



MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Autor: Juan Manuel Alonso Martín

Director: Juan Norberto Moriñigo

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Búsqueda de mejores prácticas de mercado para posicionar y maximizar el valor
conseguido por colectivos en riesgo de exclusión

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Juan Manuel Alonso Martín

Fecha: 14/01/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha: 14/01/2025



MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Autor: Juan Manuel Alonso Martín

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Autor: Juan Manuel Alonso Martín

Director: Juan Norverto Moriñigo

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia de Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se analizarán los desafíos éticos y tecnológicos asociados al desarrollo e implementación de los vehículos autónomos. A través de un enfoque interdisciplinario, se evaluará el impacto social, económico y ético de esta tecnología, así como los avances y limitaciones actuales en su desarrollo técnico. Partiendo de un análisis del estado del arte, los marcos regulatorios y los principales dilemas éticos, se elaborarán propuestas para un modelo de implementación responsable. Finalmente, se definirá una hoja de ruta que integre las soluciones tecnológicas y éticas para maximizar los beneficios sociales de los vehículos autónomos.

El desarrollo de los vehículos autónomos ha avanzado significativamente en sensores, inteligencia artificial y conectividad, mejorando la percepción del entorno, la toma de decisiones y la coordinación vial. Estos vehículos han demostrado su potencial para reducir accidentes, pero todavía existen desafíos como ciberseguridad, condiciones adversas y dilemas éticos que dificultan su adopción masiva. Además, su adopción enfrenta barreras relacionadas con el impacto laboral, la privacidad de datos y la falta de regulaciones globales unificadas. La aceptación social se ve afectada por el temor a perder control y la desconfianza, resaltando la necesidad de mayor transparencia y regulación estatal para garantizar equidad y seguridad.

Palabras clave: Vehículos autónomos, seguridad, desafío ético, tecnología

ETHICAL AND TECHNICAL CHALLENGES OF AUTONOMOUS VEHICLES

Author: Juan Manuel Alonso Martín

Supervisor: Juan Norberto Moriñigo

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas

ABSTRACT

This project will analyze the ethical and technological challenges associated with the development and implementation of autonomous vehicles. Through an interdisciplinary approach, the social, economic, and ethical impact of this technology will be evaluated, along with the current advancements and limitations in its technical development. Based on an analysis of the state of the art, regulatory frameworks, and key ethical dilemmas, proposals will be made for a responsible implementation model. Finally, a roadmap will be defined to integrate technological and ethical solutions to maximize the social benefits of autonomous vehicles.

The development of autonomous vehicles has advanced significantly in sensors, artificial intelligence, and connectivity, improving environmental perception, decision-making, and traffic coordination. These vehicles have demonstrated their potential to reduce accidents, but challenges such as cybersecurity, adverse conditions, and ethical dilemmas persist. Additionally, their adoption faces barriers related to labor impact, data privacy, and the lack of unified global regulations. Social acceptance is hindered by fears of losing control and distrust, highlighting the need for greater transparency and government regulation to ensure equity and safety.

Keywords: Autonomous vehicles, safety, ethical dilemma, technology

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Contexto y justificación del estudio	7
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Objetivos de la investigación	9
1.3.1 Identificación de desafíos éticos clave	9
1.3.2 Análisis de retos tecnológicos en el desarrollo de vehículos autónomos.....	9
1.3.3 Evaluación del impacto social y económico de los vehículos autónomos.....	9
1.3.4 Propuestas para abordar los desafíos planteados	10
Capítulo 2. Revisión bibliográfica.....	11
2.1 Introducción a los vehículos autónomos	11
2.2 Tipos de vehículos autónomos según el nivel de autonomía.....	12
2.3 Evolución de los vehículos autónomos	14
2.4 Implicaciones éticas y sociales del uso de vehículos autónomos	16
2.4.1 Beneficios esperados	16
2.4.2 Desafíos éticos.....	17
2.5 Leyes de Asimov	18
2.5.1 Primera Ley.....	18
2.5.2 Segunda Ley.....	18
2.5.3 Tercera Ley.....	18
2.6 Marco legal y regulatorio de los vehículos autónomos	19
2.6.1 España	19
2.6.2 Estados Unidos.....	20
Capítulo 3. Metodología	22
3.1 Diseño de la investigación.....	22
3.2 Métodos de recopilación de datos	22
3.3 Validez de la metodología.....	23
Capítulo 4. Desafíos tecnológicos	24
4.1 Sensores.....	24
4.1.1 Características necesarias de un sensor	24

4.1.2 Tipos de sensores, ventajas y desafíos.....	25
4.2 Integración con el entorno.....	27
4.2.1 Detección de carreteras	27
4.2.2 Detección de carriles.....	28
4.2.3 Detección de vehículos	28
4.2.4 Detección de peatones	28
4.2.5 Detección de somnolencia	29
4.2.6 Prevención de colisiones	29
4.2.7 Reconocimiento de señales de tráfico	29
4.3 Impacto de la ciberseguridad.....	29
4.3.1 Ataques a los Sensores	30
4.3.2 Ataques a la Comunicación.....	30
4.3.3 Almacenamiento de datos.....	30
4.4 Evaluación cuantitativa de la seguridad: comparación entre conducción autónoma y humana.....	31
4.4.1 Tasas de accidentes por tipo de conducción	31
4.4.2 Análisis de patrones de error y comportamiento en condiciones críticas.....	32
4.4.3 Impacto en la reducción de lesiones y mortalidad	33
Capítulo 5. Desafíos éticos	34
5.1 Toma de decisiones en situaciones críticas: dilemas morales	34
5.1.1 Dilema del tranvía.....	34
5.1.2 Dilema del pasajero vs peatón	35
5.1.3 Dilema de la discriminación algorítmica.....	35
5.1.4 Dilema de la responsabilidad distribuida	36
5.2 Impacto en el empleo y la economía local	36
5.3 Igualdad en el acceso a la tecnología	38
5.4 Confianza del público y aceptación social	39
5.4.1 Resultados de la encuesta.....	39
5.4.2 Observaciones	40
Capítulo 6. Comparación Económica.....	42
6.1.1 Uso Privado.....	42
6.1.2 Taxi.....	44

Capítulo 7. Recomendaciones	46
7.1 Sector privado.....	46
7.1.1 Retos Tecnológicos.....	46
7.1.2 Retos éticos.....	47
7.2 Sector público.....	47
7.2.1 Retos tecnológicos.....	47
7.2.2 Retos Éticos	48
Capítulo 8. Conclusiones.....	49
8.1 Resumen de los principales hallazgos	49
8.1.1 Tecnología.....	49
8.1.2 Ética.....	50
8.2 Cumplimiento de los objetivos.....	52
8.2.1 Identificación de desafíos éticos clave	52
8.2.2 Análisis de retos tecnológicos en el desarrollo de vehículos autónomos.....	52
8.2.3 Evaluación del impacto social y económico de los vehículos autónomos.....	53
8.2.4 Propuestas para abordar los desafíos planteados	53
8.3 Limitaciones de la investigación	53
8.3.1 Falta de datos empíricos específicos.....	54
8.3.2 Análisis económico y social insuficientemente cuantificado.....	54
8.3.3 Limitaciones en la interoperabilidad	54
8.3.4 Falta de exploración práctica de dilemas éticos complejos.....	55
8.4 Futuros estudios e investigaciones	55
8.4.1 Comparación exhaustiva de tasa de accidentes en vehículos autónomos vs tradicionales	55
8.4.2 Comparación internacional de marcos éticos y legales.....	55
8.4.3 Propuesta de marco legal internacional	56
8.4.4 Evaluación del impacto ambiental de los vehículos autónomos	56
8.4.5 Aceptación social de los vehículos autónomos.....	56
8.4.6 Desafíos tecnológicos específicos para la conducción en entornos complejos.....	57
8.4.7 Modelos económicos de adopción de vehículos autónomos.....	57
8.5 Reflexión sobre el futuro de los vehículos autónomos.....	57
Capítulo 9. Bibliografía.....	60

<i>ANEXO I: Cuestionario</i>	66
<i>ANEXO II: Resultados del cuestionario</i>	70
<i>Anexo III: ODS</i>	76

Índice de figuras

Ilustración 1: Coche autónomo Waymo	13
Ilustración 2: Niveles de coches autónomos - Elaboración propia.....	14
Ilustración 3: Niveles de conducción autónoma permitido por estado.....	21
Ilustración 4: LiDAR.....	26
Ilustración 5: Camaras en un coche autónomo	27
Ilustración 6: % de trabajos afectados por la automatización en 2030 - OCDE	37
Ilustración 7: Uso de tecnología IT – (Aleksejeva et Al, 2021).....	38

Índice de tablas

Tabla 1: Comparación coste coche autónomo vs Tradicional - Escenario 1.1.....	43
Tabla 2: Comparación coste coche autónomo vs Tradicional - Escenario 1.2.....	44
Tabla 3: Comparación coste taxi autónomo vs tradicional.....	45

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La industria de los vehículos autónomos se encuentra en una etapa de crecimiento exponencial, impulsada por avances en inteligencia artificial (IA), aprendizaje automático y nuevos descubrimientos en material utilizado para su desarrollo como sensores (Rozhkova et Al., 2020). El objetivo de la innovación en esta industria es transformar la movilidad en el medio y largo plazo. Los vehículos autónomos tienen el objetivo reducir el número de accidentes de tráfico, aumentar la eficiencia del transporte, y mejorar la accesibilidad de personas con movilidad limitada (Rajasekhar & Jaswal, 2015).

Para poder conseguir estos objetivos, se está realizando una fuerte inversión tanto desde el sector privado como el sector público. Empresas tecnológicas, fabricantes de automóviles y gobiernos están invirtiendo en investigación y desarrollo para posicionar a los vehículos autónomos como una tecnología clave en el futuro (Winston & Karpilow, 2020).

Además, este trabajo es particularmente interesante debido al crecimiento al que está expuesto esta industria. Como se puede observar en la ilustración 1, el tamaño del mercado está previsto que sea casi 8 veces mayor en el año 2030 respecto al año 2024.

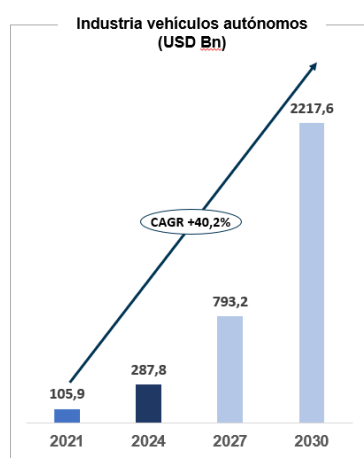


Ilustración 1: Tamaño del mercado de la industria de los vehículos autónomos - Statista

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Por ello, este trabajo pretende abordar de manera integral tanto los retos éticos como los tecnológicos para garantizar una integración sostenible de los vehículos autónomos en la sociedad. Es vital entender como la tecnología va a permitir desarrollar soluciones cuyo objetivo será maximizar el beneficio social y minimizar los riesgos para asegurar el éxito de esta transformación en la movilidad global.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tal y como se ha mencionado, la adopción de los vehículos autónomos representa un cambio disruptivo en la movilidad. Sin embargo, su implementación enfrenta múltiples problemas (tecnológicos, éticos y sociales) que deben ser abordados antes de la implementación.

En el ámbito tecnológico, a pesar de los avances, todavía hay limitaciones en los sistemas de detección y en la toma de decisiones autónomas. En los estudios realizados, no se ha determinado todavía cómo los coches autónomos van a mejorar la capacidad humana (Di Lillo et Al., 2024). Sin embargo, se puede afirmar que el error humano es la mayor causa de accidentes debido al riesgo de distracción y fatiga (Department of Motor Vehicles, 2024). Además, los vehículos autónomos son vulnerables a ataques cibernéticos, lo que podría comprometer no solo a los usuarios individuales, sino a sistemas completos de transporte.

Desde una perspectiva ética, los vehículos autónomos deben afrontar constantemente problemas éticos. Por ejemplo, uno de los más destacados es la toma de decisiones en situaciones críticas como colisiones inevitables. ¿Cómo se decide la prioridad de una vida sobre la otra? Este tipo de decisiones cuestionan los principios que deberían guiar el diseño de estas tecnologías.

En el ámbito social y económico, el impacto de los vehículos autónomos es alto. Si bien es cierto que hay beneficios sociales como la reducción de accidentes e incremento en la eficiencia, hay preocupación en determinados sectores de la sociedad como el sector del transporte privado (Taxi y VTC), transporte público y camioneros por cómo la entrada de los vehículos autónomos va a afectar a su empleabilidad. Además, otro riesgo potencial puede ser el aumento en la desigualdad social, ya que la accesibilidad a esta tecnología podría

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

estar limitada por su alto coste inicial y la disparidad en la infraestructura tecnológica entre regiones urbanas y rurales (Liu. 2017).

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 IDENTIFICACIÓN DE DESAFÍOS ÉTICOS CLAVE

Este trabajo explorará los principales desafíos éticos asociados con la implementación de vehículos autónomos. Se analizará la toma de decisiones en situaciones críticas, los problemas de responsabilidad legal y moral, así como el impacto en el empleo y la economía local. Además, se estudiará la equidad en el acceso a esta tecnología y cómo afecta a diferentes grupos sociales.

1.3.2 ANÁLISIS DE RETOS TECNOLÓGICOS EN EL DESARROLLO DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

La investigación se centrará en los desafíos tecnológicos que deben superarse para la implementación exitosa de vehículos autónomos. Entre los aspectos a considerar se incluyen las limitaciones actuales en la tecnología de sensores y procesamiento, la integración con la infraestructura urbana y los sistemas de transporte, el impacto de la ciberseguridad y la privacidad, y cómo la inteligencia artificial y el aprendizaje automático afectan la toma de decisiones. Además, se intentará determinar si los vehículos autónomos son más seguros o no.

1.3.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Otro de los objetivos de este trabajo es evaluar el impacto que los vehículos autónomos tendrán en la sociedad y en la economía. Se analizará cómo esta tecnología afectará al empleo, los modelos de negocio y la seguridad en las carreteras. Además, se estudiarán las implicaciones que la adopción masiva de estos vehículos podría tener sobre el transporte urbano y la sostenibilidad ambiental.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

1.3.4 PROPUESTAS PARA ABORDAR LOS DESAFÍOS PLANTEADOS

Finalmente, en este trabajo se buscará desarrollar propuestas prácticas y soluciones para abordar los retos éticos y tecnológicos identificados. Se propondrán recomendaciones tanto para los legisladores como para las empresas tecnológicas, con el fin de garantizar una implementación segura, ética y beneficiosa de los vehículos autónomos en la sociedad.

Para alcanzar estos objetivos, se va a comenzar con un análisis exhaustivo conceptual de los vehículos autónomos con el objetivo de entender cuáles son los retos éticos y tecnológicos, para así poder abordarlos de forma exitosa con la metodología correspondiente.

Capítulo 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUCCIÓN A LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Los vehículos autónomos son sistemas de transporte diseñados para operar sin intervención humana en determinadas condiciones. Este tipo de vehículos utiliza una combinación de tecnologías avanzadas que incluyen sensores, inteligencia artificial (IA), sistemas de procesamiento de datos y conectividad para percibir su entorno, tomar decisiones y ejecutar maniobras de forma segura y eficiente (Faisal et Al., 2019).

Desde su invención, estos sistemas han prometido revolucionar la movilidad, incrementando la seguridad en carretera, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la accesibilidad. El concepto de vehículo autónomo abarca muchos más conceptos que la eliminación del conductor humano (Bimbrow, 2015). Estos vehículos están diseñados para realizar tareas complejas que imitan las decisiones humanas al conducir, como interpretar señales de tráfico, prever movimientos de otros vehículos o peatones y optimizar rutas en tiempo real. Para realizar estas tareas, un coche autónomo cuenta con las siguientes tecnologías:

- **Sensores y cámaras:** Recogen datos del entorno, como la posición de otros vehículos, peatones, señales de tráfico y condiciones meteorológicas.
- **Inteligencia artificial (IA):** Procesa los datos de los sensores, simula decisiones humanas y optimiza rutas en tiempo real.
- **Sistemas de control:** Ejecutan maniobras precisas, como frenar, acelerar o girar, según las decisiones tomadas por la IA.
- **Conectividad:** Permite la comunicación con otros vehículos e infraestructuras (tecnología V2X), mejorando la coordinación y reduciendo el riesgo de accidentes.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

2.2 TIPOS DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS SEGÚN EL NIVEL DE AUTONOMÍA

La clasificación establecida por la Society of Automotive Engineers (SAE) define seis niveles de autonomía, del 0 al 5. Cada nivel refleja el grado de control que el vehículo tiene sobre sus funciones y el papel del conductor humano (Wang, 2020):

El primer punto, y punto de partida en esta escala es el **Nivel 0**. El conductor tiene control absoluto sobre todas las funciones del vehículo, aunque el conductor puede estar ayudado por sensores o tecnologías (sensor de proximidad o alarma de colisión) Sin embargo, no se considera que estas herramientas ayuden a la conducción y la intervención humana debe ser total en cualquier momento.

En el **Nivel 1** empieza a haber cierto grado de automatización. Se incluyen herramientas como la asistencia en el mantenimiento del carril o control de crucero adaptativo que se encargan de funciones específicas de la conducción. El conductor sigue teniendo control total del vehículo y no puede desviar la atención, pero este nivel representa el primer paso entre la interacción entre la persona y el vehículo.

El **Nivel 2** es capaz de gestionar la dirección y la aceleración en ciertas circunstancias bajo control. Un ejemplo de un fabricante privado es el sistema Autopilot de Tesla, que permite al vehículo operar parcialmente de manera autónoma. Aunque en estas situaciones de control el conductor puede separar las manos del volante, éste debe tocar el volante cada cierto tiempo para que el vehículo detecte que la supervisión humana sigue estando presente. En caso de no hacerlo, el conductor es avisado por una alarma y en caso de seguir sin agarrar el volante, el vehículo se detiene.

El siguiente salto tecnológico se da en el **Nivel 3**, donde los vehículos pueden asumir completamente el mando bajo situaciones de control. A diferencia del Nivel 2, el conductor puede desviar la atención, aunque debe estar preparado para retomar el control si el sistema lo requiere. Este nivel es posible gracias al uso de sensores avanzados, datos en tiempo real y mapeo de alta precisión.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

En el **Nivel 4**, se introduce la posibilidad de una conducción completamente autónoma dentro de entornos bajo control. Estas áreas bajo control suelen estar delimitadas por geofencing, una tecnología que utiliza GPS para definir límites geográficos virtuales. Un ejemplo de esta tecnología son los taxis autónomos de Waymo, que ya operan en algunas ciudades de Estados Unidos como Phoenix. Aunque ya no es necesaria la supervisión humana, el vehículo no puede funcionar fuera de los entornos delimitados y, en caso de fallo, el vehículo se puede detener sin la intervención de una persona.



Ilustración 2: Coche autónomo Waymo

Finalmente, el **Nivel 5** representa la autonomía completa. Los vehículos nivel 5 pueden operar en cualquier entorno y bajo cualquier circunstancia sin cualquier tipo de intervención humana. Estos vehículos se pueden adaptar a condiciones complejas, como el tráfico mixto o climas adversos. Aunque aún no existen en el mercado, el desarrollo de estos sistemas transformará por completo la movilidad, ya que se eliminará por completo la necesidad de un conductor para operar un vehículo.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

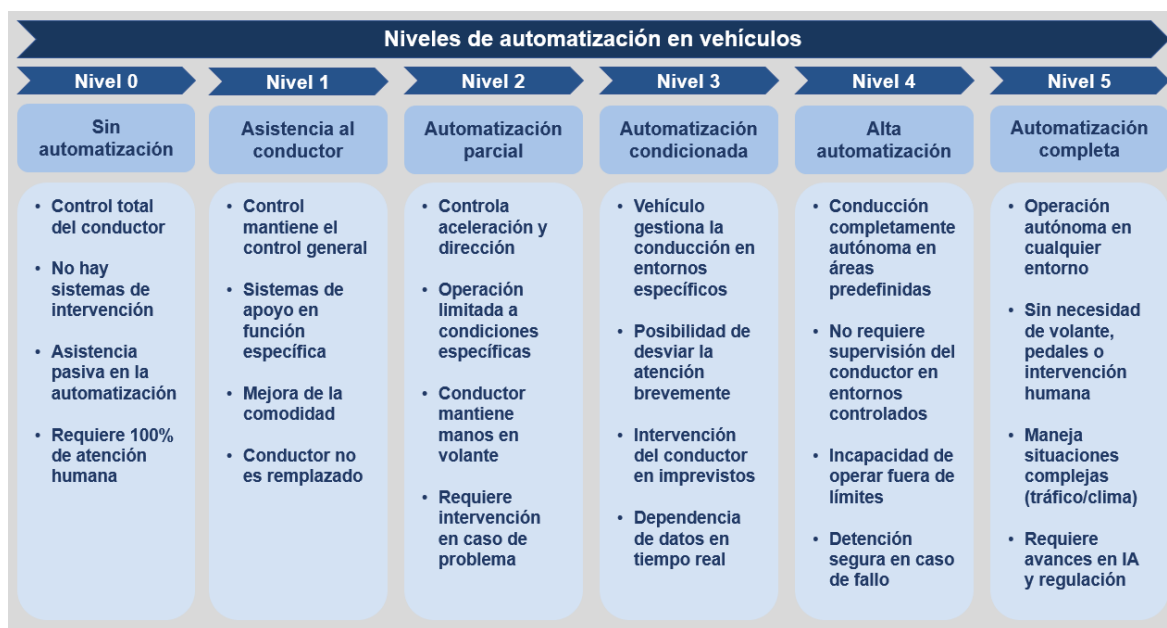


Ilustración 3: Niveles de coches autónomos - Elaboración propia

2.3 EVOLUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Los coches autónomos se han desarrollado en las últimas décadas gracias a avances en inteligencia artificial, sensores, y el desarrollo de infraestructura y regulaciones. El concepto de vehículo autónomo surge por primera vez en los años 80. En los años 80, los coches autónomos eran principalmente proyectos académicos. Uno de los primeros proyectos que intentaron buscar la conducción sin intervención humana fue el “NavLab”, un proyecto realizado por desarrolladores de software de la universidad Carnegie Mellon University en 1984. Durante los años 90, otros proyectos, como el VaMP de Daimler-Benz, se centraron en integrar tecnologías más avanzadas para la navegación, aunque estos vehículos aún dependían de la intervención humana para tareas complejas (Pomerlau et Al., 1994)

El año 2004 marcó un punto de inflexión con la primera edición del DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) Grand Challenge. El DARPA Grand Challenge es una serie de competiciones de vehículos autónomos organizadas por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa de los Estados Unidos (DARPA). Lanzado en 2004, su objetivo era impulsar el desarrollo de tecnologías de conducción autónoma, poniendo a prueba la capacidad de los vehículos autónomos para moverse sin

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

intervención humana. Aunque en las primeras ediciones no hubo vehículos completamente autónomos, el evento impulsó significativamente la investigación en el campo.

En el año 2009, Google creó el proyecto Waymo, que comenzó a probar vehículos autónomos en las calles de California. Este proyecto integró el uso de sensores avanzados como LiDAR y cámaras de alta resolución para mejorar la toma de decisiones, y comenzó a utilizar algoritmos de aprendizaje automático para mejorar las capacidades de los coches en entornos urbanos (Templeton, 2024).

A partir del 2010, empresas como Tesla introdujeron tecnologías de conducción autónoma en modelos de producción. El sistema "Autopilot" de Tesla, aunque limitado a ciertas funciones como el control de crucero adaptativo y el mantenimiento de carril, es uno de los primeros ejemplos de vehículos en la vía pública con características de autonomía parcial, alcanzando el nivel 2 de autonomía (Mit et Al., 2020).

La última década, 2020-2030, ha sido testigo de avances más notables, con empresas como Waymo lanzando servicios de transporte autónomo en ciertas áreas. A pesar de estos avances, la transición al nivel 5 de autonomía sigue siendo un reto, principalmente por las complejidades en la interacción con otros conductores, las condiciones climáticas adversas, las incertidumbres en la regulación y los desafíos éticos (Orien et Al., 2024).

Los avances tecnológicos han permitido que los coches sean capaces de manejar ciertas funciones de conducción sin intervención humana en condiciones controladas, como autopistas o áreas urbanas delimitadas. Sin embargo, aún existen desafíos tanto técnicos como éticos, especialmente relacionados con la seguridad, la responsabilidad en caso de accidentes y la aceptación pública. Según los expertos, el avance hacia la autonomía total es inevitable, pero la implementación comercial a gran escala podría tomar aún varias décadas debido a la necesidad de resolver estos problemas y establecer marcos regulatorios adecuados (Besnik & Andrews, 2024).

2.4 IMPLICACIONES ÉTICAS Y SOCIALES DEL USO DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

2.4.1 BENEFICIOS ESPERADOS

Los beneficios esperados de los coches autónomos abarcan aspectos clave relacionados con la seguridad, la eficiencia del transporte, la accesibilidad y el impacto ambiental. Estos vehículos, en caso de ser implementados en la sociedad de una forma exitosa, transformarán la movilidad tal como la conocemos. Los principales beneficios por esperar de los vehículos autónomos son los siguientes:

En primer lugar, la reducción de accidentes de tráfico es uno de los objetivos más importantes. La eliminación de errores humanos, responsables de más del 90% de los accidentes en la actualidad, disminuiría significativamente las víctimas mortales en carretera (Department of Motor Vehicles, 2024). Los sistemas basados en IA, junto a los sensores avanzados, asegurarían tiempos de reacción más rápidos y una toma de decisiones precisa, algo que no se puede garantizar en la conducción humana.

En segundo lugar, los coches autónomos también mejorarían la eficiencia del tráfico al optimizar las rutas y reducir los atascos. Si se diseña una infraestructura robusta donde los vehículos se comuniquen entre ellos (V2V) y con la infraestructura (V2I), se podría optimizar la velocidad y el frenado para mejorar los atascos. Esto no solo ahorraría tiempo a los usuarios, sino que se reduciría el consumo de energía (combustibles fósiles o electricidad) al evitar frenadas y aceleraciones innecesarias (Orien et Al., 2024).

Otro aspecto por destacar es la mejora en la accesibilidad, en especial en personas con movilidad reducida y mayores que han perdido las habilidades conducir. Los vehículos autónomos tienen el potencial de dar esta independencia a grupos muchas veces vulnerables, mejorando su calidad de vida e integración en la sociedad (Imanishimwe & Kumar, 2024).

Finalmente, el impacto ambiental también podría ser positivo. Las emisiones no mejorarían solo debido a la mejora de la eficiencia en la conducción si no que se podría

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

disminuir el uso del coche al poder conectarse con otros usuarios para compartir viajes o integrarse en sistemas de transporte público (Gherardini & Cabri, 2024).

Estos beneficios destacan las posibilidades de mejorar la sociedad de los coches autónomos, aunque dependerá de poder superar los desafíos técnicos, legales y sociales que aún están presentes.

2.4.2 DESAFÍOS ÉTICOS

La inclusión de vehículos autónomos en la sociedad trae de la mano una serie de desafíos éticos que deben ser abordados para su implementación responsable. Entre los principales dilemas éticos se encuentran la toma de decisiones en situaciones críticas, la asignación de responsabilidad legal y moral, el impacto socioeconómico y la privacidad y el uso de datos personales. Algunos de estos dilemas son el dilema del tranvía, dilema del pasajero vs peatón, dilema de la discriminación algorítmica y el dilema de la responsabilidad distribuida.

El siguiente desafío ético está relacionado con el impacto en el empleo y la desigualdad. Tal y como se ha mencionado en el planteamiento del problema, la automatización de vehículos podría transformar negativamente sectores laborales. Estudios afirman que millones de empleos en transporte, logística y reparto desaparecerán, afectando especialmente a trabajadores más vulnerables de ser expulsados del mercado laboral.

Finalmente, la privacidad y el uso de datos personales representan otro gran desafío. Los vehículos autónomos recopilan grandes volúmenes de información, desde datos de geolocalización hasta patrones de comportamiento de los usuarios. Aunque estos datos son esenciales para mejorar el rendimiento y la seguridad, no está definido cómo es almacenamiento y uso de estos datos, así como quién tiene acceso a ellos y cómo los usuarios pueden controlar su privacidad. Las grandes empresas o gobiernos, en especial donde quién tiene acceso a ellos y si los usuarios pueden ejercer control sobre su privacidad.

Estos desafíos, que pueden ser explotados por grandes empresas como gobiernos (en especial en países con antecedentes en la vulneración de derechos humanos) resalta la necesidad de la creación de un marco ético para proteger a los usuarios.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

2.5 LEYES DE ASIMOV

Isaac Asimov, en su obra de ciencia ficción, introdujo las Tres Leyes de la Robótica como un conjunto ético para regir el comportamiento de los robots. Estas leyes, aunque están pensadas para un universo ficticio, plantean principios éticos y de diseño relevantes en la actualidad. Estas leyes se pueden aplicar a cualquier contexto que implique una interacción hombre-máquina, como es el contexto de los vehículos autónomos (Anderson, 2008).

2.5.1 PRIMERA LEY

La primera ley establece que un robot no debe dañar a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño. Este principio es importante en el diseño de vehículos autónomos, ya que el éxito de estos pasa por el objetivo de minimizar el riesgo de accidentes y priorizar la seguridad de los pasajeros y peatones. Los algoritmos de conducción autónoma deben estar diseñados para evitar obstáculos, tomando decisiones que reduzcan el daño potencial en situaciones de emergencia. Sin embargo, esto plantea dilemas éticos como el dilema del tranvía, previamente mencionado.

2.5.2 SEGUNDA LEY

La segunda ley dice que un robot debe obedecer las órdenes de los seres humanos, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la primera ley. Esta ley también está relacionada con el desarrollo de los vehículos autónomos. Los usuarios deben poder dar instrucciones a los vehículos, pero éstas no pueden contradecir los principios de seguridad establecidos. Por ejemplo, si un pasajero intenta ordenar al vehículo que exceda los límites de velocidad o realice maniobras peligrosas, el sistema debe negarse a cumplir dichas instrucciones.

2.5.3 TERCERA LEY

La tercera ley señala que un robot debe proteger su propia existencia siempre y cuando esta protección no entre en conflicto con la primera o la segunda ley. Los vehículos autónomos están diseñados para evitar daños que comprometan su funcionamiento. Un vehículo dañado representa un peligro para sus ocupantes y para otros usuarios de la vía.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

La implementación de estos principios en los vehículos autónomos enfrenta múltiples desafíos éticos como se va a plantear en el capítulo 5.

2.6 MARCO LEGAL Y REGULATORIO DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Una vez presentados los dilemas éticos, se va a estudiar cuál es la situación legal en España y Estados Unidos.

2.6.1 ESPAÑA

En España, la regulación de los vehículos autónomos es responsabilidad de la Dirección General de Tráfico (DGT). En la actualidad, en España, se permite la realización de pruebas de vehículos autónomos hasta el nivel 3 en circuitos cerrados y hasta el nivel 2 en carreteras públicas. No obstante, no existe aún un marco regulatorio que permita la circulación de vehículos de nivel 4 o 5 en las vías públicas (Bolsa, 2024).

La DGT está trabajando en una normativa para regular la conducción autónoma a nivel nacional, que se espera esté finalizada en el primer trimestre de 2025. Según expertos del mundo del motor, esta normativa incluirá cambios en el Reglamento General de Circulación y en el Reglamento General de Vehículos (Tejero, 2024). Entre los ajustes, se incluyen artículos que definirán las obligaciones de los ocupantes y el titular de los vehículos autónomos, así como un procedimiento de certificación para el sistema de conducción automatizada.

Sin embargo, para estos niveles más avanzados de automatización (4 y 5), la DGT prefiere esperar a que se establezca un marco legal europeo que permita la homologación de estos vehículos. Aunque algunos países de Europa, como Alemania y Francia, ya han avanzado en la regulación de vehículos autónomos de nivel 4 (Wienrich, 2024), en España aún no es posible la circulación de estos vehículos en carreteras públicas debido a la falta de una legislación nacional específica.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Por otro lado, algunos fabricantes ya han visto cómo sus sistemas de conducción autónoma de nivel 3 (BlueCruise de Ford) han sido aprobadas por la DGT. En el caso de Ford, fue aprobado en octubre de 2023 (Lifona, 2023). Este sistema en específico permite que el vehículo circule de manera autónoma en ciertos tramos de autopistas y autovías, aunque siempre con un conductor presente y supervisando la conducción.

2.6.2 ESTADOS UNIDOS

En Estados Unidos, los vehículos autónomos se consideran una parte clave del futuro de la industria automotriz y se ha intentado legislar para no impedir el desarrollo de esta tecnología. Sin embargo, como Estados Unidos es un territorio federal, los encargados de la legislación son cada uno de los 50 estados más el distrito de Columbia. Sin embargo, cada año, más estados han aprobado leyes para fomentar el uso de estos vehículos (Miller, 2024).

Nevada fue el primer estado en autorizar la operación de vehículos autónomos en 2011. Actualmente, 27 estados y el Distrito de Columbia permiten la prueba o el funcionamiento de vehículos autónomos de nivel 4 y 5, mientras que 6 estados adicionales solo permiten la prueba o el funcionamiento de vehículos autónomos de nivel 3 en la vía pública. La mayoría de los estados lograron aprobar leyes sobre vehículos autónomos con relativamente poca oposición, tanto por parte del partido republicano como el partido demócrata, lo que indica la mentalidad de los estadounidenses en lo que se refiere al desarrollo de los vehículos autónomos. En lo que concierne al futuro, y viendo cómo las empresas de vehículos autónomos continúan expandiendo sus pruebas, según expertos de la industria, la regulación en los diferentes países estará más enfocada en establecer nuevos requisitos de prueba y operación.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

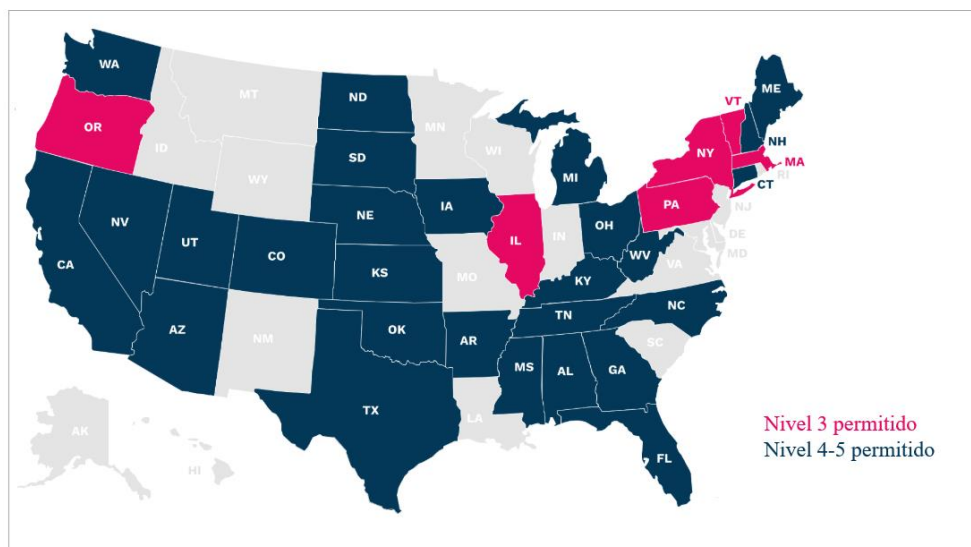


Ilustración 4: Niveles de conducción autónoma permitido por estado - Elaboración propia

Capítulo 3. METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo se ha realizado utilizando un diseño de investigación mixto, que combina un análisis cuantitativo con un análisis cualitativo. El objetivo de utilizar este método es ofrecer una visión integral sobre el impacto de los vehículos autónomos no solo en la industria del transporte si no también en la sociedad. El análisis cuantitativo se empleará para explorar los retos tecnológicos asociados a los vehículos autónomos, en especial la fiabilidad y reducción de accidentes. Por otro lado, el análisis cualitativo se centrará en explorar los retos éticos, como las preocupaciones sobre la privacidad, la toma de decisiones autónomas y las implicaciones sociales y la percepción de la sociedad. Este enfoque mixto no busca únicamente identificar tendencias con datos, sino comprender los factores humanos que influyen en la aceptación y aplicación de los vehículos autónomos en la sociedad.

3.2 MÉTODOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Para abordar los objetivos de investigación y obtener datos representativos sobre los vehículos autónomos, se emplearán diversos métodos de recopilación de información:

Análisis cuantitativo: Se utilizarán datos ya recopilados en otros estudios previos relacionados con la seguridad de los vehículos autónomos. Estos datos servirán para determinar si los vehículos autónomos son más seguros que los coches conducidos por personas, evaluando su desempeño en situaciones de conducción en comparación con conductores humanos. Se analizarán estadísticas y estudios previos sobre accidentes, incidentes y el comportamiento de los vehículos en diversas condiciones de tráfico.

Análisis cualitativo: Se llevará a cabo un cuestionario para entender la aceptación de los vehículos autónomos en España. El objetivo es que la muestra esté compuesta por 100 personas distribuidas de la siguiente manera: 20 personas de entre 18-24 años, 20 personas de 25-34 años, 20 personas de 35-44 años, 20 personas de 45-54 años y 20 personas de 55-

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

65 años. Todos los participantes serán españoles. A través de este cuestionario, se buscará comprender las percepciones, miedos, expectativas y nivel de aceptación de la sociedad española hacia esta tecnología emergente.

Además, se estudiarán en profundidad los desafíos tecnológicos y éticos asociados a los vehículos autónomos, basándose en lo que ya está publicado no solo en el propio ámbito de los vehículos autónomos si no en otras industrias similares.

3.3 VALIDEZ DE LA METODOLOGÍA

La combinación de métodos cualitativos y cuantitativos, utilizada en este diseño de investigación, es ampliamente reconocida en la investigación científica por su capacidad para abordar fenómenos complejos y proporcionar una visión integral (Creswell & Clark, 2017). Este enfoque permite integrar datos objetivos con perspectivas subjetivas, lo cual es fundamental para evaluar el impacto de los vehículos autónomos tanto desde el punto de vista de la seguridad como de la aceptación social.

El análisis cuantitativo se apoya en datos existentes de estudios previos sobre la seguridad de los VA para ofrecer una base objetiva. Aunque las limitaciones de datos específicos y las variables controladas pueden restringir la implementación de modelos estadísticos más complejos, el análisis descriptivo de estos datos permite identificar tendencias claras y patrones significativos en la comparación de la seguridad entre los vehículos autónomos y los vehículos conducidos por humanos.

Por otro lado, el análisis cualitativo se centra en el cuestionario realizado a una muestra representativa de la población española, lo que permite explorar las percepciones y actitudes sobre los vehículos autónomos en el mercado nacional. El cuestionario ofrece una visión más profunda y subjetiva sobre los dilemas éticos y las barreras sociales que podrían influir en la aceptación de esta tecnología en la sociedad española. Aunque los datos cualitativos no proporcionan la misma base estadística que los cuantitativos, complementan el análisis al destacar las experiencias y preocupaciones individuales de los participantes, y cómo estas pueden afectar en la implementación de los vehículos autónomos en la sociedad.

Capítulo 4. DESAFÍOS TECNOLÓGICOS

4.1 SENSORES

4.1.1 CARACTERÍSTICAS NECESARIAS DE UN SENSOR

Para el desarrollo de vehículos autónomos, la aplicación de sensores es un proceso clave. Los sensores deben cumplir con las siguientes características técnicas para garantizar su efectividad:

4.1.1.1 Precisión

La precisión es la capacidad del sensor para medir correctamente el valor real del objeto o fenómeno. La precisión está influenciada por factores como los niveles de ruido y los parámetros de reducción de interferencias externas. Una mayor precisión es crucial para evitar errores que puedan comprometer la seguridad del vehículo autónomo.

4.1.1.2 Resolución

La resolución se refiere a la capacidad del sensor para distinguir entre dos mediciones cercanas. La resolución suele ser más baja que la precisión, pero es igualmente importante para detectar pequeños cambios en el entorno.

4.1.1.3 Sensibilidad

La sensibilidad indica el valor mínimo que un sensor puede detectar. Sensores con más sensibilidad pueden detectar cambios más pequeños, lo cual es fundamental en condiciones de baja visibilidad o cuando se requiere una respuesta rápida.

4.1.1.4 Rango dinámico

Es la capacidad de un sensor para medir tanto los valores más bajos como los más altos de manera precisa. Esto es esencial para sensores que deben operar en diferentes condiciones ambientales y a diversas distancias.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

4.1.1.5 Perspectiva

Los sensores deben tener un campo de visión adecuado para cubrir una amplia área alrededor del vehículo, permitiendo detectar obstáculos y otros objetos relevantes para la conducción autónoma.

4.1.1.6 Activo vs. Pasivo

Los sensores activos emiten una forma de energía para detectar el entorno, mientras que los sensores pasivos dependen de las condiciones ambientales (como la luz visible o el calor). Los sensores activos tienden a ser más precisos en condiciones de baja visibilidad.

4.1.1.7 Tasa de refresco

La tasa de refresco se refiere a la velocidad con la que el sensor actualiza las mediciones. Una alta tasa de refresco es crucial para tomar decisiones rápidas y precisas en tiempo real.

4.1.1.8 Interfaz de salida

La salida del sensor puede variar, desde señales analógicas o digitales hasta flujos de datos en red. La elección de la interfaz depende de los requerimientos de procesamiento y comunicación en el sistema del vehículo autónomo.

4.1.2 TIPOS DE SENSORES, VENTAJAS Y DESAFÍOS

4.1.2.1 Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos se utilizan para detectar objetos cercanos y en situaciones de baja velocidad, como en maniobras de estacionamiento. Funcionan emitiendo ondas sonoras de alta frecuencia y midiendo el tiempo que tarda el sonido en rebotar en los objetos cercanos. Tienen un rango limitado, generalmente hasta 2 metros, y son muy efectivos en distancias cortas, pero su resolución es baja y no son adecuados para detectar objetos a alta velocidad (Hoyle, 1995).

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

4.1.2.2 Radar

El radar utiliza ondas de radio para detectar objetos a mayor distancia. Es eficaz en condiciones adversas, como mal tiempo o poca visibilidad (por ejemplo, lluvia o niebla), ya que las ondas de radio pueden atravesar estos obstáculos (Kingsley & Quegan, 1999). El radar tiene un rango de hasta 200 metros y puede medir la velocidad de los objetos detectados, lo que lo hace útil para detectar vehículos u obstáculos en la carretera a larga distancia. Sin embargo, sus imágenes son de baja resolución y pueden generar falsas alarmas, especialmente cuando hay objetos metálicos cerca (Beeharry et Al., 2018).

4.1.2.3 LiDAR (Light Detection and Ranging)

El LiDAR utiliza láseres para escanear el entorno y crear un mapa en 3D de los objetos alrededor del vehículo. Ofrece una alta precisión y resolución, permitiendo una representación detallada del entorno, lo que es fundamental para la navegación en entornos complejos. Su rango puede ser de hasta 200 metros, pero su efectividad se ve afectada por condiciones meteorológicas adversas (como lluvia o niebla). Además, los sensores LiDAR tienen un precio muy alto, lo que limita su accesibilidad (Mehendale & Neoge, 2020).

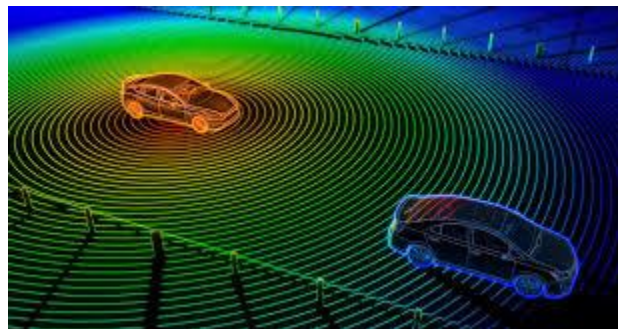


Ilustración 5: LiDAR

4.1.2.4 Cámaras

Las cámaras proporcionan una visión visual similar a la humana, capturando imágenes en alta resolución. Son esenciales para tareas como el reconocimiento de señales de tráfico, la lectura de semáforos y la identificación de peatones o ciclistas. Las cámaras tienen una excelente resolución espacial, pero su rendimiento puede verse limitado por

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

condiciones de baja luz o niebla. Además, su rango de detección es menor en comparación con el radar o LiDAR, y requieren un mayor procesamiento computacional para interpretar correctamente las imágenes (Elmqvist & Negrut, 2021).



Ilustración 6: Cámaras en un coche autónomo

4.2 INTEGRACIÓN CON EL ENTORNO

Su desarrollo implica la integración de sistemas avanzados de percepción, conectividad e inteligencia artificial, que juntos permiten una interacción precisa y segura con el entorno. La clave de su éxito radica en la capacidad de recopilar, procesar y responder a una diversidad de estímulos en tiempo real, asegurando no solo la seguridad de los ocupantes, sino también la eficiencia en la gestión del tráfico y la reducción de accidentes. En este contexto, los vehículos autónomos no son únicamente máquinas que se desplazan de un punto a otro, sino sistemas complejos capaces de tomar decisiones informadas en entornos dinámicos y a menudo impredecibles.

Para garantizar el éxito de la implementación de los vehículos autónomos, los vehículos autónomos deben integrar sistemas avanzados de percepción, conectividad e inteligencia artificial para poder integrarse con el entorno de una forma más eficaz. La clave del éxito de esta tecnología pasará por ver cómo se puede responder a estos estímulos para garantizar la seguridad de los ocupantes y la eficiencia en la gestión del tráfico para reducir el número de accidentes.

4.2.1 DETECCIÓN DE CARRETERAS

La detección de carreteras es muy importante para delimitar cuáles son las zonas de tránsito seguras para el vehículo. En la actualidad, esto se realiza con redes neuronales convolucionales (CNN) que estiman trayectorias de larga distancia (Limmer et Al., 2016).

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Por otra parte, modelos como el RBNNet (Road and road Boundary detection Network) permiten la presencia de carreteras y sus límites (Chen, 2017). Estas tecnologías permiten la conducción en entornos complejos como carreteras con obstáculos, fondos confusos o clima adverso (niebla).

4.2.2 DETECCIÓN DE CARRILES

Para garantizar un entorno seguro, no solo es fundamental la identificación de las carreteras sino también de los carriles. Para la identificación de carriles, existen tecnologías avanzadas como el uso de visión estereoscópica y redes neuronales recurrentes. Estas tecnologías, además de detectar carriles, los pueden clasificar en 3D (Bai et Al., 2018). La mayor ventaja de esta tecnología es que permite un posicionamiento lateral del vehículo más eficiente, reduciendo el riesgo de accidentes en situaciones complejas (Song et Al., 2018).

4.2.3 DETECCIÓN DE VEHÍCULOS

Para evitar colisiones, es vital que los vehículos autónomos identifiquen al resto de vehículos en la carretera. Herramientas como Faster-RCNN y RefineNet permiten localizar objetos en tiempo real, mientras que las redes neuronales convolucionales profundas estiman la forma y velocidad relativa de los vehículos cercanos. Esta tecnología, además de mejorar la seguridad, mejora la gestión del tráfico (Chu et Al., 2018).

4.2.4 DETECCIÓN DE PEATONES

Los peatones son el eslabón más frágil del entorno que rodea a los vehículos autónomos. Asimismo, su imprevisibilidad hace que el esfuerzo para la correcta detección de peatones sea mayor que en otros elementos del entorno. Para ello, se han realizado avances en el reconocimiento de partes corporales y en la extracción de características profundas del ser humano. Para mejorar la precisión en la identificación incluso en situaciones más límites, se han desarrollado modelos avanzados que integran información contextual (Wang et Al., 2018).

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

4.2.5 DETECCIÓN DE SOMNOLENCIA

Aunque la detección del sueño es más relevante en vehículos de niveles de autonomía 1 a 3, detectar la somnolencia en el conductor sigue siendo vital para conseguir la transición hacia vehículos de nivel 4 y 5. Existen modelos que combinan CNN con redes neuronales LSTM que pueden identificar signos de distracción y fatiga en tiempo real (Lyu et Al, 2018). Una vez se consiga el desarrollo de vehículos 4 y 5, la somnolencia dejará de ser un factor a tener en cuenta.

4.2.6 PREVENCIÓN DE COLISIONES

La evitación de colisiones requiere tomar decisiones basadas en los estímulos recopilados. Sistemas avanzados como TCNN y R-TCNN detectan y rastrean obstáculos, lo que permite al vehículo responder de manera correcta (Nguyen et Al., 2017). Asimismo, se han desarrollado otros modelos de Deep Learning basados en datos sensoriales ruidosos que integran detección y acción en una sola solución (Long et Al., 2017).

4.2.7 RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRÁFICO

El reconocimiento de señales es fundamental para que los vehículos autónomos cumplan el código de tráfico y seguridad vial. Herramientas como YOLO y R-CNN identifican señales incluso en condiciones extremas, como baja visibilidad o señales intermitentes. Existen modelos que han demostrado ser eficaces en pruebas reales (Li et Al., 2021).

4.3 IMPACTO DE LA CIBERSEGURIDAD

Los vehículos autónomos enfrentan numerosos riesgos de ciberseguridad que podrían comprometer su funcionamiento. El aspecto más crítico de estos ciberataques es el de la seguridad, no solo la de los pasajeros del vehículo sino la del entorno. Los principales riesgos son los siguientes:

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

4.3.1 ATAQUES A LOS SENSORES

Uno de los riesgos más destacados es el spoofing (suplantación), que consiste en la manipulación de los datos del sensor para alterar mediciones críticas, como la distancia, o inyectar señales falsas que confunden al vehículo. Otro de los riesgos es el jamming (interferencia), donde se utilizan transmisores de alta potencia para bloquear señales legítimas, afectando sensores como LiDAR, cámaras y radares. Estos ataques implican la modificación imperceptible de imágenes para inducir errores en la identificación de objetos, como señales de tráfico. Por último, la denegación de servicio (DoS) se refiere a la saturación de sensores con señales falsas, desestabilizando el sistema (Dasgupta et Al., 2020).

4.3.2 ATAQUES A LA COMUNICACIÓN

Respecto a los ataques a la comunicación, uno de los riesgos es el Sybil, que consiste en la creación de identidades falsas para desviar el tráfico o crear escenarios ficticios en la red (Hassine & Touati, 2023). También existen los ataques de replay y relay, que implican el secuestro de señales transmitidas por sensores y su retransmisión para generar mapas incorrectos del entorno (Ahmad et Al., 2020). Otro riesgo importante es la introducción de virus a través de sistemas que tienen acceso a software externo, como los sistemas de entretenimiento.

4.3.3 ALMACENAMIENTO DE DATOS

Por último, existe una zona gris en el almacenamiento de datos. Existen dificultades técnicas y legales. En el ámbito técnico, es un reto identificar, almacenar y analizar grandes volúmenes de datos digitales provenientes de cajas negras y sensores. Por otra parte, a nivel legal, la ausencia de marcos regulatorios que legislen la preservación y análisis crea conflictos sobre la privacidad y la posesión de datos (Jameel, 2019).

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

4.4 EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA SEGURIDAD: COMPARACIÓN ENTRE CONDUCCIÓN AUTÓNOMA Y HUMANA

La seguridad vial es uno de los aspectos más importantes en la movilidad y el éxito de la transición hacia vehículos autónomos dependerá en gran medida de su impacto en la seguridad. Para entender la seguridad, este apartado analiza las tasas de accidentes, patrones de error, comportamiento en condiciones críticas impacto en la reducción de lesiones y mortalidad tanto en vehículos conducidos por humanos como en vehículos autónomos. Si los vehículos autónomos mejorasen la seguridad un 10%, en 35 años se evitarían 600.000 accidentes mortales solo en los estados unidos (Fleetwood, 2017).

4.4.1 TASAS DE ACCIDENTES POR TIPO DE CONDUCCIÓN

Para evaluar el impacto de la seguridad, se han utilizado los datos de un estudio elaborado por la Universidad de Florida (Abdel-Aty, M & Ding, 2024) entre los años 2015 y 2022. En este estudio, se han evaluado los datos de 35113 accidentes en vehículos con poca o ninguna automatización (niveles 0, 1) y 2100 accidentes en vehículos con un sistema avanzado de ayuda. De este número total, 1001 correspondían a vehículos nivel 2 y 1099 correspondían a vehículos nivel 3-4.

En lo que concierne a la climatología, la mayoría de los accidentes en ambos casos han ocurrido en condiciones climáticas buenas. Sin embargo, en los vehículos autónomos, el 27% de los accidentes, frente al 17% en vehículos autónomos ocurrieron en condiciones adversas, lo que puede representar que el clima afecta más a los vehículos autónomos. También, los vehículos autónomos están más involucrados en accidentes durante condiciones lluviosas, representando el 11% de estos, mientras que en los vehículos sin automatización solo el 5% de los accidentes ocurren bajo estas circunstancias (Abdel-Aty, M & Ding, 2024).

Por otra parte, el tipo de accidente más común es la colisión trasera. El tipo de accidente se clasifica según el ángulo de impacto. Los datos revelan que, en el caso de los vehículos conducidos por humanos, las colisiones traseras, donde otros vehículos los

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

golpean, representan el 45% de los accidentes, mientras que las colisiones frontales, en las que estos vehículos impactan a otros, ocurren en un 33%. Por otro lado, los vehículos autónomos presentan una tasa ligeramente inferior de colisiones traseras, con un 39%, pero mantienen un porcentaje similar de colisiones frontales, también del 33%. Esto indica que, aunque los vehículos autónomos tienen menos probabilidades de ser golpeados por detrás en comparación con los vehículos conducidos por humanos, ambos tipos de vehículos comparten tasas similares en cuanto a accidentes frontales (Abdel-Aty, M & Ding, 2024).

En términos de probabilidad, los accidentes de vehículos autónomos son menos frecuentes que los de los vehículos conducidos por humanos en la mayoría de las condiciones, pero son más comunes durante el amanecer o anochecer y en giros, donde las probabilidades aumentan hasta 5,25 y 1,98 veces, respectivamente (Abdel-Aty, M & Ding, 2024).

4.4.2 ANÁLISIS DE PATRONES DE ERROR Y COMPORTAMIENTO EN CONDICIONES CRÍTICAS

Las principales causas de accidentes en vehículos autónomos están relacionadas con errores tecnológicos (fallos en los sistemas de percepción o planificación) y en situaciones complejas como giros en intersecciones o interacciones con peatones (Ghorai et Al, 2024). Uno de los principales retos de los vehículos autónomos es aprender a prepararse para la infinidad de situaciones complejas que surgen en el día a día en la interacción con otros vehículos y peatones.

Por otro lado, la causa en la mayoría (94%) de los accidentes en vehículos conducidos por humanos es el propio factor humano. Los principales factores son: distracción del conductor, conducción por el lado incorrecto de la vía, giros indebidos en intersecciones, infracción de las señales de tráfico, exceso de velocidad y uso del móvil (NHTSA, 2024) responsables del 94% de los accidentes.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

4.4.3 IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE LESIONES Y MORTALIDAD

Los accidentes de vehículos autónomos tienden a ser menos graves que los de vehículos conducidos por humanos, con una mayor proporción de incidentes que resultan en lesiones leves o ningún daño significativo. Según los datos analizados, el 94%, de nuevo, de los accidentes de vehículos autónomos resultan en lesiones leves o inexistentes, mientras que los vehículos humanos presentan una mayor tasa de lesiones moderadas o graves (Abdel-Aty, M & Ding, 2024).

Este impacto positivo en la reducción de lesiones se debe a la capacidad de los sistemas autónomos para reaccionar rápidamente, minimizar colisiones y mitigar las consecuencias de un accidente. Sin embargo, aún existen desafíos, como mejorar la detección de obstáculos y la toma de decisiones en escenarios complejos, para que los vehículos autónomos puedan igualar o superar la seguridad en todas las circunstancias.

Capítulo 5. DESAFÍOS ÉTICOS

5.1 TOMA DE DECISIONES EN SITUACIONES CRÍTICAS: DILEMAS MORALES

Los dilemas morales antes presentados presentan un debate sobre las bases éticas a seguir por estas tecnologías. Las dos principales de pensamiento y que discreparían en cómo sería la toma de decisión son el utilitarismo y la ética deontológica (Fournier, 2016).

El utilitarismo propone tomar decisiones basadas en el principio de maximizar el bienestar colectivo. Según el utilitarismo, la acción correcta genera el mayor beneficio para el mayor número de personas (Mill, 2016). En el contexto de un vehículo autónomo, un algoritmo programado bajo una perspectiva utilitarista podría priorizar salvar a un grupo numeroso de peatones a costa de poner en peligro a los ocupantes del vehículo.

Por otra parte, la corriente deontológica se basa en el respeto, sin importar las consecuencias, de los principios universales. Por lo tanto, acciones como la confianza en el uso del vehículo autónomo por los conductores no puede ser violada (Bowie, 1998) y, en el caso de los vehículos autónomos, significaría que en la totalidad de los casos el vehículo autónomo debe hacer todo lo posible para salvar las vidas humanas de los ocupantes del vehículo.

Los siguientes dilemas, ya mencionados en el apartado 2, presentan esta cuestión del enfoque utilitarista o deontológico.

5.1.1 DILEMA DEL TRANVÍA

El dilema del tranvía es un experimento que plantea una situación moral en la que se debe elegir entre dos opciones, ambas con consecuencias negativas. El problema es que estas decisiones no solo dependen de factores técnicos, como velocidad o distancia, sino que incluyen juicios morales sobre la priorización de vidas (Lennon et Al., 2015), lo que plantea

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

las siguientes cuestiones. ¿Qué valores éticos deben guiar a estos sistemas? ¿Quién es responsable de definir estos valores?

En octubre de 2024 en Brasov (Rumanía), un vehículo Tesla se vio enfrentado a este dilema (Dinca, 2024). Un peatón cayó repentinamente en medio de la carretera. Para evitar atropellar al peatón, el vehículo se desvió hacia el carril contrario y chocó con otro vehículo que venía en sentido opuesto. Afortunadamente, no hubo víctimas fatales, y el conductor del otro vehículo salió con heridas leves. Aunque hay muchas especulaciones sobre si el vehículo Tesla estaba usando el autopilot o no, este accidente pone de manifiesto los dilemas éticos y técnicos que enfrentan los vehículos autónomos.

5.1.2 DILEMA DEL PASAJERO VS PEATÓN

Otro de los dilemas éticos más controvertidos es el dilema del pasajero vs peatón. El dilema plantea las siguientes preguntas. En una situación de emergencia, ¿debería el vehículo priorizar la vida del peatón o la de los pasajeros del coche? ¿Qué ocurre si se pone en riesgo a los ocupantes del coche? (Bovesi et Al., 2024)

En el accidente de Brasov, además del dilema del tranvía, el coche autónomo también se tendría que enfrentar al dilema del pasajero vs peatón. Esto resalta la importancia de realizar un marco ético correcto ya que, en la mayoría de los casos, los vehículos no solo se enfrentarán a un solo dilema sino a varios.

5.1.3 DILEMA DE LA DISCRIMINACIÓN ALGORÍTMICA

El dilema de la discriminación algorítmica plantea cómo una inteligencia artificial, en este caso los coches autónomos, debe actuar en función de los diferentes grupos de personas basándose en los sesgos introducidos en el entrenamiento y plantea las siguientes preguntas. ¿Cómo los algoritmos están influenciados por sesgos relacionados con la edad, el género o características culturales? ¿Cómo identificar correctamente a personas con ciertos rasgos físicos que no han sido representados en los datos del entrenamiento? (Rubia, 2023)

En el caso de los vehículos autónomos, el problema nace de dos factores principales. En primer lugar, como se ha mencionado, el sesgo en los datos de entrenamiento. Los

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

sistemas de IA, al aprender de big data, pueden representar solo a una parte de la población. En el caso de que no se incluya la suficiente diversidad, el sistema heredará esos sesgos y el software no será óptimo para su implementación en la sociedad.

Por otra parte, los diseñadores de estos sistemas pueden, consciente o inconscientemente, priorizar ciertos objetivos o parámetros que beneficiarían a cierto grupo sobre otro.

5.1.4 DILEMA DE LA RESPONSABILIDAD DISTRIBUIDA

El dilema de la responsabilidad distribuida surge en los vehículos autónomos cuando, ante un accidente, es difícil determinar quién es el responsable. El responsable del accidente puede ser el fabricante del vehículo, los desarrolladores del software, el conductor o incluso los legisladores que no han establecido un marco legal adecuado (Hevelke & Nida-Rümelin, 2025).

En el año 2018, un vehículo autónomo de Uber causó la muerte de un peatón que andaba con su bicicleta en Arizona (Griggs & Wakabayashi, 2018). La ambigüedad en los marcos legales actuales dificulta declarar un culpable, en especial cuando estos fallos pueden ser atribuidos a múltiples factores como el vehículo, la programación del algoritmo o el usuario. En este caso, el juicio, dos años y medio después del accidente, declaró culpable a la usuaria que estaba distraída y no estaba prestando atención (Riess & Sottile, 2023). Uber, este caso, no fue declarado culpable ya que pudo llegar a un acuerdo con los familiares de la víctima, lo que plantea otra cuestión sobre cómo las grandes empresas pueden evitar ser declaradas culpables gracias a su capacidad financiera y de recursos legales. Además, los beneficios de los vehículos autónomos podrían concentrarse estas grandes empresas tecnológicas, aumentando la brecha económica y la desigualdad social.

5.2 IMPACTO EN EL EMPLEO Y LA ECONOMÍA LOCAL

Los vehículos autónomos también van a influir en el panorama laboral tanto a nivel local como global. Según los datos de la OECD PIAAC, el impacto de la IA se distribuirá de manera uniforme entre los trabajadores con diferentes niveles educativos a corto plazo.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Sin embargo, a largo plazo, muchos trabajos relacionados con la conducción y el transporte podrían verse desplazados por la automatización ya que los empleados con niveles educativos más bajos serán mucho más vulnerables a ser desplazados por las máquinas (Webb, 2020).

A principios de esta década, solo el 3% de los trabajos han estado en riesgo potencial de ser automatizados (Techjobs, 2020). Aunque esta cifra es pequeña, se espera que el desplazamiento laboral aumente exponencialmente a medida que estas tecnologías maduren y se implementen en toda la economía. En España, el 28% de todos los trabajos se verían afectados por estas tecnologías para el año 2030, en comparación con el 26,8% de la OCDE (Esteban, 2023). Además, en los empleos con una cualificación necesaria baja (sin requerimiento de título universitario), este porcentaje aumentará hasta el 44% (PWC, 2020).

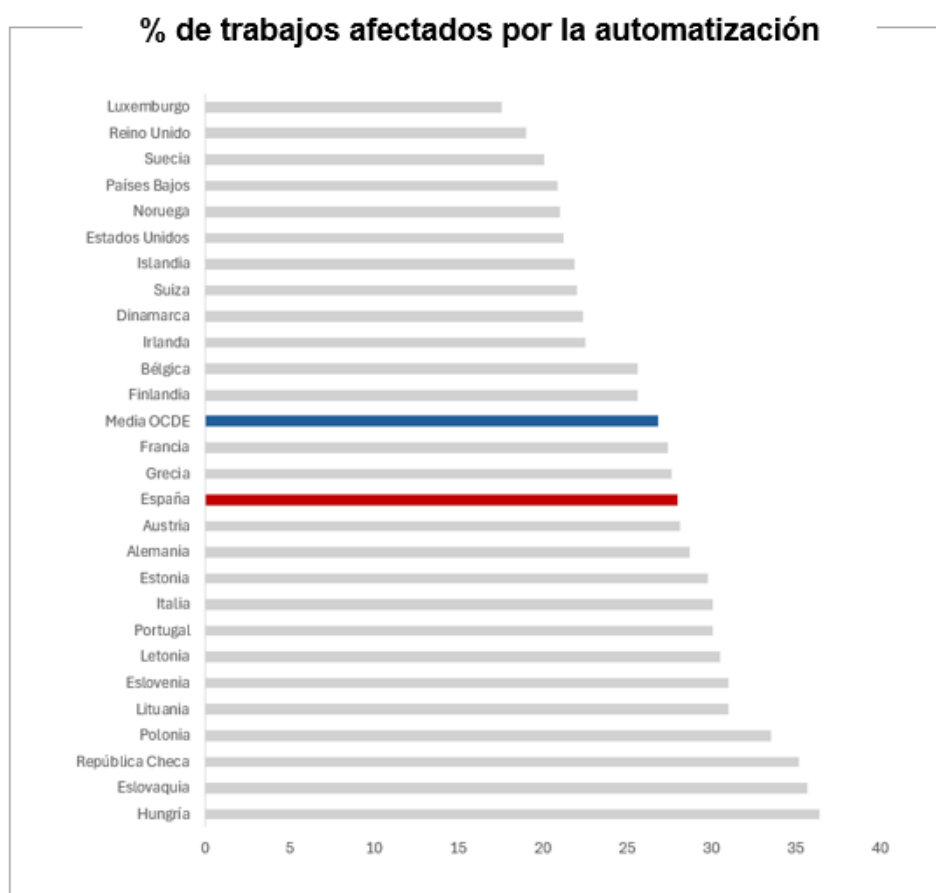


Ilustración 7: % de trabajos afectados por la automatización en 2030 - OCDE

5.3 IGUALDAD EN EL ACCESO A LA TECNOLOGÍA

El acceso a la tecnología es de vital importancia en el desarrollo e implementación de vehículos autónomos. Cuando no se tiene el acceso adecuado, la adopción de estos vehículos se puede ver afectada, limitando su disponibilidad en ciertas regiones.

El retraso en el acceso a la tecnología no solo tiene un impacto negativo en el desarrollo de estos vehículos. Este retraso puede afectar al progreso de la innovación tecnológica competitividad económica de los países que se queden atrás, aumentando las disparidades sociales y económicas entre diferentes regiones.

En Europa, hay una gran diferencia en el grado de penetración de la tecnología en la sociedad. Según expertos (Aleksejeva et Al., 2021), la brecha entre países puede ser tan grande que, países como Dinamarca (primer puesto) tienen el indicador del uso de la tecnología 17 veces más grande que Dinamarca (último puesto). Es fácil de entender que este tipo de brechas genera una desigualdad en el aprovechamiento de innovaciones como los vehículos autónomos.

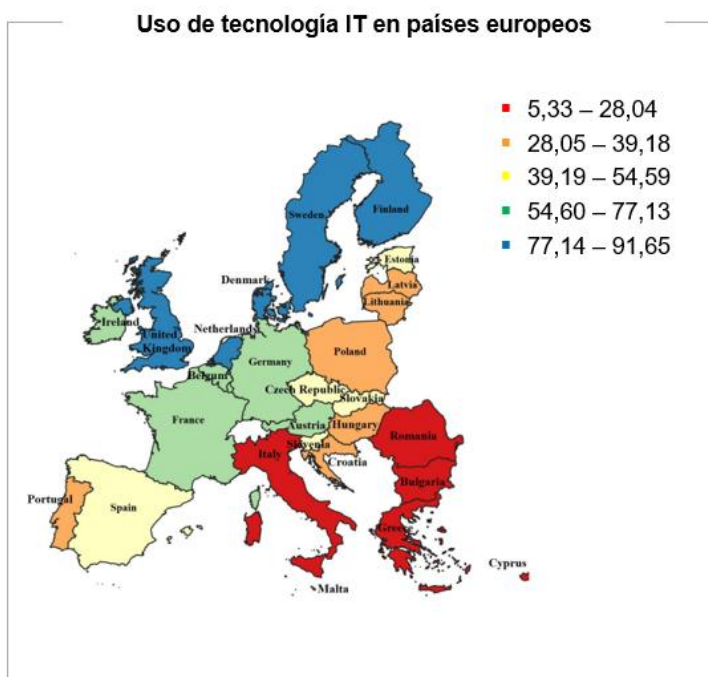


Ilustración 8: Uso de tecnología IT – (Aleksejeva et Al, 2021)

5.4 CONFIANZA DEL PÚBLICO Y ACEPTACIÓN SOCIAL

5.4.1 RESULTADOS DE LA ENCUESTA

Para entender la opinión de la sociedad española, se ha realizado un cuestionario sobre vehículos autónomos que ha ayudado a entender tanto el nivel de conocimiento como la percepción de esta tecnología en nuestra sociedad. Finalmente, el cuestionario fue respondido por 162 personas, pero para el análisis solo se ha considerado las respuestas de 134 encuestados que sí conocían lo qué son los vehículos autónomos. Los participantes, todos españoles residentes en Madrid, son de todo tipo de edades: 27 entre 25 y 34, 24 entre 35 y 44, 38 entre 45 y 54, 22 entre 55 y 64, y 23 mayores de 65 años. Este último grupo presentó un menor número de respuestas válidas debido al desconocimiento general sobre el tema. Se ha conseguido de forma exitosa tener una representación variada de todos los grupos de edad.

Los resultados muestran una percepción mayoritariamente positiva hacia los vehículos autónomos. El 75% de los encuestados considera esta tecnología como una innovación positiva, y el 73% cree que es más segura. Al cruzar estas respuestas, más del 90% de los encuestados que afirman que los vehículos autónomos son positivos coinciden en que los vehículos autónomos son más seguros que los vehículos tradicionales. Sin embargo, estas cifras disminuyen cuando se les pregunta si estarían dispuestos a utilizar un vehículo autónomo (51% respondió que sí) o si se sentirían cómodos en un vehículo sin conductor, donde solo el 43% mostró comodidad. En este último caso, se observa que incluso entre quienes aceptan la idea del coche autónomo, persisten dudas sobre la ausencia total de intervención humana. Además, el 62% de los encuestados expresó incomodidad con la idea de que el vehículo tome decisiones críticas de manera autónoma.

En cuanto a la regulación, solo el 12% de los participantes considera que los vehículos autónomos no deberían permitirse, mientras que el 45% cree necesaria una fuerte intervención estatal para garantizar una inclusión segura y regulada de estos vehículos. Respecto a los beneficios, los encuestados destacaron la mayor comodidad (39%), la

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

reducción de accidentes (32%) y el ahorro de tiempo (23%) como los principales aportes de esta tecnología.

Las preocupaciones más relevantes entre los participantes incluyen la seguridad, la privacidad y la accesibilidad. La seguridad es la principal inquietud, con el 88% de los encuestados considerándola muy o algo importante. La privacidad también destaca como una preocupación relevante, con 113 de los 133 encuestados señalando su importancia. En el caso de la accesibilidad, aunque un 79% la percibe como importante, las opiniones están divididas entre quienes la consideran muy importante y quienes la consideran poco importante.

Finalmente, cuando se preguntó si los vehículos autónomos reemplazarán a los conductores humanos, el 80% cree que esto ocurrirá, aunque el 40% del total piensa que tomará más de 10 años. Además, el 76% de los encuestados opina que la llegada de los vehículos autónomos tendrá un impacto significativo en el sector del transporte a corto o mediano plazo.

5.4.2 OBSERVACIONES

El análisis de las respuestas al cuestionario ha permitido identificar los mayores que más influyen en la potencial aceptación por parte de la sociedad. La falta de confianza, reflejada en la desconfianza a utilizar esta tecnología a pesar de considerarla más segura, se debe en gran medida a la ausencia de experiencia directa con estos vehículos y al temor a perder el control de la conducción en favor de una máquina. Este es un indicador de que, aunque los avances tecnológicos son bien recibidos, la aceptación social requiere un proceso de adaptación gradual donde la familiaridad y la transparencia juegan un papel crucial.

La demanda de una fuerte regulación estatal, expresada por casi la mitad de los encuestados, apunta al deseo de un marco que no solo garantice la seguridad, sino también la equidad y el cumplimiento de estándares éticos. Esto sugiere que la sociedad percibe la implementación de los vehículos autónomos como un cambio sistémico que necesita supervisión para prevenir posibles riesgos en la privacidad, seguridad y accesibilidad.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Por otro lado, al identificar beneficios como la comodidad, reducción de accidentes y ahorro de tiempo, significa que hay una predisposición a aceptar esta tecnología que mejora la calidad de vida. Sin embargo, esta aceptación está condicionada a que las preocupaciones deben ser abordadas. Esto indica que las empresas desarrolladoras y las autoridades deben enfocar su comunicación no solo en los beneficios, sino en la concienciación y mitigación de riesgos.

Finalmente, el hecho de que los encuestados reconozcan que los vehículos autónomos impactarán el sector del transporte a corto y mediano plazo refleja una percepción de que este avance es inevitable. Sin embargo, la división en cuanto al plazo para reemplazar a los conductores humanos explica que hay diferentes opiniones en la velocidad de adopción.

Capítulo 6. COMPARACIÓN ECONÓMICA

Otro aspecto clave que influirá en la adopción de los vehículos autónomos por parte de la sociedad su precio. Tras realizar la encuesta, se ha encontrado que muchos usuarios valoran aspectos como el precio, comodidad y el ahorro de tiempo. Para analizar esto, se han realizado dos escenarios que comparan el coste total de propiedad de ambos tipos de vehículos. Para ambos escenarios, se ha utilizado una vida útil de 10 años.

En el primer escenario, se analiza el coste de un vehículo autónomo en comparación con un vehículo tradicional con chófer privado. En este escenario, se han desarrollado dos sub-escenarios. En el primero, el usuario debe mantener cierto control sobre el vehículo autónomo, lo que implica responsabilidad directa por parte del propietario; en el segundo, se asume una legislación más avanzada donde se permite que el vehículo funcione de manera totalmente autónoma.

El segundo escenario se centra en el transporte público, comparando el coste de utilizar un taxi autónomo con el de un taxi tradicional conducido por un profesional. Para este caso, solo se va a asumir el caso donde no sería necesaria la intervención de un conductor humano.

6.1.1 USO PRIVADO

En este escenario, se comparan el coste de contratar a un chófer privado frente a un vehículo autónomo. El vehículo usado como referencia es el Tesla Model S del año 2025. En ambos sub-escenarios, se asume que el coste de mantenimiento, energía y seguros es el mismo tanto en el coche privado como el coche tradicional. Para el seguro, se ha tomado como referencia a la oferta de Mutua Madrileña.

Asimismo, el vehículo autónomo tiene ciertos costes extra. Según la página web de Tesla (Tesla, 2025), la instalación del piloto automático tiene un coste de 7.500 euros. Además, se ha estimado un gasto adicional de 5.000 euros en actualizaciones y software

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

basado en la experiencia de varios usuarios. En el caso del chófer privado, el coste principal es el salario anual, de 28000€ brutos.

Otro factor importante por considerar es el impacto en la productividad del usuario. Con un vehículo autónomo, se estima que el usuario ganaría una hora diaria durante los días laborables, lo que equivale a cinco horas semanales y un total de 250 horas al año, considerando un promedio de 50 semanas de trabajo.

En ambos escenarios solo se ha tenido cuenta el factor económico. Se ha intentado realizar un análisis de seguridad, pero no se han podido encontrar datos de accidentes solo en vehículos con chofer privado. En el caso de la comodidad, se asume que es la misma para ambos casos, donde la persona es transportada de punto A a punto B sin ningún tipo de preocupación.

6.1.1.1 Escenario 1 – 100% autonomía no permitida

En este primer caso, como el 100% de autonomía no está permitida, la persona no puede generar ingresos extra.

Coches autónomos		Chofer Privado	
Gastos fijos		Gastos fijos	
Precio de Compra	107970	Precio de Compra	100470
Infraestructura original	735	Infraestructura original	735
Gasto de software	5000		
Total Costes Fijos	113705	Total Costes Fijos	101205
Gastos Variables		Gastos Variables	
Mantenimiento y reparaciones	600	Mantenimiento y reparaciones	600
Seguro	2524	Seguro	2524
Energía	1134	Energía	1134
		Salario	28000
Total Costes Variables/año	4258	Total Costes Variables/año	32258
# años	10	# años	10
Total Costes Variables	42580	Total Costes Variables	322580
Extra ingresos		Extra ingresos	
Trabajo	0	Trabajo extra/año	-25000
		# años	10
		Trabajo extra	-250000
COSTE TOTAL	156285	COSTE TOTAL	173785

Tabla 1: Comparación coste coche autónomo vs Tradicional - Escenario 1.1

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

En este caso, como era de esperar, el chofer privado solo se justifica en casos dónde la persona que es llevada tiene un beneficio económico marginal muy alto (100€/h) que justifica la inversión.

6.1.1.2 Escenario 2 – 100% autonomía permitida

En cambio, en el segundo escenario, como la autonomía total está permitida, no se necesita un conductor.

Coches autónomos		Chofer Privado	
Gastos fijos		Gastos fijos	
Precio de Compra	107970	Precio de Compra	100470
Infraestructura original	735	Infraestructura original	735
Gasto de software	5000		
Total Costes Fijos	113705	Total Costes Fijos	101205
Gastos Variables		Gastos Variables	
Mantenimiento y reparaciones	600	Mantenimiento y reparaciones	600
Seguro	2524	Seguro	2524
Energía	1134	Energía	1134
		Salario	28000
Total Costes Variables/año	4258	Total Costes Variables/año	32258
# años	10	# años	10
Total Costes Variables	42580	Total Costes Variables	322580
Extra ingresos		Extra ingresos	
Trabajo	-25000	Trabajo extra/año	-25000
# años	10	# años	10
Trabajo extra	-250000	Trabajo extra	-250000
COSTE TOTAL	-93715	COSTE TOTAL	173785

Tabla 2: Comparación coste coche autónomo vs Tradicional - Escenario 1.2

Como se puede observar, no sólo es más barato si no que es una inversión con retorno debido a que el usuario genera más dinero que el que gastaría durante los 10 años de propiedad del vehículo.

6.1.2 TAXI

En este escenario, se ha analizado el coste de operar un Taxi/VTC autónomo en comparación a uno conducido por un conductor. Aunque en España la legislación actual aún no se permite, en países como Estados Unidos ya se ha implementado el concepto de taxi autónomo.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Para este análisis, se ha asumido que los ambos vehículos operan durante 16 horas al día, cinco días a la semana, de acuerdo con la normativa española vigente para los taxis tradicionales. En el caso de un taxi autónomo, aunque podría operar las 24 horas del día, se han considerado ciertas limitaciones. En primer lugar, es necesario cargar el vehículo eléctrico. Además, durante algunas horas de la madrugada en días laborables, como la demanda de servicios es baja, es más eficiente que el taxi autónomo permanezca cargando para garantizar la disponibilidad durante las horas de mayor actividad. Por otra parte, en caso del taxi tradicional, se ha asumido la contratación de dos conductores que van rotando día a día.

Taxi autónomo		Taxista	
Gastos fijos		Gastos fijos	
Precio de Compra	50570	Precio de Compra	43070
Infraestructura original	735	Infraestructura original	735
Gasto de software	5000		
Total Costes Fijos	56305	Total Costes Fijos	43805
Gastos Variables		Gastos Variables	
Mantenimiento y reparaciones	1800	Mantenimiento y reparaciones	1800
Seguro	2524	Seguro	2524
Energía	3969	Energía	3969
		Salarios	56000
Total Costes Variables/año	8293	Total Costes Variables/año	64293
# años	10	# años	10
Total Costes Variables	82930	Total Costes Variables	642930
Ingresos		Ingresos	
Trabajo	-80000	Trabajo extra/año	-80000
# años	10	# años	10
Trabajo extra	-800000	Trabajo extra	-800000
COSTE TOTAL	-660765	COSTE TOTAL	-113265

Tabla 3: Comparación coste taxi autónomo vs tradicional

Como se puede observar, el taxi autónomo es mucho más rentable que contratar a dos conductores. No solo es más rentable, sino que además el propietario del taxi no tiene que preocuparse de la contratación de conductores y los posibles problemas que se pudiesen originar.

Capítulo 7. RECOMENDACIONES

7.1 SECTOR PRIVADO

7.1.1 RETOS TECNOLÓGICOS

Desde una perspectiva tecnológica, el primer objetivo del sector privado debe continuar invirtiendo en I+D+I para alcanzar el nivel 5 de conducción autónoma y tener la tecnología disponible para finales de esta década. Además, en función de los resultados obtenidos en el estudio, los fabricantes deben destinar más recursos a mejorar la tecnología en situaciones más complejas como climas extremos, entornos con baja visibilidad o estímulos poco habituales en la vía pública. En estos eventos, donde la dificultad de entrenamiento es mayor debido a poca repetibilidad de la situación, se debe hacer mayor inciso para reducir la tasa de accidentes de vehículos autónomos. Si se consigue esta reducción de accidentes, se podrá afirmar que los vehículos autónomos tienen una tasa de accidentes menor que los vehículos convencionales.

La integración global de los vehículos autónomos requiere establecer estándares comunes para poder operar a los vehículos autónomos en diferentes regiones. Sin embargo, aunque el objetivo final es que esta tecnología se desarrolle a nivel global, la penetración de los vehículos autónomos seguirá una ruta impulsada por factores económicos y regulatorios. En una primera etapa, y como se está observando, los vehículos autónomos se han adaptado a sociedades con alto poder adquisitivo y regulaciones más flexibles, como en Estados Unidos, donde el entorno favorece la rápida implementación de nuevas tecnologías. Posteriormente, esta adopción se expandirá a regiones con economías fuertes, pero marcos regulatorios más estrictos, como la Unión Europea, donde los estándares técnicos y éticos son más exigentes. Finalmente, a medida que esta tecnología se abarate y se optimice su producción, los vehículos autónomos podrán hacer una transición gradual hacia países con menores recursos económicos, finalizando la penetración en el mercado global de vehículos.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Asimismo, el desarrollo de sistemas de ciberseguridad más avanzados es una prioridad para generar confianza y garantizar la seguridad en los vehículos autónomos. Como se ha demostrado con el cuestionario, esta necesidad se hace aún más evidente ante la reticencia de muchas personas a confiar en esta tecnología por un motivo u otro (percepción de vulnerabilidad, ciberataques, desconfianza en la máquina).

7.1.2 RETOS ÉTICOS

En el ámbito ético, las empresas deben incorporar principios éticos claros en el diseño de los algoritmos que guían las decisiones de los vehículos autónomos, adaptando estos principios a las necesidades y valores de cada cultura. La privacidad de los datos de los usuarios debe estar garantizada mediante la implementación de tecnologías de encriptación avanzadas. Para lograr este objetivo, es esencial una colaboración estrecha entre el sector privado y el sector público, incluyendo gobiernos y entidades reguladoras, para asegurar el cumplimiento de los marcos éticos establecidos. Este enfoque no solo permitirá un desarrollo sostenible de la tecnología, sino que también beneficiará a los fabricantes al fortalecer la credibilidad y confianza del público en estas innovaciones.

7.2 SECTOR PÚBLICO

7.2.1 RETOS TECNOLÓGICOS

En lo que concierne a la tecnología, el sector público tiene la responsabilidad de impulsar las mejoras desarrolladas por el sector privado. Esto debe ir acompañado de una colaboración estrecha con las empresas fabricantes y crear incentivos fiscales y programas de apoyo que impulsen la investigación. Además, el organismo que se encarga de la infraestructura urbana (Ministerio de Transporte en España) debe desarrollar infraestructuras específicas que permitan la integración efectiva de los vehículos autónomos en los sistemas de transporte existentes.

Además, es fundamental establecer un marco regulatorio que aborde los aspectos más relevantes de seguridad, pero sin imponer cargas innecesarias que retrasen la implementación de esta tecnología. Una regulación equilibrada no solo garantizará la

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

protección de los usuarios, sino que también permitirá un desarrollo ágil que beneficie tanto a las empresas como a la sociedad.

7.2.2 RETOS ÉTICOS

Desde un punto de vista ético, el sector público debe diseñar políticas que promuevan la equidad en el acceso a los vehículos autónomos, reduciendo las barreras económicas que dificultan su adopción en sectores de la población con menos recursos. Además, es esencial regular el uso y almacenamiento de los datos personales generados por estos sistemas, protegiendo la privacidad de los ciudadanos mediante normas claras y efectivas. De forma paralela, deben establecerse mecanismos de supervisión independientes y no politizados que garanticen el cumplimiento de los principios éticos.

Para abordar las diferencias éticas entre países, es crucial entender las necesidades específicas de cada sociedad y evaluar si los enfoques éticos predominantes, como el utilitarismo o la ética kantiana, son compatibles. En caso de diferencias, se deben buscar adaptaciones que permitan la coexistencia de los diferentes marcos en una industria globalizada. Finalmente, se debe crear una hoja de ruta en colaboración con aseguradoras y fabricantes para determinar responsabilidades claras en caso de accidentes, asegurando tanto la protección de los usuarios como la sostenibilidad del mercado.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

8.1 RESUMEN DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS

8.1.1 TECNOLOGÍA

8.1.1.1 Avances en tecnologías clave

El desarrollo de los vehículos autónomos ha experimentado en los últimos años avances significativos en diversas áreas, pero destacan los sensores, la inteligencia artificial y la conectividad. Los sensores LiDAR, radar y cámaras han demostrado ser fundamentales para la percepción del entorno, proporcionando la información necesaria para poder desarrollar esta tecnología al interpretar el mundo real. La IA, combinada con algoritmos avanzados de aprendizaje automático, ha permitido mejorar significativamente la capacidad de toma de decisiones en tiempo real, así como la detección y clasificación de objetos. Además, la conectividad vehículo-a-vehículo (V2V) y vehículo-a-infraestructura (V2I) promete revolucionar la coordinación del tráfico.

8.1.1.2 Seguridad y ciberseguridad

Los vehículos autónomos han mostrado un considerable potencial para reducir accidentes de tráfico, eliminando el factor humano de la distracción o incumplimiento de leyes. Los estudios analizados han demostrado que los sistemas autónomos han logrado disminuir la frecuencia de colisiones traseras y han demostrado una mayor eficiencia en la respuesta ante situaciones críticas. Sin embargo, la seguridad tecnológica sigue siendo un área de preocupación debido a los riesgos de ciberataques. Se debe responder ante estos desafíos para no comprometer ni la seguridad de los pasajeros ni la de los peatones.

8.1.1.3 Desafíos pendientes

A pesar de los avances mencionados, la tecnología presenta una serie de desafíos significativos. La detección precisa en condiciones adversas, como climas extremos o entornos con poca luz, sigue siendo una de las principales limitaciones. Asimismo, la

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

prevención de colisiones en escenarios complejos requiere desarrollos adicionales en los algoritmos de toma de decisiones.

Otro reto importante es la interoperabilidad entre diferentes sistemas de transporte, que permitiría la adopción de vehículos autónomos a nivel global. Además, la capacidad de estos sistemas para interactuar de forma eficaz con peatones y otros conductores en situaciones impredecibles es crucial para garantizar la aceptación de la sociedad.

8.1.2 ÉTICA

8.1.2.1 Dilemas morales

La toma de decisiones en situaciones críticas sigue siendo un tema central en los debates éticos relacionados con los vehículos autónomos. Cuestiones como el dilema del tranvía, donde se debe priorizar entre salvar a un grupo de peatones o proteger a los ocupantes del vehículo, generan interrogantes profundos sobre los principios morales que deben guiar el diseño de estos sistemas. Dos enfoques principales se destacan: el utilitarismo, que prioriza el mayor beneficio colectivo, y la ética deontológica, que enfatiza el respeto por principios universales sin importar las consecuencias. Estos dilemas requieren un consenso social amplio para determinar cómo programar los algoritmos de toma de decisiones.

8.1.2.2 Impacto socioeconómico

La implementación de vehículos autónomos podría transformar profundamente el panorama laboral. Sectores como el transporte y la logística enfrentan riesgos significativos de desempleo, afectando especialmente a los trabajadores con menor nivel educativo. A nivel global, se estima que millones de empleos podrían ser desplazados por la automatización, lo que podría exacerbar las desigualdades sociales. Además, la accesibilidad a esta tecnología plantea un reto adicional, ya que su alto coste inicial podría limitar su adopción en regiones con menores recursos económicos, incrementando la brecha digital entre diferentes regiones.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

8.1.2.3 Privacidad y confianza

El manejo de datos personales constituye uno de los desafíos éticos más significativos en el desarrollo de vehículos autónomos. Estos sistemas recopilan grandes volúmenes de información, que incluyen datos de geolocalización y patrones de comportamiento de los usuarios, lo que genera preocupaciones importantes en torno a la privacidad. La falta de regulaciones claras sobre el almacenamiento, uso y acceso a estos datos amplifica estas inquietudes, tal como se refleja en los resultados del cuestionario, donde los resultados han señalado que la privacidad es una de las principales preocupaciones.

8.1.2.4 Marco regulatorio

La ausencia de normativas globales unificadas constituye una barrera importante para la adopción generalizada de los vehículos autónomos. Mientras que algunos países, como Estados Unidos, han avanzado en la regulación de niveles de autonomía 3 y 4, otros países como España aún carecen de legislaciones específicas que aborden los desafíos éticos, legales y técnicos. Esto ha creado un entorno desigual donde el progreso tecnológico no se ha traducido en beneficios accesibles para todos.

8.1.2.5 Percepción de la sociedad

El cuestionario ha mostrado que la falta de confianza y el temor a perder el control de la conducción dificultan la aceptación social de los vehículos autónomos, a pesar de que se les percibe como más seguros. Este rechazo inicial subraya la necesidad de un proceso de adaptación gradual, donde la familiaridad con la tecnología y la transparencia en su implementación sean fundamentales. Además, casi la mitad de los encuestados demanda una regulación estatal sólida que garantice seguridad, equidad y estándares éticos, lo que refleja una percepción de los vehículos autónomos como un cambio sistémico que requiere supervisión. Si bien la sociedad valora beneficios como la comodidad, la reducción de accidentes y el ahorro de tiempo, su aceptación depende de resolver preocupaciones relacionadas con la privacidad y la accesibilidad. Por último, aunque la mayoría reconoce

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

que estos vehículos impactarán el transporte a corto y mediano plazo, existen opiniones divididas sobre la rapidez de su adopción masiva.

8.2 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

8.2.1 IDENTIFICACIÓN DE DESAFÍOS ÉTICOS CLAVE

El objetivo de identificar los desafíos éticos clave ha sido alcanzado de manera exhaustiva. A lo largo del trabajo, se han analizado dilemas fundamentales que los vehículos autónomos enfrentan en su implementación. Entre ellos, destaca la toma de decisiones en situaciones críticas, como el dilema del tranvía, donde los algoritmos deben priorizar entre diferentes vidas humanas. También se abordaron cuestiones relacionadas con la equidad en el acceso a esta tecnología, señalando cómo las diferencias económicas y geográficas podrían limitar su adopción en determinados sectores. Además, se exploró la privacidad de los datos recopilados por estos vehículos, un tema de gran preocupación pública, y se discutieron las complejidades asociadas a la responsabilidad legal en caso de accidentes. Estas áreas han sido tratadas con suficiente profundidad, proporcionando una introducción para el desarrollo de un marco ético robusto en el futuro.

8.2.2 ANÁLISIS DE RETOS TECNOLÓGICOS EN EL DESARROLLO DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

El análisis de los retos tecnológicos en el desarrollo de vehículos autónomos ha sido abordado de manera total. El trabajo ha identificado desafíos clave, como la necesidad de mejorar los sensores para operar en condiciones adversas. También se han destacado los riesgos relacionados con la ciberseguridad. Asimismo, se ha discutido la necesidad de establecer estándares de interoperabilidad que permitan la integración global de los vehículos autónomos en diferentes países. Además, se evaluó el estado actual de la tecnología para poder alcanzar el nivel 5 de autonomía, identificando áreas específicas para futuros desarrollos, como la capacidad de los vehículos para tomar decisiones en tiempo real en entornos impredecibles.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

8.2.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

La evaluación del impacto social y económico ha sido abordada de manera satisfactoria, aunque con ciertas limitaciones. El trabajo analizó cómo los vehículos autónomos pueden transformar el empleo, con un enfoque en los sectores de transporte y logística, destacando los riesgos de desplazamiento laboral para trabajadores con menos formación. También se exploraron los beneficios potenciales, como la reducción de accidentes de tráfico, el aumento de la accesibilidad para personas con movilidad reducida y las posibles mejoras en la sostenibilidad ambiental. Finalmente, se ha realizado un cuestionario para entender las necesidades de la sociedad española.

Sin embargo, el análisis carece de una evaluación cuantitativa más detallada que proyecte estos impactos a largo plazo. Aunque se identificaron tendencias generales, falta un estudio más profundo que contemple escenarios económicos diversos y que permita comprender mejor cómo esta tecnología podría influir en la economía global y en diferentes regiones.

8.2.4 PROPUESTAS PARA ABORDAR LOS DESAFÍOS PLANTEADOS

Las propuestas desarrolladas para enfrentar los desafíos identificados han sido explicadas, aunque requieren mayor desarrollo. Entre las medidas presentadas, se destaca la necesidad de establecer estándares globales que unifiquen los requisitos tecnológicos y éticos, facilitando la adopción de los vehículos autónomos en diferentes mercados. También se ha propuesto fomentar incentivos fiscales y programas de apoyo para promover la investigación y la adopción tecnológica. La colaboración público-privada ha sido otro punto clave. Sin embargo, ciertas propuestas, como la adaptación de principios éticos a contextos culturales específicos y la creación de un marco regulatorio global, necesitan mayor detalle y planificación para garantizar su viabilidad.

8.3 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

8.3.1 FALTA DE DATOS EMPÍRICOS ESPECÍFICOS

Una de las principales limitaciones de la investigación es la ausencia de datos empíricos amplios y específicos sobre la implementación de vehículos autónomos en diversas regiones y contextos culturales. Aunque se han considerado estudios previos y análisis de casos, como el cuestionario aplicado en la investigación, la falta de información directa y detallada sobre cómo estas tecnologías están siendo recibidas y adoptadas en países con diferentes niveles de desarrollo limita la capacidad de generalizar los hallazgos. Esto restringe la comprensión de las variaciones culturales y económicas que podrían influir en la aceptación y adaptación de esta tecnología.

8.3.2 ANÁLISIS ECONÓMICO Y SOCIAL INSUFICIENTEMENTE CUANTIFICADO

Si bien se han explorado los posibles impactos sociales y económicos de los vehículos autónomos, el trabajo carece de un análisis cuantitativo exhaustivo que proyecte los efectos a largo plazo en variables como el empleo, la movilidad urbana y las desigualdades sociales. La ausencia de modelos económicos detallados y escenarios prospectivos dificulta prever cómo evolucionará la integración de esta tecnología en términos de costos, accesibilidad y beneficios generales para la sociedad. Este tipo de análisis habría aportado mayor profundidad y rigor al estudio.

8.3.3 LIMITACIONES EN LA INTEROPERABILIDAD

Aunque se destacó la importancia de establecer estándares de interoperabilidad para facilitar la integración global de los vehículos autónomos, la investigación no profundizó en cómo las diferencias regulatorias y tecnológicas entre regiones podrían afectar esta interoperabilidad. Por ejemplo, no se abordó en detalle cómo los países con infraestructuras limitadas o regulaciones menos desarrolladas podrían integrarse en un sistema global, lo que deja un vacío en la evaluación de los desafíos prácticos para lograr una implementación equitativa y efectiva.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

8.3.4 FALTA DE EXPLORACIÓN PRÁCTICA DE DILEMAS ÉTICOS COMPLEJOS

Aunque el trabajo identificó dilemas éticos clave, como la toma de decisiones en situaciones críticas y la privacidad de los datos, no se incluyó una exploración práctica sobre cómo abordar estos desafíos de manera efectiva. La falta de estudios de casos aplicados o simulaciones concretas para analizar el comportamiento de los vehículos autónomos frente a estos dilemas limita la aplicabilidad de las propuestas éticas desarrolladas. Este vacío reduce la capacidad del trabajo para ofrecer soluciones prácticas que puedan ser adoptadas por fabricantes, reguladores y otros actores involucrados.

8.4 FUTUROS ESTUDIOS E INVESTIGACIONES

8.4.1 COMPARACIÓN EXHAUSTIVA DE TASA DE ACCIDENTES EN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS VS TRADICIONALES

El objetivo de este trabajo es analizar y comparar las tasas de accidentes entre vehículos autónomos y tradicionales. Será necesario recolectar datos de accidentes de tráfico que distingan entre vehículos con diferentes niveles de autonomía (0 a 5) y los tradicionales. Además, se evaluará el desempeño de estos vehículos en condiciones específicas, como climas adversos, densidades de tráfico variables y tipos de vías (urbanas, rurales o autopistas). También se analizará la gravedad de los accidentes para identificar la frecuencia de incidentes leves, graves y mortales en ambos sistemas, así como los patrones de error, como fallos de sensores o errores humanos. Con base en estos hallazgos, el trabajo ofrecerá recomendaciones para mejorar la seguridad de los vehículos autónomos. El trabajo completará los estudios actuales porque toda la bibliografía hasta ahora habla en términos absolutos y no en términos relativos (#accidentes/#trayectos)

8.4.2 COMPARACIÓN INTERNACIONAL DE MARCOS ÉTICOS Y LEGALES

El objetivo de este trabajo será analizar cómo los países pueden abordar los desafíos éticos y legales de los vehículos autónomos, destacando sus similitudes y diferencias. Esto implicará un estudio detallado de las regulaciones en países clave como Estados Unidos, Unión Europea y China, identificando los enfoques éticos predominantes en cada cultura.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

También se evaluará cómo las diferencias culturales influyen en la percepción y regulación de esta tecnología, incluyendo casos de estudio sobre incidentes previos y su gestión legal. Finalmente, se identificarán buenas prácticas y áreas de mejora para fomentar la armonización global, facilitando una adopción más coherente y efectiva.

8.4.3 PROPUESTA DE MARCO LEGAL INTERNACIONAL

Este trabajo buscará diseñar un marco legal global que permita la implementación segura de los vehículos autónomos. Incluirá aspectos clave como la privacidad de los datos, la ciberseguridad, la responsabilidad en caso de accidentes y los estándares técnicos mínimos necesarios para garantizar la seguridad. También se explorará cómo los gobiernos, organismos internacionales y fabricantes pueden colaborar para desarrollar normativas coherentes, superando barreras legales y culturales. Además, se analizará cómo este marco legal puede afectar a las inversiones y el desarrollo tecnológico, proporcionando estrategias para una adopción eficaz en todo el mundo.

8.4.4 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Este trabajo se centrará en analizar el impacto ambiental de los vehículos autónomos, explorando factores como el consumo energético y la eficiencia comparativa entre vehículos autónomos eléctricos y de combustión. También se estudiará cómo el uso de carpooling autónomo puede reducir las emisiones, así como la huella de carbono derivada de la fabricación y mantenimiento de estos vehículos. Además, se investigará cómo esta tecnología puede influir en el diseño urbano, promoviendo ciudades más sostenibles y eficientes. Finalmente, el trabajo propondrá políticas y estrategias que maximicen los beneficios ambientales de los vehículos autónomos.

8.4.5 ACEPTACIÓN SOCIAL DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Este trabajo investigará los factores que influyen en la percepción pública de los vehículos autónomos, realizando encuestas y entrevistas más profundas que en el trabajo actual a nivel internacional para comprender las preocupaciones y expectativas de los

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

ciudadanos de forma global. Se analizará cómo la transparencia, la seguridad y la privacidad afectan la confianza de las personas en esta tecnología. Asimismo, se estudiará cómo las campañas de sensibilización pueden reducir las reticencias sociales y fomentar la adopción de vehículos autónomos. Se incluirá una segmentación demográfica para identificar patrones según edad, género, nivel socioeconómico y ubicación geográfica, y se propondrán estrategias para mejorar la percepción pública.

8.4.6 DESAFÍOS TECNOLÓGICOS ESPECÍFICOS PARA LA CONDUCCIÓN EN ENTORNOS COMPLEJOS

Este trabajo abordará los problemas tecnológicos que enfrentan los vehículos autónomos en situaciones desafiantes. Analizará cómo gestionar entornos urbanos densos, incluyendo la interacción con peatones, ciclistas y tráfico pesado, así como la adaptación a condiciones climáticas extremas, como niebla, lluvia o nieve. También se investigará cómo los vehículos autónomos pueden operar eficazmente en carreteras rurales con infraestructura limitada. El trabajo explorará avances tecnológicos como sensores LiDAR avanzados, inteligencia artificial mejorada y algoritmos de aprendizaje en tiempo real, realizando además simulaciones y pruebas específicas para validar estas soluciones.

8.4.7 MODELOS ECONÓMICOS DE ADOPCIÓN DE VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Este trabajo analizará los costes y beneficios económicos asociados a la inversión de vehículos autónomos. Se evaluará el precio de compra, mantenimiento y seguros en comparación con los vehículos tradicionales, y se investigará cómo la disminución de precios podría influir en su adopción en países en desarrollo. También se estudiará el impacto de la automatización en el empleo, particularmente en sectores como el transporte y la logística.

8.5 REFLEXIÓN SOBRE EL FUTURO DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

El futuro de los vehículos autónomos apunta hacia una transformación sin precedentes en la movilidad global, pero también en la forma en la que conocemos nuestras

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

ciudades, nuestras economías y nuestra sociedad. Estamos avanzando hacia un modelo donde la conducción se alejará progresivamente de la intervención humana, dejando espacio a máquinas que prometen reducir accidentes, optimizar el tiempo de viaje y disminuir el impacto ambiental. Sin embargo, este camino plantea grandes cuestiones sobre cómo afectará a nuestras vidas y cómo nos podemos adaptar.

En los próximos años, es probable que sigamos con la tendencia de una adopción progresiva en países con economías fuertes y marcos regulatorios favorables. Estas regiones actuarán como campos de prueba para refinar la tecnología y desarrollar infraestructuras inteligentes que soporten esta nueva forma de movilidad. A medida que el coste disminuya y la tecnología madure, los vehículos autónomos tendrán la oportunidad de penetrar en mercados emergentes, democratizando su acceso y generando nuevas oportunidades de transporte incluso en lugares con infraestructuras más limitadas.

A largo plazo, nos dirigimos hacia un escenario donde la conducción autónoma estará profundamente integrada en sistemas de transporte multimodal, en ciudades donde los vehículos autónomos se coordinen con transporte público, bicicletas compartidas y sistemas de movilidad personal para ofrecer soluciones completamente conectadas. En estas ciudades, el espacio urbano podría transformarse: menos necesidad de aparcamientos, flujos de tráfico más ordenados y una menor contaminación generada por conducciones no óptimas. Otra gran incógnita es cómo esta tecnología afecta las dinámicas rurales, ya que uno de los mayores desafíos de estas áreas es el acceso a servicios esenciales.

Sin embargo, el futuro no está libre de desafíos. La automatización masiva plantea el riesgo de aumentar las desigualdades si no se regula de forma correcta. Los vehículos autónomos, al ser controlados por grandes empresas, podrían centralizar los beneficios en manos de unos pocos, dejando a comunidades vulnerables en desventaja. Además, surgen preocupaciones sobre cómo se gestionarán los datos, no solo desde una perspectiva de privacidad, sino también en términos de quién es el dueño de esta información.

Más allá de la movilidad, los vehículos autónomos podrían también cambiar cómo entendemos conceptos como propiedad y uso compartido. En lugar de ser dueños de

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

vehículos, podríamos pasar a modelos basados en suscripciones o servicios bajo demanda, donde las flotas autónomas gestionadas por empresas se conviertan en la realidad del día a día.

El futuro de los vehículos autónomos no solo nos llevará hacia una movilidad más eficiente y segura, sino que también reconfigurará nuestras prioridades como sociedad. La pregunta no es solo a dónde nos llevarán estos vehículos, sino cómo elegiremos estructurar este viaje hacia un mundo más conectado, equitativo y sostenible. Estamos al borde de una era de innovación que, si se maneja con responsabilidad, tiene el potencial de transformar radicalmente nuestras vidas.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

Abdel-Aty, M., & Ding, S. (2024). A matched case-control analysis of autonomous vs human-driven vehicle accidents. *Nature Communications*, 15(1), 4931.

Ahmad, U., Song, H., Bilal, A., Alazab, M., & Jolfaei, A. (2020). Securing smart vehicles from relay attacks using machine learning. *The Journal of Supercomputing*, 76, 2665-2682.

Aleksejeva, V., Lavrinenko, O., Betlej, A., & Danileviča, A. (2021). Analysis of disparities in the use of information and communication technology (ICT) in the EU countries. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 9(2), 332.

Anderson, S. L. (2008). Asimov's "three laws of robotics" and machine metaethics. *Ai & Society*, 22, 477-493.

Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M., & Oliver, T. (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. *Journal of modern transportation*, 24, 284-303.

Bai, M., Mattyus, G., Homayounfar, N., Wang, S., Lakshmikanth, S. K., & Urtasun, R. (2018). Deep multi-sensor lane detection. *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 3102–3109.

Beeharry, T., Yahiaoui, R., Selemani, K., & Ouslimani, H. H. (2018). A dual layer broadband radar absorber to minimize electromagnetic interference in radomes. *Scientific reports*, 8(1), 382.

Bimbraw, K. (2015, July). Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology. In *2015 12th international conference on informatics in control, automation and robotics (ICINCO)* (Vol. 1, pp. 191-198). IEEE.

Bolsa, A. (2024). *¿Veremos a KITT por las carreteras españolas?* El Mercantil.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Bovesi, A., Calabretto, A., Stroppa, A., Adamo, G. M., Canepa, F., & Guidi, S. (2024). The autonomous vehicle dilemma: passenger (s) versus pedestrian (s). *Behaviour & Information Technology*, 1-14.

Bowie, N. E. (1998). A Kantian theory of capitalism. *Business Ethics Quarterly*, 8(S1), 37-60.

Chen, Z., & Chen, Z. (2017). RBNet: A deep neural network for unified road and road boundary detection. *Proceedings of the International Conference on Neural Information Processing*, 677–687.

Chu, W., Liu, Y., Shen, C., Cai, D., & Hua, X.-S. (2018). Multi-task vehicle detection with region-of-interest voting. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(1), 432–441.

Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage publications.

Dasgupta, S., Rahman, M., Islam, M., & Chowdhury, M. (2020). Prediction-based GNSS spoofing attack detection for autonomous vehicles. *arXiv preprint arXiv:2010.11722*.

Department of Motor Vehicles - State of California. (2024). *Vehicle collisions (FFDL 16): Common causes of vehicle collisions*.

Di Lillo, L., Gode, T., Zhou, X., Atzei, M., Chen, R., & Victor, T. (2024). Comparative safety performance of autonomous and human drivers: A real-world case study of the Waymo Driver. *Heliyon*, 10(14).

Dinca, I. (2024). *Accidentul rutier violent din zona Pieței Sfatului s-a produs din cauza unui pieton. Ce s-a întâmplat de fapt*. Biz Brasov.

Elmqvist, A., & Negrut, D. (2021). Modeling cameras for autonomous vehicle and robot simulation: An overview. *IEEE Sensors Journal*, 21(22), 25547-25560.

Esteban, J. (2023). El cóctel de sobrecualificación y precariedad dispara el riesgo de la IA para el empleo en España. *Nombre de la Publicación*.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

- Faisal, A., Kamruzzaman, M., Yigitcanlar, T., & Currie, G. (2019). Understanding autonomous vehicles. *Journal of transport and land use*, 12(1), 45-72.
- Fleetwood, J. (2017). Public health, ethics, and autonomous vehicles. *American Journal of Public Health*, 107(4), 532–537.
- Fournier, T. (2016). Will my next car be a libertarian or a utilitarian?: Who will decide?. *IEEE Technology and Society Magazine*, 35(2), 40-45.
- Gherardini, L., & Cabri, G. (2024). The Impact of Autonomous Vehicles on Safety, Economy, Society, and Environment. *World Electric Vehicle Journal*, 15(12), 579.
- Ghorai, P., Eskandarian, A., Abbas, M., & Nayak, A. (2024). A causation analysis of autonomous vehicle crashes. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*.
- Griggs, T., & Wakabayashi, D. (2018). *How a self-driving Uber killed a pedestrian in Arizona*. The New York Times.
- Hassine, Y., & Touati, H. (2023). Vehicular Platoons Security: A Review with an Emphasis on Sybil Attacks. In *2023 12th IFIP/IEEE International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wired and Wireless Networks (PEMWN)* (pp. 1-6). IEEE.
- Hevelke, A., & Nida-Rümelin, J. (2015). Responsibility for crashes of autonomous vehicles: An ethical analysis. *Science and engineering ethics*, 21, 619-630.
- Hoyle, B. S., & Xu, L. A. (1995). Ultrasonic sensors. *Process Tomography: Principles, Techniques and Applications*, 119-149.
- Imanishimwe, D., & Kumar, A. (2024). Age-Based Preference Analysis between Autonomous Vehicles and Other Mobility Technologies. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 150(11), 04024070.
- Jameel, F., Chang, Z., Huang, J., & Ristaniemi, T. (2019). Internet of autonomous vehicles: architecture, features, and socio-technological challenges. *IEEE Wireless Communications*, 26(4), 21-29.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Kingsley, S., & Quegan, S. (1999). *Understanding radar systems* (Vol. 2). SciTech Publishing.

Lennon, S. M., Byford, J. M., & Cox, J. T. (2015). An ethical exercise for the social studies classroom: The trolley dilemma. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 88(6), 178-181.

Li, Z., Zeng, Q., Liu, Y., Liu, J., & Li, L. (2021). An improved traffic lights recognition algorithm for autonomous driving in complex scenarios. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 17(5), 15501477211018374.

Lifona, D. G. (2023). *Ford recibe la autorización de la DGT para introducir el sistema de conducción sin manos BlueCruise*. Expansión.

Limmer, M., Forster, J., Baudach, D., Schule, F., Schweiger, R., & Lensch, H. P. A. (2016). Robust deep-learning-based road-prediction for augmented reality navigation systems at night. *Proceedings of the IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1888–1895.

Liu, H. Y. (2017). Irresponsibilities, inequalities and injustice for autonomous vehicles. *Ethics and Information Technology*, 19(3), 193-207.

Long, P., Liu, W., & Pan, J. (2017). Deep-learned collision avoidance policy for distributed multiagent navigation. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2(2), 656–663

Lyu, J., Yuan, Z., & Chen, D. (2018). Long-term multi-granularity deep framework for driver drowsiness detection. *arXiv preprint*.

Mehendale, N., & Neoge, S. (2020). Review on lidar technology. *Available at SSRN* 3604309.

Mill, J. S. (2016). Utilitarianism. In *Seven masterpieces of philosophy* (pp. 329-375). Routledge.

Miller, K. (2024). *States steer autonomous vehicle legislation*. Multistate.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Mit, R., Zangvil, Y., & Katalan, D. (2020). Analyzing tesla's level 2 autonomous driving system under different gnss spoofing scenarios and implementing connected services for authentication and reliability of gnss data. In *Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)* (pp. 621-646).

Orieno, O. H., Ndubuisi, N. L., Ilojianya, V. I., Biu, P. W., & Odonkor, B. (2024). The future of autonomous vehicles in the US urban landscape: a review: analyzing implications for traffic, urban planning, and the environment. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(1), 43-64.

Pomerlau, D., Thorpe, C., Longer, D., Rosenblatt, J. K., & Sukthankar, R. (1994, April). AVCS Research at Carnegie Mellon University. In *Proceedings Of Intelligent Vehicle Highway Systems America 1994 Annual Meeting* (pp. 257-262).

PwC. (2020). *How will automation impact jobs?* Retrieved from <https://www.pwc.co.uk/services/economics-policy/insights/the-impact-of-automation-on-jobs.html>

Rajasekhar, M. V., & Jaswal, A. K. (2015, August). Autonomous vehicles: The future of automobiles. In *2015 IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC)* (pp. 1-6). IEEE.

Riess, R., & Sottile, Z. (2023). *Uber self-driving car test driver pleads guilty to endangerment in pedestrian death case*. CNN.

Rozhkova, N., Rozhkova, D., & Blinova, U. (2020, May). An overview of aspects of autonomous vehicles' development in digital era. In *International Conference on Integrated Science* (pp. 313-324). Cham: Springer International Publishing.

Rubia, J. M. I. (2023). La discriminación algorítmica y su impacto en la dignidad de la persona y los derechos humanos. Especial referencia a los inmigrantes. *Deusto Journal of Human Rights*, (12), 257-284.

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Schulz, F., Nguyen, Q., Baetzner, A., Sjöberg, D., & Gyllencreutz, L. (2024). Exploring medical first responders' perceptions of mass casualty incident scenario training: A qualitative study on learning conditions and recommendations for improvement. *BMJ Open*, 14(7), e084925.

Song, W., Yang, Y., Fu, M., Li, Y., & Wang, M. (2018). Lane detection and classification for forward collision warning system based on stereo vision. *IEEE Sensors Journal*, 18(12), 5151–5163.

Tech Jobs. (2020). Rise of robots: Jobs lost to automation statistics in 2020.

Tejero, A. (2024). *La DGT modificará dos reglamentos para regular la conducción autónoma*. El Economista.

Templeton, B. (2024, diciembre 9). *In 2009, Waymo's Caddy was a campus robotaxi long before CyberCab*. Forbes.

Tesla. (2025). *Model S, Model 3, Model X y Model Y*. Tesla. https://www.tesla.com/es_es/models

Wang, S., Cheng, J., Liu, H., Wang, F., & Zhou, H. (2018). Pedestrian detection via body part semantic and contextual information with DNN. *IEEE Transactions on Multimedia*, 20(11), 3148–3159.

Wang, J., Zhang, L., Huang, Y., & Zhao, J. (2020). Safety of autonomous vehicles. *Journal of advanced transportation*, 2020(1), 8867757.

Wienrich, J. (2024). *Autonomous driving: The steps to self-driving vehicles*. ZF.

Winston, C., & Karpilow, Q. (2020). *Autonomous vehicles: The road to economic growth?*. Brookings Institution Press.

ANEXO I: CUESTIONARIO

1) ¿Edad?

- a) 18-25
- b) 25-34
- c) 35-44
- d) 45-54
- e) 55-64
- f) 65+

2) ¿Sabes qué son los vehículos autónomos?

- a) Sí
- b) No

3) ¿Consideras que los vehículos autónomos son una innovación positiva para el futuro del transporte?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

4) ¿Crees que los vehículos autónomos serán más seguros que los vehículos conducidos por personas?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

5) ¿Estarías dispuesto/a a utilizar un vehículo autónomo en tu vida diaria?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

6) ¿Qué tan preocupado/a te sientes por la seguridad de los vehículos autónomos?

- a) Muy preocupado/a
- b) Algo preocupado/a
- c) Poco preocupado/a
- d) Nada preocupado/a

7) ¿Crees que los vehículos autónomos deberían estar permitidos en las carreteras españolas?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

8) ¿Cuál consideras que es el mayor beneficio de los vehículos autónomos?

- a) Reducción de accidentes
- b) Menor congestión en el tráfico
- c) Mayor comodidad
- d) Ahorro de tiempo
- e) No sé

9) ¿Qué tan importante es para ti la protección de la privacidad en relación con los vehículos autónomos?

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

- a) Muy importante
- b) Algo importante
- c) Poco importante
- d) Nada importante

10) ¿Cómo te sentirías si un vehículo autónomo tuviera que tomar una decisión difícil que afectara a la vida humana (por ejemplo, un accidente inminente)?

- a) Muy incómodo/a
- b) Algo incómodo/a
- c) Poco incómodo/a
- d) No me sentiría incómodo/a

11) ¿Consideras que los vehículos autónomos podrían reemplazar a los conductores humanos en un futuro cercano?

- a) Sí, en los próximos 10 años
- b) Sí, pero en más de 10 años
- c) No
- d) No estoy seguro

12) ¿Crees que la implementación de vehículos autónomos afectará negativamente al empleo en sectores como el transporte?

- a) Sí, mucho
- b) Sí, algo
- c) No, no afectará
- d) No estoy seguro

DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

13) ¿Qué tan importante es que los vehículos autónomos sean accesibles para todas las personas, independientemente de su nivel económico?

- a) Muy importante
- b) Algo importante
- c) Poco importante
- d) Nada importante

14) ¿Estás a favor de que el gobierno regule estrictamente el uso de vehículos autónomos?

- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

15) ¿Crees que los vehículos autónomos deberían ser probados en áreas específicas antes de permitir su uso generalizado?

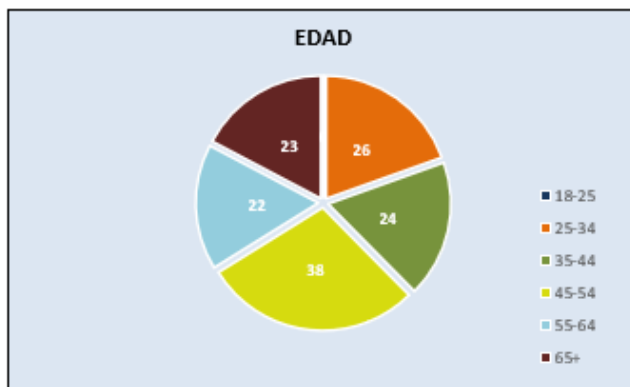
- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

16) ¿Te sentirías cómodo/a viajando en un vehículo autónomo sin un conductor humano presente?

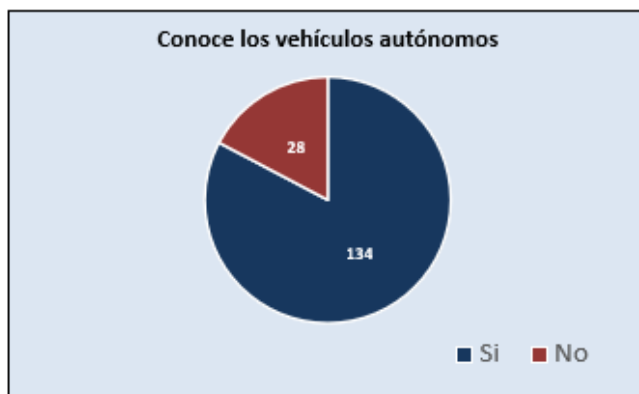
- a) Sí
- b) No
- c) No estoy seguro

ANEXO II: RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

P1



P2



P3



DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

P4



P5



P6

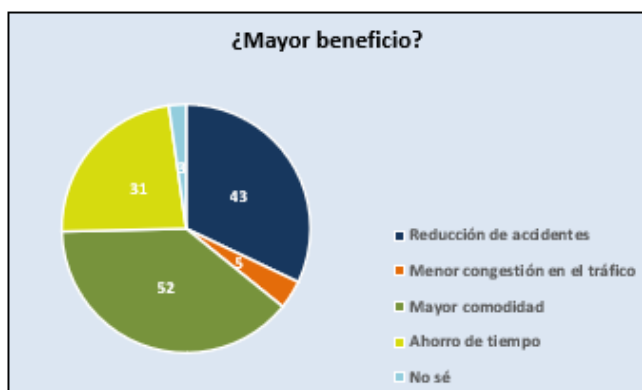


DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

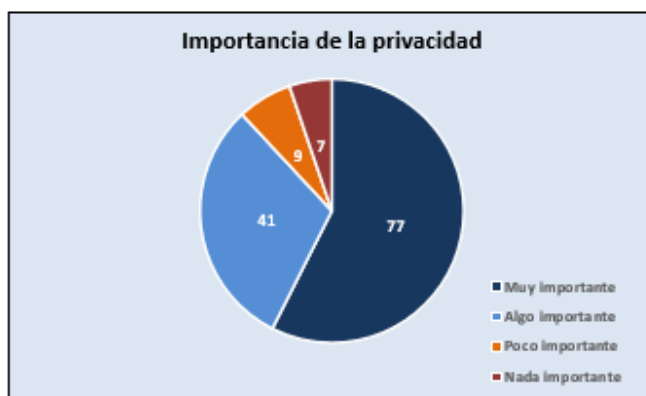
P7



P8



P9



DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

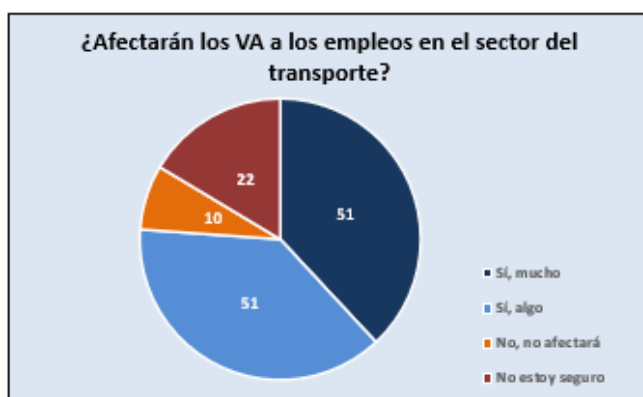
P10



P11

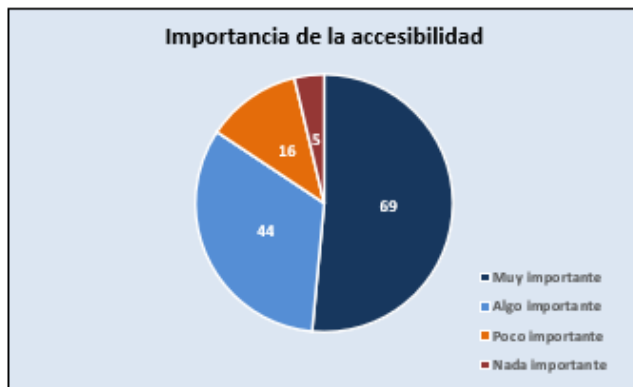


P12

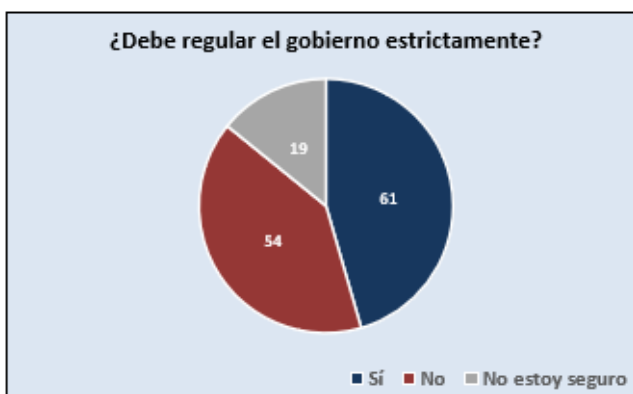


DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

P13



P14



P15



DESAFÍOS ÉTICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

P16



ANEXO III: ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados por la ONU en 2015, tienen el objetivo de erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la paz para el año 2030. Existen 17 ODS, y son dependientes entre sí. La acción de un ODS influye en los otros. Los ODS buscan erradicar la pobreza, el hambre, el SIDA y la discriminación hacia mujeres y niñas.

ODS 3: Salud y bienestar

Los coches autónomos podrían reducir los accidentes de tráfico, mejorando la seguridad vial y, por ende, la salud pública. Además, su integración con tecnologías de monitoreo podría promover la salud de los conductores, aliviando el estrés y la fatiga.

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

La adopción de vehículos autónomos impulsaría la innovación en infraestructura, desde carreteras inteligentes hasta la creación de nuevos servicios de transporte. Esto generaría un avance en la tecnología de movilidad y una mejora en la eficiencia del transporte.

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Los vehículos autónomos podrían transformar la planificación urbana, reduciendo la necesidad de grandes parkings y promoviendo ciudades más sostenibles. Además, su integración con el transporte público podría mejorar la conectividad y la accesibilidad.

ODS 13: Acción por el clima

Los coches autónomos podrían contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂, promoviendo un transporte sostenible. Su implementación en sistemas de transporte compartido podría reducir la cantidad de vehículos en las calles, disminuyendo la huella de carbono.