



REVISTA | VOLUMEN 6 | 2026

# Vehículos autónomos: desafíos y ventajas en su implementación

*Autonomous Vehicles: Challenges and  
Advantages of Implementation*

**Jairo Eduardo Márquez Díaz**

*Ingeniero de sistemas de la Universidad Antonio Nariño (2010). Lic. En Matemáticas y física (1995). Doctor en Administración educativa. Doctor en Educación, Magister en Ciberseguridad empresarial, Magister en Bioética. Profesor asociado en Inteligencia artificial en la Universidad de Cundinamarca extensión Chia. [jemarquez@ucundinamarca.edu.co](mailto:jemarquez@ucundinamarca.edu.co)*



# Sumario

p /41 Introducción

p /42 I. Metodología

p /43 II. Sensores y percepción

p /53 III. Desafíos y consideraciones éticas

p /55 IV. Discusión

p /57 V. Conclusiones

p /57 VI. Referencias

# Resumen

El artículo examina el desarrollo actual de la tecnología de vehículos autónomos, subrayando su potencial para reducir los accidentes de tránsito, mejorar la eficiencia y acceso a la movilidad del tráfico. Sin embargo, la implementación de esta tecnología disruptiva plantea grandes desafíos en diversos órdenes. La incertidumbre jurídica en el ámbito de responsabilidad civil en caso de accidentes, la privacidad de los datos y dilemas éticos concernientes con la toma de decisiones, son algunos problemas que acompañan esta tecnología. Además, requerimientos en cuanto modernización de la infraestructura urbana para dar soporte a estos sistemas.

Mediante una metodología cualitativa basada en la revisión bibliográfica y análisis de casos, este estudio ofrece una perspectiva integral sobre aquellos elementos que influyen en la implementación de vehículos autónomos. Los hallazgos enfatizan la importancia de la colaboración entre la industria, el gobierno y la sociedad para garantizar una transición hacia una movilidad segura, inclusiva y sostenible.

# Abstract

This article examines the current development of autonomous vehicle technology, highlighting its potential to reduce traffic accidents and improve efficiency and access to traffic mobility. However, the implementation of this disruptive technology poses significant challenges in various areas. Legal uncertainty regarding civil liability in the event of accidents, data privacy, and ethical dilemmas related to decision-making are some of the issues surrounding this technology. Furthermore, there are requirements regarding the modernization of urban infrastructure to support these systems.

Using a qualitative methodology based on a literature review and case analysis, this study offers a comprehensive perspective on the factors that influence the implementation of autonomous vehicles. The findings emphasize the importance of collaboration between industry, government, and society to ensure a transition toward safe, inclusive, and sustainable mobility.

# Palabras clave

Vehículos autónomos, inteligencia artificial, seguridad vial, toma de decisiones éticas, conectividad, infraestructura, movilidad.

# Keywords

Autonomous vehicles, artificial intelligence, traffic safety, ethical decision-making, connectivity, infrastructure, mobility.

# Introducción

La promesa de los autos autónomos va más allá de la simple automatización de la conducción (Peralta et al., 2024); representa un cambio de paradigma en nuestra concepción de la movilidad. Al eliminar la intervención humana, se espera que estos vehículos no solo mejoren la seguridad vial al reducir la incidencia de accidentes causados por errores humanos, también optimizar el flujo de tráfico y reducir la congestión en las ciudades (Gao, 2024). Además, la implementación de esta tecnología trae consigo la transformación de las comunidades, con el objetivo de hacer que el transporte sea más accesible y seguro para todas las personas, incluyendo aquellas con discapacidades y ancianos, así como fomentar el uso eficiente de los recursos públicos.

Conforme los vehículos autónomos se integren en la infraestructura de movilidad de las grandes ciudades, es fundamental considerar no solo los beneficios tecnológicos que trae consigo, también los desafíos e implicaciones éticas que surgen de su adopción. En tal sentido, este artículo profundiza en los aspectos técnicos, los retos, ventajas y des-

ventajas desde la óptica social que rodean la implementación a gran escala de los vehículos autónomos, explorando cómo podrían redefinir la movilidad tal como la conocemos hoy.

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó una metodología cualitativa que incluye la revisión de literatura académica y análisis de estudios de caso mediante consultas con expertos en el campo de la movilidad y la tecnología, acompañados con simulaciones, des-

tacando el potencial de las tecnologías que acompañan a los vehículos autónomos. El objetivo de esta investigación es proveer una comprensión integral de lo que es la tecnología de los vehículos autónomos, evaluando sus impactos en la seguridad vial y movilidad, la eficiencia en materia del transporte, así como identificar las barreras a superar para su implementación exitosa a gran escala. A través de este enfoque, se pretende contribuir al debate sobre el futuro de la movilidad en las grandes ciudades y/o comunidades, ofreciendo

recomendaciones que contribuyan a la toma de decisiones, conducentes a proporcionar la transición hacia un sistema de transporte más seguro y eficiente.

*“La implementación de esta tecnología trae consigo la transformación de las comunidades, con el objetivo de hacer que el transporte sea más accesible y seguro para todas las personas.”*

# I. Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo de este trabajo fue de carácter cualitativo, sustentado en la revisión sistemática documental y el análisis interpretativo de fuentes especializadas. Se realizaron consultas de artículos académicos recientes, informes técnicos y literatura científica relacionada con el tema objeto de estudio.

De igual manera, se efectuaron simulaciones en Matlab y Python sobre determinados sensores y sistemas de visión artificial vehicular. La información recopilada fue organizada en categorías temáticas que facilitaron abordar el estudio desde diferentes aspectos: técnico, legal, ético y social. Con esta estructura en mente, facilitó el análisis transversal de los retos y oportunidades que presenta la adopción a gran escala de esta tecnología.



Foto: Ana Frontzek

## II. Sensores y percepción

Un vehículo autónomo requiere para su desplazamiento y seguridad “ver” lo que ocurre a su alrededor. Para ello, se emplea un conjunto de sensores que trabajan de forma simultánea y complementaria, monitoreando y registrando diversas variables conducentes a la toma de decisiones del vehículo. Entre los sensores más utilizados están el sistema LiDAR, las cámaras y el radar, donde cada uno presenta funciones particulares dentro del sistema de percepción del entorno del automóvil. A continuación, se realiza una breve descripción de estos sensores:

LiDAR (Light Detection and Ranging): este sistema funciona proyectando pulsos láser en determinadas direcciones sobre los objetos del entorno – como peatones, diversos vehículos, señales de tránsito, obstáculos, etc. – midiendo el tiempo de ida y vuelta en segundos. La fórmula básica es:

$$\text{Distancia} = c \cdot t / 2$$

Donde  $c$  es la velocidad de la luz (Aproximadamente  $3 \times 10^8$  m/s),  $t$ , el tiempo del pulso láser. El factor  $1/2$  hace referencia al tiempo medido para el trayecto de ida y vuelta de la señal.

Con los datos recopilados, que incluyen la resolución angular – que involucra la relación entre el campo de visión angular total y el número de pulsos láser emitidos en dicho campo –, las coordenadas tridimensionales de un punto – que pueden ser cartesianas o esféricas –, la velocidad relativa (LiDAR Doppler),

resolución espacial que toma en cuenta la distancia del objeto y la resolución angular –, la tasa de escaneo y frecuencia de muestreo – esto asociado a la frecuencia de rotación del LiDAR (en Hz) y el número de pulsos por rotación –, la corrección por movimiento del vehículo, el ruido y error en las mediciones.

Con esta información se crea un mapa tridimensional detallado del espacio escaneado (Mounabhargav y Agrawal, 2024), donde se procesa una nube de puntos, con algoritmos como ICP (Iterative Closest Point) o RANSAC para alinear datos y detección de objetos.

Este tipo de sensor es similar a un radar, con la diferencia que opera en el rango del espectro infrarrojo, con longitudes de onda comprendidas entre 905 y 1550 nanómetros. Esta diferencia de longitud de onda “proporciona al LiDAR una resolución espacial mucho mejor, ya que las ondas emitidas por el sensor pueden enfocarse con mayor precisión” (Watts et al., 2023).

Este tipo de sensor es útil para los vehículos autónomos, porque les permite identificar obstáculos, incluso en condiciones de poca luminosidad. Algunos modelos avanzados de vehículos autónomos también aprovechan los datos del LiDAR para construir gemelos digitales, todo gracias a sistema de visión e inteligencia artificial, que permiten simular escenarios o analizar entornos urbanos in situ.

Un dato importante sobre el LiDAR es que requiere procesar gran cantidad de información y, por ende, demanda un poder computacional considerable. Este requerimiento exige el

uso de algoritmos altamente especializados que prioricen soluciones bajo una arquitectura de unidades de procesamiento central (CPU) y unidades de procesamiento gráfico (GPU) con el fin de optimizar el consumo energético.

El funcionamiento del LIDAR se basa en un conjunto de principios técnicos, que se resumen en la figura 1:

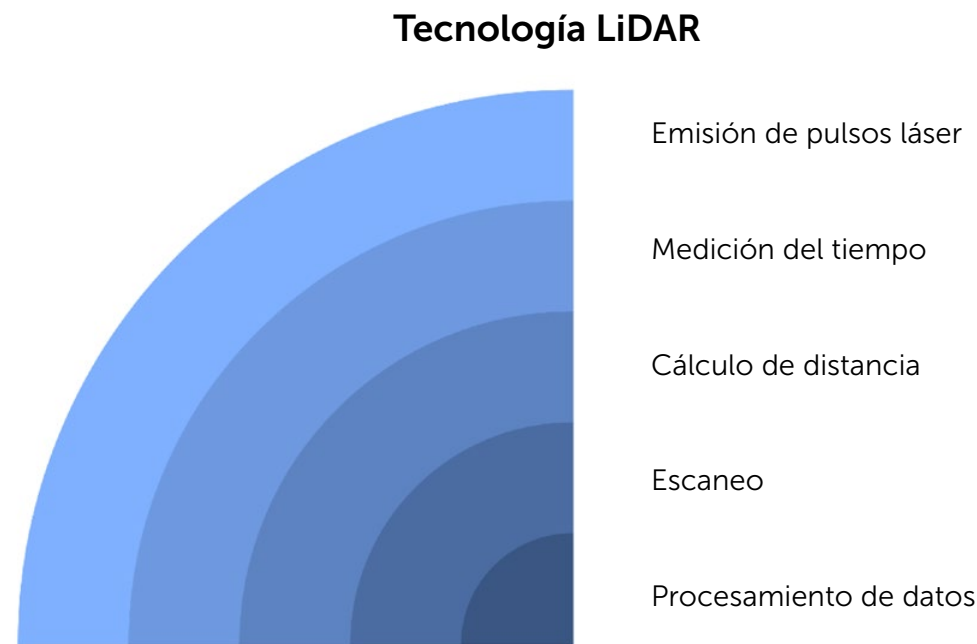


Figura 1. Principios técnicos del LiDAR. Fuente autor

La emisión de pulsos láser se transmite en direcciones específicas del vehículo con el objetivo que estas se reflejan en objetos y superficies del entorno para que puedan retornar al receptor (Dai et al., 2024). Este mecanismo mide el tiempo de viaje entre la emisión y recepción de cada pulso, por lo tanto, se puede calcular la distancia al multiplicar el tiempo por la velocidad de la luz dividida por 2 (porque el pulso viaja de ida y vuelta). Esta distancia está restringida por la resolución angular, puesto que define la precisión en la dirección del haz láser (Schleuning et al., 2024).

Con respecto al escaneo, el haz láser se mueve de manera sistemática abarcando un área y/o volumen determinado, generando una nube de puntos tridimensionales que son procesados para crear modelos detallados del entorno. Este proceso al ser repetitivo hace que el

sistema LIDAR alcance precisiones de hasta unos pocos centímetros, bien en términos de distancias y altitudes, todo gracias a la incorporación de algoritmos impulsados por la inteligencia artificial (Hell et al., 2024).

Cámaras: aportan una perspectiva visual que complementa lo que el LiDAR no puede captar, como colores, señales de tránsito, peatones y obstáculos (Islayem et al., 2024). Son fundamentales para interpretar el entorno, especialmente cuando se combinan con técnicas de visión por computadora. Aunque su rendimiento puede verse afectado por condiciones como niebla o lluvia, su uso sigue siendo esencial para decisiones de conducción más finas y contextuales (Lee yPark, 2025).

Las cámaras suelen ser de tipo RGB (rojo, verde, azul), por lo que pueden captar imágenes

en color, que les permite identificar diferentes objetos (señales de tráfico, vehículos y otros elementos relevantes en la vía), tal como se observa en la figura 2. Algunas cámaras avanzadas incluyen sensores infrarrojos que facilitan al vehículo operar en condiciones de baja luminosidad o en la oscuridad total (Rao et al., 2025). También, se cuenta con otras capacidades como:

- Detección de vehículos mediante análisis de contornos.

- Identificación de peatones por formas características.
- Reconocimiento de señales de tránsito por colores.
- Adaptación automática a condiciones ambientales.
- Activación inteligente de cámaras RGB e infrarrojas.
- Evaluación continua del rendimiento del sistema.

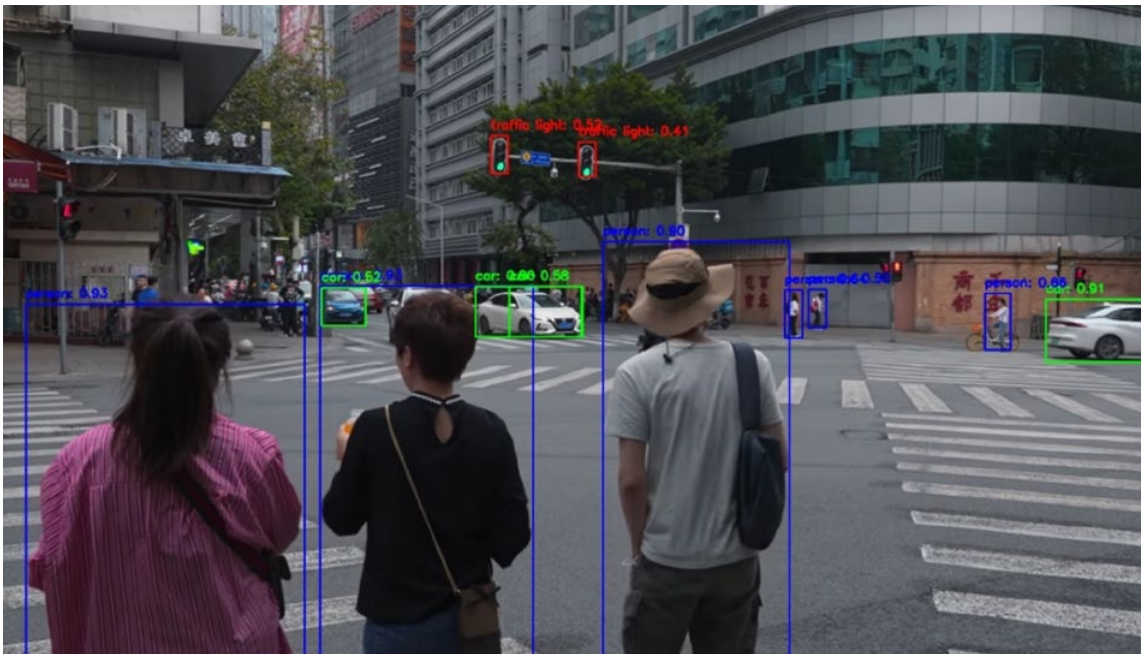


Figura 2. Visión por computador que capta diversos objetos en la vía. Fuente autor

Una vez capturada la imagen se procesa utilizando diversos algoritmos de visión por computador, con el objetivo de detectar y clasificar diversos objetos relevantes (por ejemplo, peatones, vehículos, ciclistas y obstáculos).

Con la detección y clasificación de objetos le permite al vehículo mantener su trayectoria, velocidad y respeto de las normas de circulación. En tal sentido, la información que muestra la cámara según los datos recopilados de la imagen es la siguiente:

- Image 384x640, 6 persons, 4 cars, 2 traffic lights, 196.9ms
- Speed: 4.9ms preprocess, 196.9ms inference, 1.5ms postprocess per image at shape (1, 3, 384, 640)
- Detección completada. 12 objetos encontrados (con confianza > 40%).
- Analizando el entorno para tomar decisiones... ¡ALERTA! Peatones detectados en la vía. REDUCIR VELOCIDAD Y PREPARARSE PARA FRENAR.

Otros datos que procesa el sistema visión vehicular que complementan los resultados anteriores son:

- Cámara RGB activada - Captura de colores habilitada

- Cámara Infrarroja: Activa
- Condición Actual: DIA
- Rendimiento Actual: 80%

Segundo	Condición ambiental	Objetos detectados
1	Clara	3
2	Baja luminosidad	3
3	Niebla	4
4	Noche	4
5	Clara	3
6	Baja luminosidad	3
7	Niebla	4
8	Noche	3

Estadísticas Generales	Valor
Total de análisis realizados	8
Total de objetos detectados	27
Rendimiento promedio	68.88%
Detecciones por análisis	3.4

Condiciones ambientales Procesadas	Cantidad	Porcentaje
Clara	2	25.0 %
Baja luminosidad	2	25.0 %
Niebla	2	25.0 %
Noche	2	25.0 %

Los sistemas de visión artificial vehicular permanentemente está evolucionando, por lo que ya es común encontrar características como:

- Compensación automática por niebla y lluvia
- Visión nocturna con sensores infrarrojos
- Análisis contextual para decisiones de conducción
- Historial de detecciones para análisis posterior
- Métricas de confianza ajustadas por condiciones

Las cámaras suelen estar integradas con otros sensores que incluye el LiDAR (Pieroni et al., 2024), radar y otros dispositivos (Song et al., 2024), con el fin de ampliar la comprensión del entorno. Por ejemplo, mientras que el LiDAR proporciona información de la forma de los objetos y distancia de estos conforme el vehículo circula, las cámaras ofrecen detalles del color y textura, ajustados con tecnología de calibración continua, conducente a mejorar la precisión del reconocimiento del entorno (Moraes et al., 2024; Sivadharshan et al., 2024).

Con toda esta información recopilada por las cámaras, se envía al hardware del vehículo, para luego integrarse con los datos de otros sensores, que conlleva a la toma de decisiones en tiempo real, como es el frenado, aceleración o cambio de dirección.

Radar: emplea ondas de radio para detectar objetos a media y larga distancia, y es menos sensible a las condiciones climáticas adversas (Brühl et al., 2024). Esto lo convierte en una pieza clave para detectar vehículos cercanos, al calcular su velocidad y anticipar colisiones (Viadero et al., 2024). A diferencia de las cámaras o el LiDAR, el radar puede operar con gran precisión en situaciones de baja visibilidad.

El verdadero valor de estos sensores no está solo en su funcionamiento individual, sino en cómo se combinan. La fusión de datos permite al sistema construir una representación más completa del entorno, mejorando de esta

manera la toma de decisiones del vehículo. Por ejemplo, los Sistemas de Asistencia Avanzada al Conductor (ADAS, por sus siglas en inglés: Advanced Driver Assistance Systems) detecta un objeto a cierta distancia en tiempo real (Chaudhary et al., 2024), pero la cámara identifica que es un ciclista, el vehículo puede reaccionar de manera más adecuada que si dependiera de un solo sensor. El sistema integra sensores (LiDAR, radar, cámaras, ultrasonidos) y algoritmos como el filtro de Kalman para mejorar la seguridad y la conducción.

Para la detección de distancia, el radar lo calcula mediante el principio de Time of Flight (ToF), similar al descrito para el LiDAR. El sistema ADAS mide la velocidad relativa de los objetos mediante el efecto Doppler, donde se multiplica dos veces la velocidad radial del objeto respecto al vehículo (en m/s), la frecuencia de la señal emitida (que puede ser de 24 GHz p 77 GHz), dividido por la velocidad de la luz.

El sistema ADAS al utilizar el efecto Doppler para medir la velocidad de los objetos en movimiento, emplea el control de cruceo adaptativo (ACC) para ajustar la velocidad del vehículo y mantener una distancia segura con el auto que va adelante (Li et al., 2024). La distancia de seguridad ( $d_s$ ) se calcula como:

$$d_s = vt_h + x_0$$

Donde  $v$  representa la velocidad del vehículo (en m/s),  $t_h$ , tiempo de separación deseado (típicamente 1-2 segundos),  $x_0$ , distancia mínima en reposo (en metros).

El efecto Doppler se presenta cuando las ondas electromagnéticas cambian su frecuencia con base en la velocidad relativa entre el radar y el objeto. Si un objeto se está acercando, la frecuencia reflejada aumenta; si se aleja, disminuye. Con estos cambios de frecuencia, el sistema calcula la velocidad del objeto con gran precisión, tal como se muestra en la simulación de la figura 3, tomando en cuenta que es una simplificación, ya que en sistemas reales son mucho más complejos.

## Simulación de Radar - Tiempo: 1.1 s

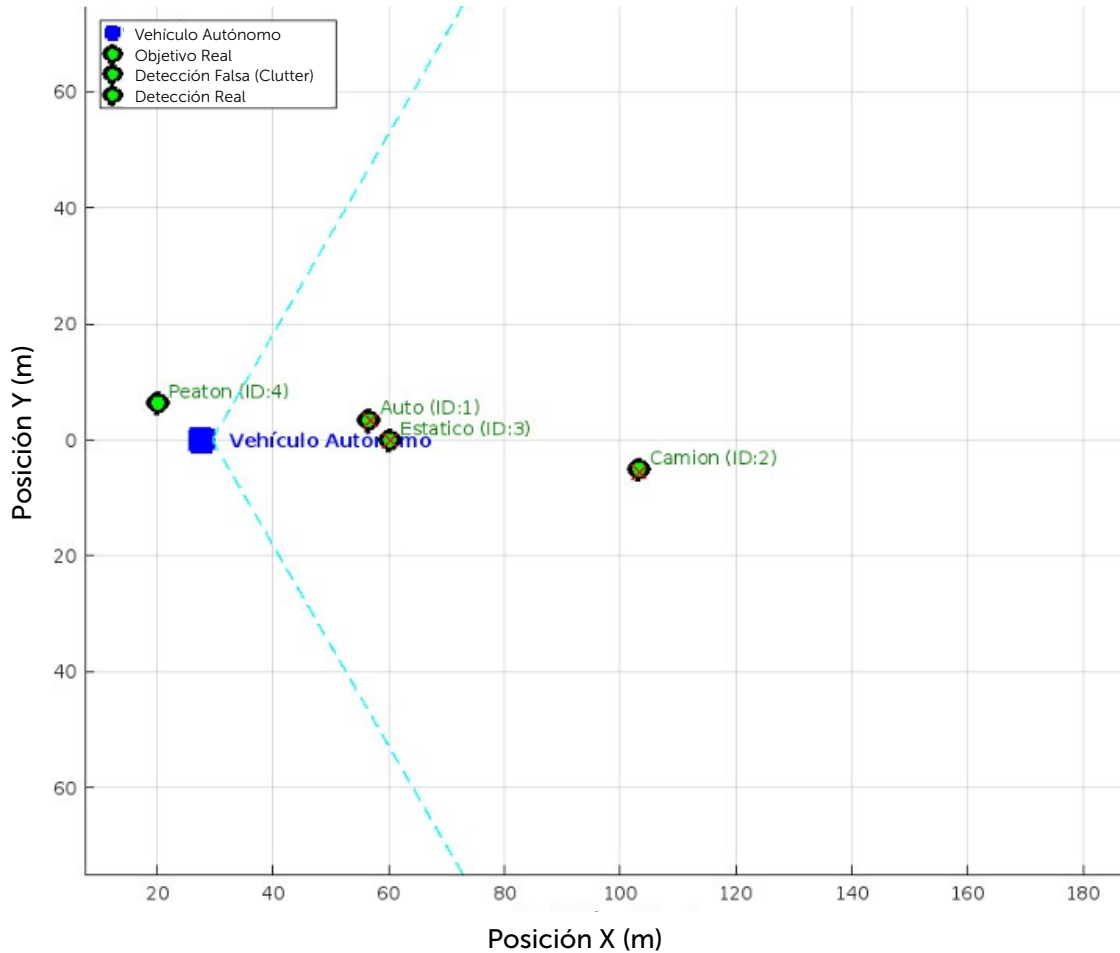


Figura 2. Visión por computador que capta diversos objetos en la vía. Fuente autor

Los resultados de la simulación de un sensor radar montado en un vehículo autónomo, modela el movimiento del vehículo con múltiples objetivos en el entorno (Peatón, auto, objeto estático como señal y un camión que va adelante). El radar genera una lista de detecciones en cada paso de actualización, incorporando limitaciones realistas como el campo de visión (líneas en azul), el alcance máximo, el ruido en la medición, la probabilidad de detección y las falsas alarmas. En este punto las cámaras procesan imágenes usando redes neuronales, donde la probabilidad de clasificación de un objeto se calcula con funciones de activación de tipo softmax.

Cuando se complementa el sistema ADAS con el sistema de visión por computadora, se mide con el objetivo de mantener el carril usando cámaras para detectar líneas en la carretera. La posición relativa del vehículo respecto al carril se modela con una ecuación polinómica de la trayectoria de la línea:

$$y=ax^2+bx+c$$

Donde x e y representan las coordenadas en el plano de la imagen (o transformadas al sistema del vehículo), a, b y c, son los coeficientes del polinomio que describe la curvatura de la línea.

Con esta información se determina la desviación del vehículo con respecto al centro del carril para calcular el ángulo de corrección del volante.

Adicional a lo anterior, el vehículo autónomo estima el frenado automático de emergencia (AEB) calculando el Tiempo hasta la Colisión (TTC) para decidir si activa el freno o no. En el caso de zonas ciegas, se emplea la detección de ángulo muerto (BSD). La región monitoreada se define por un área en coordenadas polares o cartesianas. La distancia mínima detectable depende de la resolución angular del sensor.

El radar resulta ser más eficiente que los sistemas mencionados anteriormente, porque se diseñan para operar en diversas condiciones climáticas, incluyendo lluvia, niebla y nieve. Esto proporciona una capa adicional de seguridad al vehículo y pasajeros (Lisowski, 2024).

En cuanto a los datos recopilados por el radar se integran con los provenientes de otros sensores, como las cámaras y LiDAR, proceso conocido como fusión de sensores. Esta integración permite al software del vehículo crear un mapa tridimensional de su entorno, mejorando la percepción y toma de decisiones con base la predicción de la posición de un objeto. La modelación de la fusión de sensores es la siguiente:

$$x_{k+1} = Fx_k + Bu_k + w_k$$

Donde  $x_k$  representa el vector de estado (posición, velocidad);  $F$ , la matriz de transición de estado;  $B$ , la matriz de control;  $u_k$ , la entrada de control y  $w_k$  el ruido del proceso. Para la actualización se basa en las mediciones  $z_k$ .

$$z_k = Hx_k + v_k$$

$H$  es la matriz de observación y  $v_k$  el ruido de medición.

Estas características son de suma importancia para el sistema ADAS (Chengula et al., 2024), porque todos los vehículos con cierto grado de autonomía dependen de ello, tal es el caso del control de cruceo adaptativo (ACC) que mantiene una distancia segura respecto al vehículo que circula delante, ajustando la velocidad automáticamente (Rana y Khatri, 2024). El ACC ayuda a reducir el riesgo de colisiones traseras causadas por la falta de atención del conductor o por paradas repentinas. También cuenta con la asistencia en frenado de emergencia (AEB) que detecta situaciones de colisión inminente y activa los frenos si el conductor no reacciona a tiempo (Wood et al., 2024).

Otros elementos adicionales al sistema ADAS es la detección de punto ciego y la asistencia de cambio de carril (Zhao et al., 2024). El primero cumple la función mediante el monitoreo de áreas que no son visibles para el conductor alertar sobre vehículos en el ángulo muerto. El segundo ayuda al conductor a cambiar de carril de manera segura, proporcionando información sobre vehículos en los carriles adyacentes (Murtaza et al., 2024).

Como se aprecia el sistema ADAS cuenta con ventajas notorias en cuanto a funcionar en diversas condiciones climáticas, alta precisión en la medición de distancia y velocidad y, capacidad para detectar múltiples objetos simultáneamente (Huang et al., 2024; Yang et al., 2024). No obstante, presenta limitaciones en la resolución lateral en comparación con otros sensores, como las cámaras. También es susceptible a la interferencia de señales de otros dispositivos de radar que puede afectar el rendimiento (Schoner et al., 2024).

La sinergia de datos proveniente de los sensores mencionados permite a los vehículos tomar decisiones informadas un situ de su entorno, minimizando riesgos de colisión con los diferentes objetos habituales en una vía.

# Inteligencia artificial y aprendizaje automático

La inteligencia artificial (IA) es una tecnología esencial para el funcionamiento de los vehículos autónomos, ya que esta emplea el aprendizaje automático, para que estos vehículos mejoren su rendimiento con el tiempo, aprendiendo de las experiencias pasadas, adaptándose a nuevas situaciones (Yai et al., 2025). Los algoritmos de IA permiten al vehículo tomar de decisiones en tiempo real, como es la detección de obstáculos, planificación de rutas y fallas internas.

Con el aprendizaje automático, los sistemas “aprenden” a partir de los datos. Al implementarlo en los vehículos autónomos, permiten identificar patrones de comportamiento en el tráfico, como reconocer señales y/o peatones, reconocer los diferentes tipos de vehículos e incluso anticipar movimientos de estos. En consecuencia, cuantos más datos se recopilan, más precisa y segura será la información que se vuelve a la hora de tomar decisiones (Rahman et al., 2025).

Dentro de las técnicas más utilizadas relacionadas con el aprendizaje automático, son las redes neuronales, cuyas estructuras computacionales se inspiran en el cerebro humano. Estas redes son especialmente eficaces para el procesamiento de grandes volúmenes de datos, como son las imágenes captadas por los sensores del vehículo (Ali et al., 2025). Entre estos sensores se destaca la cámara, que le

permite al sistema distinguir objetos particulares como un semáforo, un árbol o una persona que este cruzando la calle, con un alto nivel de precisión.

Otra técnica relacionada con la IA es el aprendizaje por refuerzo, que le permite al automóvil realizar ajustes in situ frente a su comportamiento con base en la experiencia. Bajo este modelo de aprendizaje, el algoritmo recibe recompensas o penalizaciones, dependiendo de sus decisiones, llevando a que el sistema aprenda de sus errores y optimice sus respuestas frente a nuevas acciones. Por ejemplo, si el automóvil esquiva un obstáculo de manera segura, al algoritmo toma esta acción reforzándola; si no lo hace de manera correcta, aprende a corregirla en el futuro. Esta dinámica es especialmente útil en escenarios de alta complejidad como el tráfico urbano.

La combinación de la IA y el aprendizaje automático permite que los vehículos autónomos no solo reaccionen de manera dinámica ante su entorno, adaptándose y evolucionando. Este tipo de capacidades técnicas y tecnológicas son relevantes para alcanzar los niveles avanzados ideales de autonomía, donde el vehículo pueda operar al cien por ciento sin intervención humana en una amplia variedad de condiciones y/o escenarios.

## Conectividad

Con el internet de los vehículos (IoV) en constante desarrollo, ha supuesto cambios significativos para los sistemas de transporte inteligentes. Los vehículos autónomos están equipados con matrices de sensores que se comunican con módulos de computación de borde e interfaces de comunicación dedicadas, “como las unidades de a bordo (OBU), lo

que permite el intercambio dinámico de información mediante paradigmas de comunicación estandarizados, como la comunicación de vehículo a infraestructura (V2I) y de vehículo a vehículo (V2V)” (Yuan y Xiao, 2025).

La conectividad es uno de los compendios que hace posible la interacción ideal entre un

vehículo autónomo y su entorno. A través de redes de comunicación avanzadas como la 5G y la 6G en los próximos años, estos vehículos no solo deben distinguir lo que sucede a su alrededor, también deben compartir esa información con otros vehículos homólogos, que presupone un cambio sustancial en la infraestructura urbana. Este intercambio de datos en tiempo real resulta crítico para mejorar la seguridad en el tránsito, la movilidad y reducción de la congestión, al igual que optimizar el uso de combustible en los diferentes actores que intervienen en las vías.

Existen dos formas principales de conectividad en este contexto:

- La comunicación entre vehículos (V2V)
- La comunicación entre vehículos e infraestructura (V2I).

En el caso de la V2V, se intercambian datos como velocidad, dirección, ubicación y detección de colisiones bajo un canal de comunicación encriptado. Esta información resulta especialmente útil en ambientes de tráfico denso o condiciones climáticas adversas. La conectividad V2V permite que los automóviles se adviertan mutuamente sobre frenadas bruscas, obstáculos, accidentes o cambios inesperados en la vía. En teoría, cada vehículo o un conjunto de ellos pueden tomar decisiones anticipadas conducentes a evitar accidentes o a mantener una distancia segura entre los diferentes automotores. Zeng y otros (2025) señalan que “aún no se ha determinado el impacto específico de la fiabilidad y la estabilidad de la transmisión de

información V2V en diferentes escenarios de tráfico sobre el rendimiento predictivo”.

Para el caso de la V2I, se establece un canal de comunicación seguro entre los vehículos y los sistemas de control del tráfico, como semáforos o paneles informativos. Nour y otros (2025) afirman que “esta conexión permite que un vehículo autónomo reciba con anticipación la información de que un semáforo cambiará a rojo, ajustando la velocidad con suavidad sin exabruptos”. En este contexto, es posible que automóvil acceda a datos sobre obras viales, congestiones o desvíos bajo protocolos de comunicación dedicados.

La combinación de estas tecnologías a través del IoV con puntos de acceso en carretera conocidas como Redes Vehiculares Ad Hoc (VANET) (Mesías, 2025), no solo está transformando la manera en que los vehículos autónomos interactúan con el entorno urbano en las ciudades inteligentes, también en la infraestructura digital y los sistemas interconectados.

Al crear una VANET se abren posibilidades para una movilidad segura, rápida y sostenible, donde un sistema de comunicación de vehículo a todo (V2X) habilitado para Internet de las cosas (IoT) ayudara a que evolucione la movilidad autónoma, manifestándose en mejores decisiones individuales o en conjunto en entornos urbanos complejos. Con este tipo de arquitecturas dinámicas, van a demandar nuevos “dispositivos terminales, protocolos de comunicación entre componentes, plataformas de almacenamiento y procesamiento de datos e interfaces de usuario” (Oliva y otros (2025).

## Beneficios

**Seguridad vial:** uno de los argumentos más relevantes a favor de los vehículos autónomos es su potencial para reducir significativamente los accidentes de tránsito. De acuerdo con estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, más de 1,3 millones de personas mueren cada año en las carreteras del mundo (Jaulkar y Parihar, 2025; Takala et al., 2024), y una proporción considerable de estos incidentes está

relacionada con errores humanos, como distracciones, somnolencia o conducción bajo el efecto de sustancias (Mofolasayo, 2024; Dumitrascu, 2024).

Los autos autónomos, al estar diseñados para eliminar la intervención humana en la conducción, pueden minimizar muchos de estos factores de riesgo (Orehovački et al., 2024; Fu

et al., 2024; Beanland et al., 2024). Equipados con sensores de alta precisión y algoritmos capaces de tomar decisiones en milisegundos, estos vehículos están preparados para reaccionar ante situaciones imprevistas con mayor rapidez y coherencia que un conductor promedio. Así, se espera que su implementación contribuya no solo a disminuir la siniestralidad, sino también a aumentar la confianza en los sistemas de transporte (Ekatpure, 2024).

Además, cuando estos vehículos operan en red mediante sistemas de comunicación V2V y V2I, pueden coordinar sus movimientos y reaccionar colectivamente ante posibles peligros, algo imposible de lograr con vehículos tradicionales.

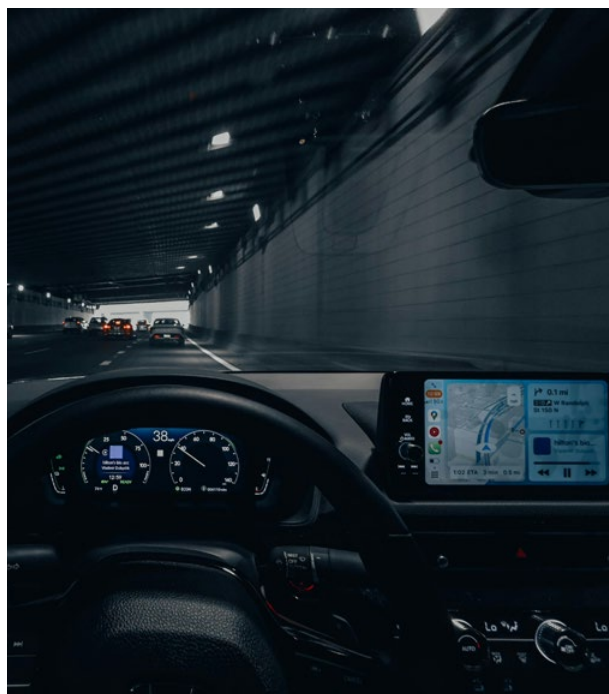


Foto: Allen Boguslavsky

**Eficiencia del transporte:** más allá de la seguridad, los vehículos autónomos también prometen hacer más eficiente la circulación en las ciudades. En muchos centros urbanos, los problemas de congestión generan pérdidas económicas, contaminación y altos niveles de estrés en los usuarios. Los autos autónomos, al contar con acceso constante a datos del

entorno, pueden anticipar embotellamientos, ajustar sus rutas y distribuir mejor el tráfico.

Otro concepto interesante es el "platooning", que consiste en la formación de grupos de vehículos que circulan muy cerca unos de otros, optimizando el uso del espacio y reduciendo la resistencia del aire. Esto no solo mejora la eficiencia del combustible, también contribuye a reducir las emisiones contaminantes. Al funcionar una red inteligente que contempla las arquitecturas de comunicaciones mencionadas previamente, los vehículos autónomos van a transformar el transporte urbano en un sistema más dinámico y respetuoso con el medio ambiente (Jamali, 2024).

**Accesibilidad:** la automatización del transporte ofrece una oportunidad significativa para mejorar la movilidad de personas que, por diversas razones, no pueden conducir. Esto incluye a adultos mayores, personas con alguna discapacidad física y aquellos que no tienen licencia de conducir. En este sentido, los vehículos autónomos pueden proporcionar mayor independencia y autonomía.

Bajo este tipo de escenarios, los automóviles con cierto nivel de autonomía se están diseñando para satisfacer las necesidades específicas de los usuarios, incorporando sistemas que faciliten el acceso, navegación asistida y opciones de interacción mediante voz o interfaces simplificadas. Esto amplía el acceso al transporte para grupos que han sido históricamente excluidos, fomentando de esta manera una movilidad más inclusiva y justa. Además, la implementación de estos vehículos puede influir positivamente en la planificación urbana en ciudades que están en transición a ciudades inteligentes, promoviendo el diseño de urbes más accesibles y adecuadas para todos los ciudadanos, independientemente de su edad o condición física (Clayton, 2024).

# III. Desafíos y consideraciones éticas

Regulación y marco legal: la implementación de los vehículos autónomos a pequeña y gran escala requiere de la creación de un marco legal diferente al actual, concebida para vehículos conducidos por humanos, que se adapte a esta nueva realidad tecnológica. Bajo es nuevo panorama se presentan varios aspectos de índole legal que involucra tanto al vehículo, como a su dueño, al fabricante del automóvil y la empresa desarrolladora del software.

Esta incertidumbre legal sobre todo en los niveles 4 y 5 de automatización que se explican en la tabla a continuación, son particularmente sensibles, debido a factores como mal funcionamiento de algún sistema, participación en accidentes o controles informáticos defectuosos. Con esto en mente, no es de extrañar que se presente resistencia tanto en los usuarios como en los inversionistas en adoptar esta tecnología. Por lo tanto, es importante que los gobiernos trabajen de manera anticipada en normativas claras, transparentes, equitativas y técnicamente fundamentadas (Banish, 2024).

Asimismo, debe garantizarse la protección de los datos que recogen estos vehículos. Dado que almacenan información sobre ubicación, hábitos de conducción e incluso preferencias personales, es indispensable establecer políticas concretas de privacidad y seguridad informática (Park y Park, 2024). Sin controles adecuados, estos datos podrían ser mal utilizados o quedar vulnerables a ciberataques (Márquez, 2022).

Ética y decisiones automatizadas: otro aspecto que genera preocupación es el modo en que los vehículos autónomos toman decisiones en situaciones de emergencia. A diferencia de

un conductor humano que actúa con base en intuición o experiencia, un sistema automatizado debe seguir reglas preestablecidas, y eso implica definir criterios éticos muy delicados (Vakili et al., 2024; Krügel y 2024).

Imaginemos un caso extremo: si el vehículo se encuentra ante la posibilidad de atropellar a un peatón o estrellarse poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes, ¿qué debe priorizar? Este tipo de dilemas, obligan a tomar decisiones morales que los ingenieros y programadores deben anticipar (Nyholm, 2024). Pero ¿quién define esos criterios? ¿El fabricante? ¿El Estado? ¿El usuario?

Distintos enfoques filosóficos —como el utilitarismo o la ética del deber— pueden dar respuestas muy distintas a estos dilemas (Saber et al., 2024). Por eso, es necesario involucrar en este debate a expertos en ética, juristas, tecnólogos y también a la ciudadanía (Ferdman, 2024). La diversidad de opiniones permitirá crear marcos éticos más representativos y legítimos (Jedličková, 2024).

**Infraestructura y adaptación del entorno:** la infraestructura urbana debe transformarse para acoger adecuadamente a los vehículos autónomos. Muchas calles, señales y sistemas de control actuales fueron diseñados pensando en conductores humanos, no en sistemas automatizados que dependen de sensores, redes de comunicación avanzadas y datos precisos.

Por ejemplo, se propone que los semáforos pudiesen conectarse con los sistemas de los vehículos para mejorar el flujo del tráfico. Las carreteras necesitarían contar con señaliza-

ción adecuada para sensores y condiciones de conectividad que faciliten el intercambio continuo de información, como es el sistema VANET. Esta modernización requerirá una inversión significativa y una planificación conjunta entre los sectores público y privado.

Además, las ciudades tendrán que replantear sus espacios. Será necesario establecer áreas específicas para que los vehículos recojan o dejen pasajeros, así como puntos de carga para vehículos eléctricos y protocolos de mantenimiento autónomo. La infraestructura no solo debe seguir el ritmo de la tecnología, sino anticiparse a ella para asegurar una implementación segura y efectiva.

Para que los vehículos autónomos funcionen de manera segura y eficiente, es imperativo que la infraestructura vial sea modernizada y adaptada a sus requerimientos. Esto implica no solo inversiones en tecnología avanzada, como semáforos inteligentes y carreteras interconectadas, también una revisión exhaustiva de la planificación urbana y el diseño de espacios públicos. A medida que nos acercamos a un futuro donde los vehículos autónomos sean comunes, el desarrollo de una infraestructura adecuada será fundamental para garantizar una transición fluida y beneficiosa para toda la sociedad.

# IV. Discusión

Los sistemas de transporte han venido cambiando a lo largo de los años, motivados por la comodidad, confort, eficiencia, seguridad y sostenibilidad. Los vehículos autónomos plantean una transformación profunda en la seguridad y movilidad en las grandes ciudades, con implicaciones que van más allá de lo tecnológico. Queda claro que esta tecnología ofrece beneficios evidentes en diferentes dimensiones de la sociedad, cuya integración exitosa requiere superar múltiples retos.

Uno de los principales desafíos es poder alcanzar los niveles de autonomía máximos, que garanticen una funcionalidad y operación segura del vehículo sin ninguna intervención humana. Según la clasificación de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) (Donà et al., 2024), se plantean seis niveles de automatización; desde el nivel 0, que corresponde al control humano hasta la autonomía plena (nivel 5), tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de automatización según la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE). Fuente autor

Nivel	Descripción
Nivel 0	Sin automatización: el conductor controla todas las funciones de conducción.
Nivel 1	Asistencia del conductor: el sistema puede controlar la dirección o la velocidad, pero el conductor debe estar en control en todo momento.
Nivel 2	Automatización parcial: el sistema puede manejar la dirección y la velocidad simultáneamente, el mantenimiento del carril y el control de velocidad en autopistas precalificadas, pero el conductor debe supervisar continuamente y estar preparado para tomar el control en cualquier momento.
Nivel 3	Automatización condicional: el sistema puede manejar todas las funciones de conducción en ciertas condiciones, puede tomar decisiones informadas, como acelerar para adelantar a un vehículo que se mueve lentamente. En este nivel el conductor debe permanecer alerta y listo para tomar el control si el sistema no puede ejecutar la tarea.

	Automatización alta: en este nivel los vehículos pueden operar en modo de conducción autónoma, manejando todas las funciones de conducción en la mayoría de las situaciones, sin necesidad de intervención del conductor en la mayoría de las circunstancias.
Nivel 4	En este nivel, el humano todavía tiene la opción de anular la conducción manualmente. "Hasta que la legislación y la infraestructura evolucionen, solo la conducción autónoma puede funcionar en un área limitada (generalmente un entorno urbano donde las velocidades máximas alcanzan un promedio de 30 mph)" (Katoch et al., 2025).
	Automatización total: el vehículo es completamente autónomo en todas las condiciones y no necesita intervención humana en ninguna situación. No tendrá volante ni pedales de aceleración o freno. En este escenario, los vehículos podrán desplazarse a cualquier lugar y realizar todas las acciones que un conductor humano experimentado puede hacer.
Nivel 5	En la actualidad, ya se están realizando pruebas en algunas ciudades del mundo, con vehículos totalmente autónomos. Ya hay algunas rutas disponibles para el público en general.

*Fuente: elaboración propia*

No todos los niveles implican progresos lineales (Jiang et al., 2024). Por ejemplo, algunos expertos (Fu et al., 2025; Watkins y Musselwhite, 2025) sostienen que el nivel 3 —en el cual el sistema puede tomar decisiones, pero requiere que el conductor esté disponible para retomar el control— presenta limitaciones prácticas y legales que lo hacen menos viable que niveles más avanzados donde la intervención humana es mínima o nula.

Además, los vehículos autónomos dependen de la interacción entre varios sistemas: sensores como LiDAR, cámaras y radar; algoritmos de inteligencia artificial; conectividad con otras unidades y la infraestructura urbana. Para que todo esto funcione armónicamente, se necesita no solo tecnología robusta, sino también un entorno legal y físico que lo permita.

En ese sentido, el papel del Estado es crucial (Pettigrew et al., 2024). La creación de normativas claras sobre responsabilidad civil, privacidad de datos y ciberseguridad es tan importante como la inversión en infraestructura

adaptada. Significa entonces, que es indispensable abordar las implicaciones éticas acerca de las acciones permitidas a un sistema automatizado, incluyendo la toma de decisiones que pueden afectar la vida humana (Jones, 2024) y comprometer la infraestructura vial, entre otros aspectos.

Conforme evolucione esta tecnología autónoma y siga implementándose en programas piloto en ciudades como San Francisco, Phoenix, Austin y los Ángeles en Estados Unidos, Vantaa (Finlandia), Sion (Suiza), Málaga (España), Trikala (Grecia), Oristano (Italia), Seúl (Corea del Sur), Guangzhou (China), Chiba (Japón) y Singapur, la aceptación social jugará un papel determinante. No basta con que la tecnología funcione como se espera: esta debe inspirar la suficiente confianza a cada comunidad y responder a las expectativas y valores de la sociedad. Es evidente entonces, que este proceso debe ir acompañado de un diálogo abierto entre la industria, las instituciones públicas y ciudadanía en general.

# V. Conclusiones

La llegada de los vehículos autónomos marca un punto de inflexión en la evolución del transporte, ya que promete revolucionar tanto la experiencia de movilidad y seguridad como la infraestructura de las ciudades. Su desarrollo está avanzando rápidamente, y los beneficios que ofrecen —como una mayor seguridad en las vías, eficiencia energética y mejor accesibilidad— prometen tener un impacto significativo en la vida de millones de personas.

No obstante, para que estos beneficios se materialicen de manera justa y segura, es fundamental abordar de manera seria los retos que conlleva esta innovación. Entre estos retos se encuentran la necesidad de establecer un marco legal adecuado, la protección de la información personal, la prevención de amenazas cibernéticas y la consideración ética en la toma de decisiones automatizadas y todo lo que ello atañe.

Además de la tecnología que acompaña a los vehículos autónomos, es esencial adoptar una perspectiva integradora que contemple aspectos sociales, legales y humanos. La colaboración entre gobiernos, empresas, instituciones académicas y la ciudadanía será importante para asegurar que los vehículos autónomos no se conviertan solo en una novedad técnica, sino en herramientas efectivas que mejoren la calidad de vida y promuevan una movilidad más inclusiva, sostenible y segura.

La forma en que se aborden estos desafíos hoy determinará el tipo de sociedad que construiremos en el futuro. Por lo tanto, más allá de considerar simplemente autos sin conductor, debemos reflexionar sobre qué tipo de movilidad deseamos fomentar y bajo qué principios queremos que se guíe.

# VI. Referencias

- Ali, A., Jianjun, H., & Jabbar, A. (2025). Recent Advances in Federated Learning for Connected Autonomous Vehicles: Addressing Privacy, Performance, and Scalability Challenges. *IEEE Access*, 13, 80637-80665. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3562128>
- Banish, G. (2024). Innovation and Technology: The Era of Autonomous Cars and Their Outcomes in Law Enforcement. <https://digitalcommons.liberty.edu/doctoral/5759>
- Beanland, V., Ritchie, C., Ousset, C., Galland, B. C., & Schaughency, E. A. (2024). Distracted and unfocused driving in supervised and unsupervised teen drivers: associations with sleep, inattention, and cognitive disengagement syndrome symptoms. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 100, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.11.013>
- Bilici, F., & Türkoğlu, İ. K. (2024). Autonomous Vehicle Technology and Technology Acceptance: The Role of Technological Readiness on Consumers' Attitudes Towards Driverless Cars and Intention to Use in the Future. *Firat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 36(1), 383-407. <https://doi.org/10.35234/fumbd.1385541>
- Brühl, T., Ewecker, L., Schwager, R., Sohn, T. S., & Hohmann, S. (2024). Making Radar Detections Safe for Autonomous Driving: A Review. *VEHITS*, 299-310. <https://doi.org/10.5220/0012630400003702>
- Chaudhary, S., Sharma, A., Khichar, S., Meng, Y., & Malhotra, J. (2024). Enhancing autonomous vehicle navigation using SVM-based multi-target detection with photonic radar in complex traffic scenarios. *Scientific Reports*, 14(1), 17339. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66850-z>
- Chengula, T. J., Mwakalonge, J., Comert, G., Sulle, M., Siuhi, S., & Osei, E. (2024). Enhancing advanced driver assistance systems through explainable artificial intelligence for driver anomaly detection. *Machine Learning with Applications*, 17, 100580. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100580>
- Clayton, J. (2024). How robotaxis are dividing San Francisco. *BBC news*. <https://www.bbc.com/news/technology-66611513>
- Dai, Z., Guan, Z., Chen, Q., Xu, Y., & Sun, F. (2024). Enhanced Object Detection in Autonomous Vehicles through LiDAR—Camera Sensor Fusion. *World Electric Vehicle Journal*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/wevj15070297>
- Donà, R., Mattas, K., Albano, G., Váss, S., & Ciufo, B. (2024, September). Towards Automated Driving: Findings and Comparison with ADAS. In *Advanced Vehicle Control Symposium* (pp. 954-960). Cham: Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-70392-8\\_134](https://doi.org/10.1007/978-3-031-70392-8_134)
- Dumitrascu, D. I. (2024). Influence of Road Infrastructure Design over the Traffic Accidents: A Simulated Case Study. *Infrastructures*, 9(9), 154. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9090154>
- Ekatpure, R. (2024). Safety Protocols and Risk Mitigation Strategies in the Implementation of Autonomous Driving Systems. *Advances in Urban Resilience and Sustainable City Design*,

- 16(02), 37-46. <https://orientreview.com/index.php/aurscd-journal/article/view/76>
- Ferdman, A. (2024). Bowling alone in the autonomous vehicle: The ethics of well-being in the driverless car. *AI & SOCIETY*, 39(3), 1171-1183. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01565-1>
- Fu, S., Yang, Z., Ma, Y., Li, Z., Xu, L., & Zhou, H. (2024). Advancements in the Intelligent Detection of Driver Fatigue and Distraction: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 14(7), 3016. <https://doi.org/10.3390/app14073016>
- Fu, H., Ye, S., Fu, X., Chen, T., & Zhao, J. (2025). New insights into factors affecting the severity of autonomous vehicle crashes from two sources of AV incident records. *Travel Behaviour and Society*, 38, 100934. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100934>
- Gao, J. (2024). Autonomous Car Behavioral Training Using Deep Neural Network. *Journal of Computing and Electronic Information Management*, 12(1), 48-53. <https://doi.org/10.54097/mkny71cuq7>
- Hell, M., Hajgató, G., Bogár-Németh, Á., & Bári, G. (2024, June). A lidar-based approach to autonomous racing with model-free reinforcement learning. In *2024 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (pp. 258-263). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IV55156.2024.10588613>
- Huang, C., Wen, X., & He, D. (2024). Characteristics of rear-end collisions: a comparison between automated driving system-involved crashes and advanced driving assistance system-involved crashes. *Transportation research record*, 2678(7), 771-782. <https://doi.org/10.1177/03611981231209319>
- Islayem, R., Alhosani, F., Hashem, R., Alzaabi, A., & Meribout, M. (2024). Hardware Accelerators for Autonomous Cars: A Review. *arXiv preprint arXiv:2405.00062*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.00062>
- Jamali, L. (2024). Tesla shares slide after Cybercab robotaxi revealed. *BBC news*. <https://www.bbc.com/news/articles/cm29x5ke9jdo>
- Jaulkar, S., & Parihar, A. (2025). Different types of injury associated with road traffic accidents. *Multidisciplinary Reviews*, 8(11). <https://doi.org/10.31893/multirev.2025111>
- Jedličková, A. (2024). Ethical approaches in designing autonomous and intelligent systems: a comprehensive survey towards responsible development. *AI & SOCIETY*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00146-024-02040-9>
- Jiang, E., Krishnamurthy, H. M., Nguyen, H., Hao, H., Miao, Y., & Zhang, P. (2024). The PennSTART Safety Standards Project: Current Safety Standards and Test Track Designs for Connected and Autonomous Vehicles (No. 467). Carnegie Mellon University. Traffic21 Institute. Safety21 University Transportation Center (UTC). [https://rosap.nhtl.gov/view/dot/77712/dot\\_77712\\_DS1.pdf](https://rosap.nhtl.gov/view/dot/77712/dot_77712_DS1.pdf)
- Jones, W. D. (2024). Partial Automation Doesn't Make Vehicles Safer Self-driving tech is better treated as a convenience, not a safety feature. *Recuperado de: https://spectrum.ieee.org/partial-vehicle-autonomy-risk*
- Katoch, B., Ghosh, I., & Chandra, S. (2025). Safety of children in school zones– A systematic review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 113, 554-569. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.05.020>
- Krügel, S., & Uhl, M. (2024). The risk ethics of autonomous vehicles: an empirical approach. *Scientific reports*, 14(1), 960. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51313-2>
- Lee, Y., & Park, M. (2025). Rearview Camera-Based Blind-Spot Detection and Lane Change Assistance System for Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*, 15(1), 2076-3417. <https://doi.org/10.3390/app15010419>
- Li, Y., Cao, P., Xia, W., Zhou, J., Chu, Y., Zhang, W., & Zhang, J. (2024). Radar High-Speed Target Range-Doppler-Azimuth Coherent Extension Detection for Autonomous Vehicles. *IEEE Sensors Journal*. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3409886>
- Lisowski, J. (2024). Radar Perception of Multi-Object Collision Risk Neural Domains during

- Autonomous Driving. *Electronics*, 13(6), 1065. <https://doi.org/10.3390/electronics13061065>
- Márquez, D. J. E., Prieto, M. A., Castañeda, R. L. Y Benavides, R. L. (2024). *Industria 4.0: Internet de las cosas, Ciberseguridad y Aplicaciones*. Márquez, D. J (Compilador). Editorial Universidad de Cundinamarca.
- <https://repositorioctei.ucundinamarca.edu.co/ingenieria/3>
- Márquez-Díaz, J. E. (2022). Cybersecurity and Internet of Things. *Outlook for this Decade. Computación y Sistemas*, 26(3), 1191–1204. <https://doi.org/10.13053/CyS-26-3-3925>
- Mesías, C. D. (2025). Implementación de redes vehiculares (VANETs) para soporte de comunicaciones en vehículos autónomos. *Polo del Conocimiento*, 10(1), 2497-2511. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i1.8825>
- Mofolasayo, A. (2024). Towards 'vision-zero' in road traffic fatalities: the need for reasonable degrees of automation to complement human efforts in driving operation. *Systems*, 12(2), 40. <https://doi.org/10.3390/systems12020040>
- Moraes, P., Peters, C., Da Rosa, A., Melgar, V., Nuñez, F., Retamar, M., William Moraes, W., Saravia, V., Sodre, H., Barcelona, S., Scirgalea, A., Deniz, J., Guterres, J., Kelbouscas, & Grando, R. (2024). UruBots Autonomous Cars Team One Description Paper for FIRA 2024. arXiv preprint arXiv:2406.08745. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.08745>
- Mounabhargav, P., & Agrawal, P. (2024, March). Camera and LiDAR Integration for Lane-Following and Obstacle Avoidance in Self-Driving Cars. In 2024 International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ESCI59607.2024.10497314>
- Murtaza, M., Cheng, C. T., Fard, M., & Zeleznikow, J. (2024). Assessing Training Methods for Advanced Driver Assistance Systems and Autonomous Vehicle Functions: Impact on User Mental Models and Performance. *Applied Sciences*, 14(6), 2348. <https://doi.org/10.3390/app14062348>
- Nour, M., Nour, M., & Zaki, M. H. (2025). Integrating Vehicle-to-Infrastructure Communication for Safer Lane Changes in Smart Work Zones. *World Electric Vehicle Journal*, 16(4), 215. <https://doi.org/10.3390/wevj16040215>
- Nyholm, S. (2024). Ethical and Legal Issues Related to Autonomous Vehicles. *Future Law, Ethics, and Smart Technologies*, 190-204. [https://doi.org/10.1163/9789004682900\\_019](https://doi.org/10.1163/9789004682900_019)
- Oliva, F., Landolfi, E., Salzillo, G., Massa, A., D'Onghia, S. M., & Troiano, A. (2025). Implementation and Testing of V2I Communication Strategies for Emergency Vehicle Priority and Pedestrian Safety in Urban Environments. *Sensors*, 25(2), 485. <https://doi.org/10.3390/s25020485>
- Orehovački, T., Oreški, G., & Šajina, R. (2024, May). Driving Habits and the Need for Fatigue and Attention Monitoring Devices: Insights from Croatian Drivers. In 2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO) (pp. 1427-1432). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569821>
- Park, S., & Park, H. (2024). PIER: cyber-resilient risk assessment model for connected and autonomous vehicles. *Wireless Networks*, 30(5), 4591-4605. <https://doi.org/10.1007/s11276-022-03084-9>
- Peralta, R., Becerra, I., Ruiz, U., & Murrieta-Cid, R. (2024). A methodology for generating driving styles for autonomous cars. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 28(1), 120-140. <https://doi.org/10.1080/15472450.2022.2109417>
- Pettigrew, S., Booth, L., Farrar, V., Brown, J., Karl, C., Godic, B., Vidanaarachchi, R., & Thompson, J. (2024). Public support for proposed government policies to optimise the social benefits of autonomous vehicles. *Transport Policy*, 149, 264-270. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.02.016>
- Pieroni, R., Specchia, S., Corno, M., & Savaresi, S. M. (2024). Multi-Object Tracking with Camera-LiDAR Fusion for Autonomous Driving. arXiv preprint arXiv:2403.04112. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.04112>

- Rahman, M. H., Gulzar, M. M., Haque, T. S., Habib, S., Shakoor, A., & Murtaza, A. F. (2025). Trajectory planning and tracking control in autonomous driving system: Leveraging machine learning and advanced control algorithms. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 64, 101950. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2025.101950>
- Rana, K., & Khatri, N. (2024). Automotive intelligence: Unleashing the potential of AI beyond advance driver assisting system, a comprehensive review. *Computers and Electrical Engineering*, 117, 109237. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109237>
- Rao, Y. C., Satyanarayana, M., Lavanya, P., Chandra, G. R., Rao, L. S., & Srujan, A. S. (2025). Design of near-infrared imaging system using Nd-YAG laser at 1064 nm and gated InGaAs camera. *Journal of Optics*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12596-025-02548-3>
- Saber, E. M., Kostidis, S. C., & Politis, I. (2024). Ethical Dilemmas in Autonomous Driving: Philosophical, Social, and Public Policy Implications. In *Deception in Autonomous Transport Systems: Threats, Impacts and Mitigation Policies* (pp. 7-20). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-55044-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-55044-7_2)
- Schleunig, D., Dunphy, J., & Verghese, S. (2024, March). Lidar for autonomous vehicles: trends in lasers and detectors. In *High-Power Diode Laser Technology XXII* (Vol. 12867, p. 1286702). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3010003>
- Schoner, J., Sanders, R., & Goddard, T. (2024). Effects of advanced driver assistance systems on impact velocity and injury severity: an exploration of data from the crash investigation sampling system. *Transportation research record*, 2678(5), 451-462. <https://doi.org/10.1177/03611981231189740>
- Sivadarshan, T., Kalaivani, K., Golden Stepha, N., Rajitha Jasmine, R., Jasmine Gilda, A., & Godfrey, S. (2024). An Approach for Avoiding Collisions with Obstacles in Order to Enable Autonomous Cars to Travel Through Both Static and Moving Environments. *Artificial Intelligence for Autonomous Vehicles*, 151-171. <https://doi.org/10.1002/9781119847656.ch7>
- Song, H., Cho, J., Ha, J., Park, J., & Jo, K. (2024). Panoptic-FusionNet: Camera-LiDAR fusion-based point cloud panoptic segmentation for autonomous driving. *Expert Systems with Applications*, 251, 123950. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123950>
- Takala, J., Hämäläinen, P., Sauni, R., Nygård, C. H., Gagliardi, D., & Neupane, S. (2024). Global-, regional-and country-level estimates of the work-related burden of diseases and accidents in 2019. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 50(2), 73. <https://doi.org/10.5271/sjweh.4132>
- Vakili, E., Amirkhani, A., & Mashadi, B. (2024). DQN-based ethical decision-making for self-driving cars in unavoidable crashes: An applied ethical knob. *Expert Systems with Applications*, 255, 124569. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124569>
- Viadero, M. F., Rentería, A. L., Pérez-Oria, J., & Viadero, R. F. (2024). Radar-based pedestrian and vehicle detection and identification for driving assistance. *Vehicles*, 6(3), 1185-1199. <https://doi.org/10.3390/vehicles6030056>
- Watts, M., Poulton, C., Byrd, M. and Smolka, G. (2023). Lidar on a Chip puts self-driving cars in the fast lane. *Recuperado de: https://spectrum.ieee.org/lidar-on-a-chip*
- Watkins, S. J., & Musselwhite, C. (2025). Recognised cognitive biases: How far do they explain transport behaviour?. *Journal of Transport & Health*, 40, 101941. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2024.101941>
- Wood, J. M., Henry, E., Kaye, S. A., Black, A. A., Glaser, S., Anstey, K. J., & Rakotonirainy, A. (2024). Exploring perceptions of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) in older drivers with age-related declines. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 100, 419-430. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.12.006>
- Yang, K., Al Haddad, C., Alam, R., Brijis, T., & Antoniou, C. (2024). Adaptive intervention algo-

- rithms for advanced driver assistance systems. *Safety*, 10(1), 10. <https://doi.org/10.3390/safety10010010>
- Yao, S., Yu, B., Chen, Y., Gao, K., Bao, S., & Shangguan, Q. (2025). Does road environment aesthetics influence risky driving behavior of autonomous vehicles? An evaluation on road readiness using explainable machine learning and random parameters multinomial logit with heterogeneity. *Accident Analysis & Prevention*, 211, 107877. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2024.107877>
- Yuan, M., & Xiao, Y. (2025). PMAKA-IoV: A Physical Unclonable Function (PUF)-Based Multi-Factor Authentication and Key Agreement Protocol for Internet of Vehicles. *Information*, 16(5), 404. <https://doi.org/10.3390/info16050404>
- Zeng, M., Hashim, M. S. M., Ayob, M. N., Ismail, A. H., & Zang, Q. (2025). Intersection collision prediction and prevention based on vehicle-to-vehicle (V2V) and cloud computing communication. *PeerJ Computer Science*, 11, e2846. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2846>
- Zhao, W., Gong, S., Zhao, D., Liu, F., Sze, N. N., Quddus, M., & Huang, H. (2024). Developing a new integrated advanced driver assistance system in a connected vehicle environment. *Expert Systems with Applications*, 238, 121733. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121733>