad de peatones y ciclistas	Estudio retrospectivo con análisis estadístico	Reducción significativa de lesiones graves en zonas con intervenciones tecnológicas y urbanas
Quintero (2024) Terminales de Transporte	Revista académica	Diseño y planificación de terminales de transporte	Síntesis normativa y funcional para planificación	Propuesta conceptual para diseño de terminales adaptadas a contextos locales
Prakash et al. (2024) ITS en ciudades inteligentes	Revista científica	Sistemas inteligentes basados en IoT y aprendizaje automático	Modelos de aprendizaje máquina con análisis comparativo de precisión	Alta precisión en detección de congestión con modelos basados en IoT y redes vehiculares
Paredes & Berbey (2019) Transporte Quito	Revista multidisciplinaria	Propuesta de mejora para transporte público	Análisis descriptivo y propuesta de diseño para mejorar calidad del servicio	Propuesta para optimización de tiempo, comodidad, y seguridad en transporte público

Oladimeji et al. (2023) Tecnologías IoT	Revista tecnológica	Aplicaciones de IoT en transporte inteligente	Revisión integrativa de literatura y tecnologías emergentes	Identificación de desafíos y oportunidades en adopción de IoT para transporte inteligente
Neumann (2024) ADAS	Revista científica	Sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS)	Encuesta a conductores y análisis descriptivo	Alta aceptación de los sistemas, identificando áreas de mejora en precisión y reducción de falsas alarmas.
Mundó (2022) Transporte colectivo urbano	Revista de sociología y antropología	Gestión del transporte colectivo urbano	Aplicación del enfoque de sistemas	Mejora en planificación y gestión de transporte en Caracas.
Montoya et al. (2024) Transporte público	Revista geográfica	Accesibilidad de sistemas de transporte público	Análisis geográfico y sociodemográfico	Cobertura adecuada en menos de 35 minutos de viaje en la región cafetera de Colombia.
Lv & Shang (2022) ITS	Revista de sostenibilidad	Reducción de emisiones y ahorro energético con ITS	Revisión de literatura y análisis de sistemas de transporte	Identificación de ITS como clave para sostenibilidad y eficiencia en transporte urbano.
Herich & Vaščák (2024) IoV e IoFV	Revista de tecnología	Comparación entre IoV e IoFV	Revisión comparativa de tecnologías y redes vehiculares	Propuesta de cooperación e infraestructura compartida entre

				sistemas terrestres y aéreos.
Ge & Qin (2024) DT-ITS	Revista de ingeniería	Sistemas inteligentes con gemelo digital (DT-ITS)	Revisión sistemática de tecnologías habilitadoras	Identificación de oportunidades en gestión y planificación basada en DT para sistemas inteligentes.
Flores & Gonzales (2023) IoT en transporte	Revista multidisciplinaria	Uso de IoT en el monitoreo de transporte de carga	Prototipo de sistema IoT con microcontroladores y AWS	Prototipo eficiente para monitoreo en tiempo real del peso y ubicación de vehículos de carga.
Espinosa & Colina (2024) Seguridad vial	Revista de ingeniería	Caracterización de accidentes de tránsito	Análisis descriptivo y modelos ARIMA	Identificación de tendencias y previsión de accidentes en Guayaquil.
Elassy et al. (2024) ITS	Revista de transporte	ITS para ciudades inteligentes y sostenibles	Análisis de casos y revisión tecnológica	Reducción significativa de emisiones y accidentes mediante sistemas inteligentes.
Botero & Alegría (2017) Tecnología y transporte	Revista de derecho administrativo	Impacto de la tecnología en el transporte público	Análisis normativo y jurídico	Propuestas para mitigar efectos negativos de

				autorregulación en sistemas de transporte.
				Identificación de retos clave en implementación y propuestas para ITS en movilidad y sostenibilidad.
Dimitrov (2024) Digitalización en Transporte	Revista de conferencias científicas	Digitalización e ITS en transporte	Revisión sistemática y análisis de problemas	
				Identificación de 10 problemas clave y sugerencias para investigación futura en aplicaciones ITS.
Azad et al. (2024) Machine Learning en ITS	Revista académica	Uso de machine learning en ITS	Revisión bibliográfica y análisis comparativo	
				Reducción significativa de accidentes y propuestas para mejorar adopción de ADAS.
Aleksa et al. (2024) Impacto de ADAS	Revista europea de investigación	Efecto de ADAS en la seguridad vial	Simulaciones y estudios retrospectivos	
				Implementación efectiva de sistema telemático para reducir tiempo de respuesta en accidentes.
Handayani et al. (2024) ITS para accidentes	Revista técnica	Monitoreo de accidentes con ITS	Desarrollo de una app Android con sensores IoT	

Kheder et al. (2023) Control de tráfico IoT	Revista de ciencias aplicadas	Monitoreo y control de tráfico con IoT y robótica	Modelos de deep learning y análisis en tiempo real	Alta precisión en detección de señales y gestión de tráfico en tiempo real.
Gupta et al. (2023) Gestión de tráfico urbano	Revista de ingeniería eléctrica	Gestión de tráfico con visión computacional	Procesamiento de imágenes en Raspberry Pi	Optimización del flujo vehicular y priorización de emergencias con algoritmos adaptativos
Angarita Reina et al. (2024) Movilidad en Bucaramanga	Revista multidisciplinaria	Seguridad vial en Bucaramanga	Desarrollo de app móvil con MVC y Flutter	Sistema integrado para toma de decisiones en tiempo real y mejora de la seguridad vial.
El Khalai et al. (2022) Monitoreo de seguridad vial	Conferencia internacional	Evaluación de sistemas de monitoreo de seguridad vial	Revisión bibliográfica y clasificación de sistemas	Propuesta de marco basado en datos para seguimiento estratégico de seguridad vial.
Paul et al. (2024) Señales de tráfico inteligentes	Conferencia de inteligencia computacional	Gestión adaptativa de señales de tráfico	Modelos multiagente y aprendizaje reforzado	Mejoras en tiempos de respuesta de emergencia y fluidez del tráfico urbano.
Battiato et al. (2018) Sistemas a bordo	Revista de industria	Análisis de seguridad vial con sistemas a bordo	Técnicas de visión por computadora y análisis de conflictos	Identificación de áreas de alto riesgo para intervenciones rápidas y económicas.

Klyavin et al. (2021) Road Safety Monitoring	Conferencia internacional	Monitoreo y evaluación del estado de la seguridad vial	Estudios observacionales y análisis estadístico	Identificación de factores críticos y recomendaciones para estrategias de seguridad vial.
Atamanenko et al. (2022) Legal Analysis	Revista académica	Sistemas de monitoreo de accidentes de tráfico	Observación directa, comparación y análisis de contenido	Propuesta de sistemas inteligentes basados en estándares europeos para reducir accidentes
Ministry of Infrastructure of Ukraine (2020)	Plan de acción gubernamental	Estrategia de mejora de seguridad vial en Ucrania	Implementación de planes estratégicos y análisis normativo	Propuesta de sistemas de monitoreo y campañas para reducir accidentes hasta 2024.
Khrustalev et al. (2020) Sustainable Development	Conferencia internacional	Estrategias sostenibles para empresas de construcción	Análisis de estrategias y modelos de sostenibilidad	Recomendaciones para integrar prácticas sostenibles en servicios de utilidad pública.
Yang et al. (2020) Soft-Mobility	Revista científica	Movilidad suave en ciudades invernales	Estudio de caso comparativo entre residentes nórdicos y no nórdicos	Identificación de barreras y oportunidades para fomentar la movilidad sostenible en climas fríos.