



Facultad Técnica Superior de Ingeniería (Comillas ICAI)

DILEMAS ÉTICOS GENERADOS EN TORNO A LA TOMA DE DECISIONES EN LA CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

Autor: Daniel Pérez Bienzobas

Director: Raúl González Fabre

Madrid | Abril 2023

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional durante todo el periodo universitario, por haberme inculcado sus valores y por enseñarme a valorar el esfuerzo, a mis amigos por ser siempre un respaldo y a mis profesores por haber fomentado mis ganas de aprender y desarrollarme como persona y profesional.

Resumen

La inteligencia artificial está cada día más presente en los sistemas y herramientas que utilizamos, llegando a tomar un papel muy relevante en sectores como el del transporte, donde no sólo se busca alcanzar una automatización de la conducción, sino que se pretende reemplazar totalmente la figura del conductor convencional por máquinas que lleguen incluso a imitar el comportamiento e inteligencia del ser humano. Es en esta situación, y ante la ocurrencia de un accidente, donde surgen dudas con respecto a la responsabilidad, al no ser una persona el conductor del vehículo que provoca el siniestro.

En el desarrollo de este trabajo se muestran los beneficios que la conducción autónoma aportará en un futuro inmediato, pero al mismo tiempo pone de manifiesto que este tipo de aplicación de la inteligencia artificial supone uno de los proyectos más disruptivos y controvertidos a los que se tiene que enfrentar la sociedad, obligándola a adaptarse rápidamente y a entender las implicaciones que tiene el uso de esta tecnología.

Poniendo foco en la legislación y en la ética, se analiza el estado legislativo actual y los dilemas éticos que se producen ante un siniestro, dejando clara la necesidad que el ser humano tiene de adelantarse al desarrollo de la tecnología, desde ambas perspectivas, con el fin de minimizar los riesgos de una industria que avanza considerablemente y para la cual hoy no estamos preparados ni tenemos leyes adaptadas a la situación de que una máquina pueda tener la responsabilidad sobre un hecho delictivo.

Palabras clave

Conducción autónoma – Inteligencia artificial – Automatización – ADAS – ADS
Vehículo autónomo – SAE – Toma de decisiones – Dilemas éticos

Abstract

Artificial intelligence is becoming increasingly present in the systems and tools we use, taking on a very relevant role in sectors such as transportation, where the aim is not only to achieve automation of driving, but to ultimately replace the conventional driver with machines that can even imitate human behavior and intelligence. It is in this scenario, particularly in the event of an accident, where doubts arise regarding responsibility, as the driver of the vehicle that causes the accident is not a person.

This work presents the benefits that autonomous driving will bring in the immediate future, while also highlighting that such application of artificial intelligence constitutes one of the most disruptive and controversial projects that society must face. This challenge requires rapid adaptation and understanding of the implications of using this technology.

Focusing on legislation and ethics, this work analyzes the current legislative state and ethical dilemmas that occur in the event of an accident, emphasizing the need for humans to anticipate technological advancements and to formulate appropriate laws, from both perspectives, in order to minimize the risks of an industry that is advancing considerably. Currently, we are not prepared nor do we have laws adapted to the situation where a machine may have responsibility for a criminal act.

Key words

Autonomous driving – Self-driving – Artificial intelligence – Automation – ADAS
ADS – Autonomous vehicle – SAE – Decision-making – Ethical dilemmas

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Propósito General	1
1.2. Objetivos del trabajo	2
1.3. Metodología	3
1.4. Desarrollo.....	3
2. Análisis de la conducción autónoma	5
2.1. La conducción autónoma y sus niveles de automatización	5
2.2. Situación actual y desarrollo de la conducción autónoma	12
2.3. Tecnología de la IA en la conducción autónoma.....	19
2.4. Estado legislativo de la conducción autónoma	22
3. Casos judiciales y reglamentarios	32
3.1. Caso I de estudio: Kevin George Aziz Riad	32
3.2. Caso II de estudio: Elaine Herzberg	33
3.3. Orden General Permanente de la NHTSA	35
4. Análisis de dilemas éticos	47
5. Conclusiones	55
6. Bibliografía.....	56
Anexos	64
Anexo 1. Código del análisis elaborado en Python empleando los datos públicos de la Orden General propuesta por la NHTSA	64

Tabla de ilustraciones

Figura 1: Niveles SAE de la conducción autónoma	11
Figura 2: Concesión de patentes por la EPO relacionadas con vehículos autónomos ...	13
Figura 3: Concesión de patentes a compañías para la conducción autónoma	14
Figura 4: Escenarios de adopción de los sistemas autónomos para 2030 y 2035	15
Figura 6: Adopción y uso de la IA en diferentes sectores	20
Figura 7: Legislación de los vehículos autónomos en los estados de EE. UU.....	23
Figura 8: Estado de la legislación de vehículos autónomos en Europa.....	30
Figura 9: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por mes y año de ocurrencia	37
Figura 10: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por fabricante y modelo de vehículo	38
Figura 11: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por estados	38
Figura 12: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por objeto involucrado en el choque.....	39
Figura 13: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por gravedad de lesiones.....	40
Figura 14: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por condiciones generales de la vía	41
Figura 15: Frecuencia de incidentes ADS reportados por mes y año de ocurrencia	42
Figura 16: Frecuencia de incidentes ADS reportados por fabricante y modelo de vehículo	43
Figura 17: Frecuencia de incidentes ADS reportados por estados	43
Figura 18: Frecuencia de incidentes ADS reportados por objeto involucrado en el choque.....	44
Figura 19: Frecuencia de incidentes ADS reportados por gravedad de lesiones.....	45
Figura 20: Frecuencia de incidentes ADS reportados por condiciones generales de la vía	46

Índice de tablas

Tabla 1: Cinco Eras de la Seguridad (NHTSA)	18
---	----

Listado de abreviaturas

ACEA – Asociación de Constructores Europeos de Automóviles

AD – Conducción Automatizada (*Automated Driving*)

ADAS – Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (*Advanced Driver Assistance Systems*)

ADS – Sistemas de Conducción Automatizados (*Automated Driving Systems*)

ASDE - Entidad de Conducción Autónoma Autorizada (*Authorised Self-Driving Entity*)

AV – Vehículos Autónomos (*Autonomous Vehicles*)

BASt – Instituto Federal de Investigación de Carreteras (*Bundesanstalt für Straßenwesen*)

BOE – Boletín Oficial del Estado

BSI – Oficina Federal de Seguridad de la Información (*Bundesamt für Sicherheit*)

CE – Comisión Europea

CEPE – Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa

DGT – Dirección General de Tráfico

EE. UU. – Estados Unidos

EPO – Oficina Europea de Patentes (*European Patent Office*)

FMVSS – Estándares Federales de Seguridad de Vehículos Motorizados (*Federal Motor Vehicle Safety Standards*)

GPS – Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*)

HOG – Histograma de Gradientes Orientados (*Histogram of Oriented Gradients*)

IA – Inteligencia Artificial

ICDP – Programa de Distribución Internacional de Automóviles (*International Car Distribution Programme*)

IMU – Unidad de Medidas Inerciales (*Inertial Measurement Unit*)

ISO – Organización Internacional de Normalización (*International Organization for Standardization*)

LIDAR – Sistema de Medición y Detección de Objetos mediante Laser (*Laser Imaging Detection and Ranging*)

LOM – Ley de Orientación de la Movilidad (*Loi d’Orientation des Mobilités*)

METI – Ministerio de Economía, Comercio e Industria (*Ministry of Economy, Trade and Industry*)

MIT – Instituto Tecnológico de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology*)

MLIT – Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (*Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism*)

NCSL – Conferencia Nacional de Legislaturas Estatales (*National Conference of State Legislatures*)

NHTSA – Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (*National Highway Traffic Safety Administration*)

NTBS – Junta Nacional de Seguridad en el Transporte (*National Transportation Safety Board*)

ODS – Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS – Organización Mundial de la Salud

ONU – Organización de las Naciones Unidas

SAE – Sociedad de Ingenieros de Automoción (*Society of Automotive Engineers*)

SIFT – Transformación de Características de Escala Invariable (*Scale-Invariant Feature Transform*)

STI – Sistemas de Transporte Inteligentes

StVG – Ley de Tráfico por Carretera (*Straßenverkehrsgesetz*)

TIC – Tecnologías de la Información y la Comunicación

TRAN – Comisión de Transportes y Turismo (*Transport and Tourism Committee*)

UE – Unión Europea

USDOT – Departamento de Transporte de los Estados Unidos (*United States Department of Transportation*)

VDA – Asociación Alemana de la Industria Automotriz (*Verband der Automobilindustrie*)

SUV – Vehículo Utilitario Deportivo (*Sport Utility Vehicle*)

1. Introducción

1.1. Propósito General

En las últimas décadas, la tecnología y los nuevos hábitos de consumo avanzan a pasos agigantados y por supuesto la industria automotriz no se queda atrás. Como expresa José Luis Rodrigo, Director General de Fundación Ibercaja, *“los avances tecnológicos y los nuevos hábitos de consumo están fabricando una nueva movilidad; inteligente, sostenible y conectada”* (Fundación Ibercaja, Grant Thornton & Mobility City, 2019, pág. 11). El transporte, como tradicionalmente se ha conocido a la acción de trasladar personas o bienes de un punto a otro, ha cambiado de paradigma hacia un nuevo escenario de movilidad que integra más tipos de medios de transporte, alta tecnología, ciudades inteligentes, eficiencia y sostenibilidad; dibujando un contexto vial más complejo y conectado.

Precisamente es dentro de este concepto de movilidad, en el que se trata de buscar una solución para que todos los participantes en el transporte se relacionen de una manera ética, donde la conducción autónoma toma una gran relevancia siendo posiblemente el proyecto tecnológico más disruptivo, pero a su vez, uno de los más controvertidos.

El trabajo propuesto cobra sentido debido a la multitud de opiniones dispares en el desarrollo de la conducción autónoma y por supuesto, en una de las novedosas, y difíciles de entender, tecnologías que incorpora, la Inteligencia Artificial (IA).

Es importante encajar todas las piezas del puzle en este cambio de paradigma, analizando de forma objetiva y crítica todos los puntos de vista de los diferentes intervinientes. *“Es crucial asegurarse de que la sociedad está preparada para esta transformación en la movilidad”* (Cadena de Suministro, 2019), como reclama Eric-Mark Huitema, director general de la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles, que confirma la necesidad del estudio en los campos técnico, legal y social-ético, para que la viabilidad futura de la automatización en la conducción sea integra.

Es precisamente en este punto temprano en que se encuentra el desarrollo de esta nueva forma de conducción, donde el estudio desde una perspectiva ética puede ser muy beneficioso para el entendimiento de las relaciones entre los partícipes. Especialmente, poniendo un foco de atención en el comportamiento humano, con el propósito de resolver los dilemas éticos derivados del uso de esta tecnología puntera, sin dejar de lado todo el marco puramente objetivo.

Se quiere abordar de forma general las relaciones y analogías existentes entre la ética y diferentes aspectos influyentes como la ley, las buenas prácticas profesionales y el comportamiento humano, entre otros elementos relacionados. Además de exponer las posturas de algunos dilemas éticos particulares de una manera crítica y fundamentada, se pretende establecer una línea de pensamiento para resolver nuevos dilemas planteados. En otras palabras, es interesante estudiar, desde una visión holística y observando la propia evolución de la industria, la concepción de esta nueva forma de movilidad para que finalmente sea una realidad.

1.2. Objetivos del trabajo

El objetivo fundamental del presente trabajo es establecer un conjunto de criterios, estudiados desde distintos ángulos, para que el desarrollo de la conducción autónoma sea no solamente posible en un futuro, sino que su proceso sea eficiente, justo y seguro para el total de la sociedad.

Teniendo en cuenta el propósito principal, se abren los siguientes focos que se deben abordar desde distintos campos de estudio:

- Entender qué es la conducción autónoma, en qué momento de avance tecnológico y de adopción se encuentra y qué futuro alcance tiene.
- Comprender qué características tiene un sistema implementado con IA y estimar el impacto de esta tecnología en la automatización de la conducción.
- Estudiar la implicación de la ley existente y futura, relativa al proceso de automatización junto con la IA, para discutir sobre la necesidad de establecer un sólido marco legal.

- Analizar distintos dilemas éticos generados en torno a la conducción autónoma, con el fin de aportar pensamiento crítico y soluciones, además de definir la involucración que la ética debe tener en el desarrollo del sector e incluso en las propias leyes que lo regulan.

1.3. Metodología

Una vez aclarados los objetivos principales que se abordarán durante la ejecución del trabajo, se debe definir el método seguido para su cumplimiento. Mediante la revisión bibliográfica, se pretende describir algunos elementos fundamentales relacionados con la conducción autónoma y la IA, con el objetivo de sentar las bases para el posterior análisis de los dilemas éticos generados en este escenario.

El enfoque de este ensayo será principalmente cualitativo, al no existir una fuente de datos lo suficientemente sólida para abordarlo desde una perspectiva más cuantitativa, dado que es una tecnología emergente y con carencias en los condicionantes legales para su utilización práctica de una forma generalizada. Sin embargo, se dispone de una base de datos elaborada por la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA), agencia dependiente del gobierno de los EE. UU., de la cual se pretende extraer conclusiones cuantitativas.

Posiblemente la parte más importante del estudio consiste en partir, de manera inductiva, de dos casos particulares, llevados a juicio en los EE. UU., para obtener conclusiones generales en la resolución de dilemas éticos provenientes de la conducción autónoma.

1.4. Desarrollo

El trabajo está conformado por tres grandes bloques: Análisis de la conducción autónoma (capítulo 2), Casos judiciales y reglamentarios (capítulo 3) y Análisis de dilemas éticos (capítulo 4).

El capítulo 2 trata el concepto de conducción autónoma desde tres perspectivas diferentes. En la sección 2.1, se define la conducción autónoma, así como sus diferentes grados de utilización. Se establecen los vehículos y los condicionantes del entorno vinculados con el estudio, para continuar describiendo el progreso de la industria, su repercusión económica y sus implicaciones sociales.

La sección 2.2 reúne las características tecnológicas de la IA y su involucración en la automatización de la conducción, así como las fuentes de información empleadas por la IA y la relación mutua, en términos de influencia, del entorno y el desarrollo de la tecnología.

La sección 2.3 expone el estado actual legislativo de la conducción autónoma y la IA aplicada, reflexionando acerca del efecto de la ley, desde el momento de legislar hasta el punto de aplicación, en la evolución del sector.

En el capítulo 3 se presentan dos casos judiciales en EE. UU. en los que se vieron involucrados vehículos con sistemas automatizados: María Luz Nieves contra Kevin George Aziz Riad y el caso de Elaine Herzberg. En ambos casos se describen y analizan los hechos, con el fin de obtener conclusiones útiles para el último bloque del ensayo.

Además, en este apartado del trabajo se utilizan datos proporcionados por la NHTSA, recogidos tras la emisión de la Orden General Permanente en 2021, con el propósito de analizar estadísticamente accidentes de vehículos en los que se estaban utilizando Sistemas de Conducción Automatizados (ADS) o Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (ADAS) con características del nivel 2 de la clasificación de la SAE.

En el último capítulo, foco principal del trabajo, se indagará acerca de las disyuntivas éticas, tratando temas como la responsabilidad, la utilización de la ética en la resolución de conflictos y la influencia de la ética en la ley y en las buenas prácticas profesionales. Por otro lado, se presentan diversos dilemas éticos, derivados de las casuísticas previamente analizadas, y de otras cuestiones de interés en el desarrollo actual y futuro de la tecnología.

2. Análisis de la conducción autónoma

2.1. La conducción autónoma y sus niveles de automatización

La conducción autónoma en su máximo desarrollo se puede definir como la capacidad de un vehículo de operar de manera independiente, sin la necesidad de intervención de un conductor en ninguna de sus funciones intermedias, más que algunas indicaciones imprescindibles como el destino. El transporte autónomo implica la percepción e interpretación de la información recibida por el medio que le rodea, para conseguir la toma de decisiones en una conducción autosuficiente. Dicho de una manera simple, esta tecnología permite reproducir todas las capacidades activas de manejo y control de un ser humano, convirtiendo el sistema robotizado en el propio conductor.

La Dirección General de Tráfico (DGT), un organismo autónomo del Gobierno de España, define en la Instrucción 15/V-113 un vehículo autónomo como: *“Todo vehículo con capacidad motriz equipado con tecnología que permita su manejo o conducción sin precisar la forma activa de control o supervisión de un conductor, tanto si dicha tecnología autónoma estuviera activada o desactivada, de forma permanente o temporal”* (DGT, 2015, pág. 1).

El concepto de conducción autónoma definido anteriormente, expresa el nivel más alto respecto a la autonomía de un vehículo. Pero dado que esta tecnología se corresponde con un proceso evolutivo, es preciso la delimitación de una escala que describa el grado de automatización, fundamentalmente considerando cuánto control precisa del conductor.

Como normalmente ocurre en todos los sectores, el establecimiento de una escala para la definición, en este caso de los niveles de autonomía de un vehículo, facilita el desarrollo de la tecnología permitiendo la consistencia entre los actores implicados y el proceso de regulación. La Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE), una organización estadounidense dedicada a desarrollar estándares en el sector de la automoción, en el documento J3016 indica los cuatro propósitos en la estandarización de los niveles (SAE International, 2021, pág. 1): esclarecer el rol del conductor (humano) cuando está activado el sistema de automatización de la conducción; dar respuesta a temas referidos con el desarrollo de las leyes, la política,

las regulaciones y estándares; elaborar un marco dirigido al impulso de las especificaciones y condiciones técnicas de la automatización; y por último, proporcionar una vía de comunicación simple y estable alrededor de esta tecnología, con el objetivo de agilizar el tiempo y ahorrar esfuerzo.

La clasificación de la SAE es, probablemente, la más reconocida a nivel global, siendo un estándar aceptado por fabricantes de automóviles y reguladores gubernamentales para describir el nivel de autonomía de los vehículos. Por este motivo, se pondrá énfasis en los seis niveles especificados según la SAE J3016, clasificación publicada por primera vez en 2014 y revisada por última vez en 2021 en colaboración con la ISO (SAE International, 2021, págs. 30-32):

Nivel 0 - Sin automatización de conducción (*No Driving Automation*)

Los vehículos pertenecientes a este nivel no presentan ningún tipo de automatización, el conductor es el encargado y total responsable de realizar todas las tareas de conducción dinámica, tanto el movimiento longitudinal, es decir el control de la velocidad, como el movimiento lateral, haciendo referencia al control de la dirección. Además, será labor del conductor el manejo de situaciones imprevistas, la correcta actuación en condiciones climáticas desfavorables y la prevención de obstáculos.

En este primer nivel es posible que el conductor reciba asistencia en algunas tareas, de los sistemas de alerta y emergencia. Los sistemas de emergencia pueden tomar el control momentáneo longitudinal o lateral bajo circunstancias específicas, sin considerarse controles autónomos puesto que la intervención se produce en un corto periodo de tiempo. Algunos ejemplos de estos sistemas pueden ser el frenado automático de emergencia, el sistema antibloqueo de frenos o el control electrónico de estabilidad, entre otros. En cuanto a los sistemas de alerta se puede nombrar el sistema de detección de punto ciego, el sistema de advertencia de salida de carril, el sistema de aviso de colisión frontal o el control de distancia de aparcamiento, entre múltiples sistemas de aviso al conductor.

Nivel 1 - Asistencia al conductor (*Driver Assistance*)

En este nivel el conductor del vehículo es el responsable de la toma de decisiones esenciales para llevar a cabo las tareas de conducción, pero recibe la ayuda de diferentes sistemas avanzados con características autónomas, de los cuales el conductor sigue siendo el encargado de su supervisión, al igual que de su activación y desactivación.

Estos asistentes con control autónomo, en lo que se refiere a este nivel, solo podrán gestionar las tareas dinámicas de conducción longitudinales o laterales de manera independiente, nunca interviniendo en la velocidad y dirección simultáneamente. Algunos sistemas que forman parte de las condiciones descritas son el control de cruce adaptativo, que se encarga de mantener una velocidad escogida por el conductor y puede adaptar automáticamente la velocidad para mantener la distancia con el vehículo delantero; el asistente de mantenimiento de carril, que realiza ajustes en la dirección del volante para evitar salirse del carril por el que el vehículo circula; y el asistente al aparcamiento, que mientras que el conductor toma el control de los pedales de aceleración y frenado del vehículo, realiza la maniobra de aparcamiento teniendo el control del volante. Teniendo en cuenta que los sistemas no pueden controlar los movimientos longitudinales y laterales al mismo tiempo, los dos primeros asistentes a la conducción no pueden estar activados conjuntamente.

Nivel 2 - Automatización de conducción parcial (*Partial Driving Automation*)

En este nivel los sistemas de automatización pueden controlar tanto los movimientos longitudinales como los laterales al mismo tiempo, por lo que aunque algunas tareas se pueden realizar de manera autónoma sin depender del conductor, este debe monitorear en todo momento el entorno y estar preparado para tomar el control cuando sea necesario para completar la tarea del asistente. Las demás tareas dinámicas de conducción no implementadas con un sistema autónomo, deberán ser realizadas completamente por el conductor.

En este caso, dos ADAS como el control de crucero adaptativo y el asistente de mantenimiento de carril, especificados en el nivel anterior con un funcionamiento independiente, pueden actuar de manera simultánea. Además, el sistema que se encarga de controlar la asistencia al aparcamiento puede ya actuar de manera completa, sin necesidad de que el conductor controle los pedales de aceleración y freno, pero siempre siendo supervisado plenamente por el conductor.

En el documento J3016, la SAE indica que “*el término ADAS es demasiado amplio e impreciso para su uso en documentos con definiciones técnicas*” (SAE International, 2021, pág. 31), debido a que describe un extenso grupo de sistemas que puede hacer referencia a los tres niveles inferiores de la clasificación.

Nivel 3 - Automatización de conducción condicional (*Conditional Driving Automation*)

Este nivel marca la frontera entre los sistemas que asisten de manera autónoma al conductor y los sistemas de conducción automatizados. En este escalón el sistema es capaz de detectar el entorno y tomar decisiones para realizar la mayoría de las tareas relativas a la conducción, pero el conductor debe estar presente y aunque no se le requiera una supervisión continua de los sistemas automatizados cuando estén activos, debe responder ante una solicitud de intervención tomando el control, tanto en una situación imprevista en la que el sistema no pueda responder adecuadamente como ante un fallo general del sistema.

Los sistemas funcionan en condiciones limitadas y no funcionarán bajo circunstancias consideradas peligrosas. Algunos ejemplos de los sistemas pertenecientes a este nivel son el *Traffic Jam Chauffeur*, el *Highway Chauffeur* o el *Truck Platooning* (Raposo, Ciuffo, Makridis, & Thiel, 2017, pág. 14).

Estos aspectos mencionados plantean un punto de inflexión en el cambio de paradigma en la conducción autónoma, exigiendo abordar los desafíos para conseguir un desarrollo seguro de la tecnología.

Nivel 4 - Alta automatización de conducción (*High Driving Automation*)

Los vehículos con sistemas automatizados clasificados en este nivel realizan todas las actividades dinámicas de conducción, sin necesidad de que el conductor supervise las acciones, incluso sin la responsabilidad de intervención ante las solicitudes, en casos específicos, requeridas por el sistema. De tal forma, que en el caso de producirse una respuesta negativa por parte del conductor ante peticiones de intervención, el sistema conseguirá respaldo automático llevando la situación a un nivel de riesgo mínimo. Por consiguiente, el conductor podrá realizar acciones secundarias que no tengan que ver con la conducción, al no requerir por su parte una reacción rápida ante situaciones imprevistas. Además, es el sistema el encargado de otorgar, en el momento idóneo por seguridad, el manejo de la conducción tras una solicitud de toma de control por parte del conductor, decisión que no tomaba el sistema en el nivel anterior.

Como se puede apreciar la principal diferencia entre este nivel y el anterior, consiste en la disminución total de la responsabilidad por parte del conductor frente a todas las situaciones dadas cuando el sistema automatizado este activo, aunque este sistema solamente estará disponible para su uso en ciertas condiciones particulares o rutas específicas.

Por el momento, no es posible la utilización de esta tecnología para un uso común, pero ya existen algunas empresas del sector que han comenzado a realizar pruebas para seguir desarrollando estos sistemas de conducción autónoma. Algunos ejemplos que destacan por su progreso son Waymo One, Cruise Origin, Tesla Autopilot, Nissan ProPILOT 2.0, BMW Personal Copilot y Audi AI, entre otros proyectos de grandes compañías que comienzan a materializarse.

Nivel 5 - Automatización de conducción completa (*Full Driving Automation*)

En este punto llegamos al último escalón del correctamente denominado vehículo autónomo o vehículo sin conductor. El sistema automatizado incorporado en el vehículo realiza todas las tareas de la conducción, sin ningún condicionante respecto al área de circulación y tráfico, climático o de cualquier tipo de circunstancia imprevista, o incluso de fallo de sistema. Estas implicaciones consideradas suponen la desaparición total de la figura del conductor, actuando como pasajero en un vehículo que no incorporará componentes para una conducción activa, como el volante, los pedales o el cambio de marchas; será algo parecido a una “cabina diáfana plagada de tecnología”.

Aunque por el momento el vehículo autónomo no está extendido ni su comercialización es pública, hay muchas empresas que están a la vanguardia del sector, e incluso están probando y ya comercializando servicios de taxi para personas o transporte de mercancías, como Waymo, Cruise, AutoX o Uber. Pero no todo son buenas noticias, empresas como Ford y Volkswagen decidieron a mediados de 2022 retirar sus multimillonarias inversiones de la compañía desarrolladora de tecnología en vehículos autónomos, Argo AI, que se vio obligada a cesar su actividad en octubre de ese mismo año. Diversas razones fueron argüidas por los grandes fabricantes automovilísticos, como la falta de viabilidad actual en la rentabilidad de los vehículos o la apuesta por liderar el desarrollo de los ADAS de nivel 2 y 3, en los cuales cabe todavía la posibilidad de una gran mejora (Korosec, 2022).

La Figura 1 muestra de una manera esquemática las características de los niveles detallados anteriormente y las diferencias entre un nivel y otro, así como la frontera marcada por el nivel 3 en el desarrollo de la tecnología, donde se pasa de sistemas que proporcionan asistencia a la conducción a sistemas de conducción automatizados, concluyendo la clasificación con la automatización total.

Figura 1: Niveles SAE de la conducción autónoma

SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™
 Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
Copyright © 2021 SAE International.						
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features		
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met		This feature can drive the vehicle under all conditions
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

Fuente: SAE International (2021)

En distintos momentos, otras clasificaciones han surgido para la definición de la escala de automatización (Raposo, Ciuffo, Makridis, & Thiel, 2017, pág. 12): la clasificación del Instituto Federal de Investigación de Carreteras (BASt), propuesta en 2012; la clasificación de la NHTSA, propuesta en 2013; y la clasificación de la Asociación Alemana de la Industria Automotriz (VDA), propuesta en 2015. Todas estas clasificaciones, presentadas por diferentes organismos, se han quedado obsoletas o simplemente las organizaciones han decidido adoptar la clasificación de la SAE, como es el caso de la NHTSA, cuya principal diferencia de partida en su presentación fue la carencia de definición de un nivel intermedio entre los dos superiores, que disminuyera aún más la necesidad de intervención por parte del conductor sin ser totalmente prescindible (Czech, Turon, & Barcik, 2018, págs. 17-18).

Asimismo, la Comisión Europea (CE) ha desarrollado su propia clasificación para los vehículos autónomos de la Unión Europea (UE), al igual que la Organización

Internacional de Normalización (ISO), que se centra en aspectos técnicos y de seguridad, pero ambas están basadas en la clasificación de la SAE.

2.2. Situación actual y desarrollo de la conducción autónoma

A continuación, es interesante analizar el mercado actual y futuro de los vehículos autónomos, desde una visión general, en el espacio geográfico y en función de las empresas más fuertes del sector, con la finalidad de estimar la importancia y viabilidad futura del sector.

Next Move Strategy Consulting, en una investigación del mercado de los vehículos autónomos, cifra el valor del mercado en 2021 en 87,5 mil millones de dólares y dado un crecimiento anual compuesto de 24,7%, desde 2022 hasta 2030, predice un valor del mercado para 2030 de 614,87 mil millones de dólares, cifras considerables teniendo en cuenta que el valor del mercado global de transportes se estima en alrededor de 8.000 mil millones de dólares en 2023 (Next Move Strategy Consulting, 2023).

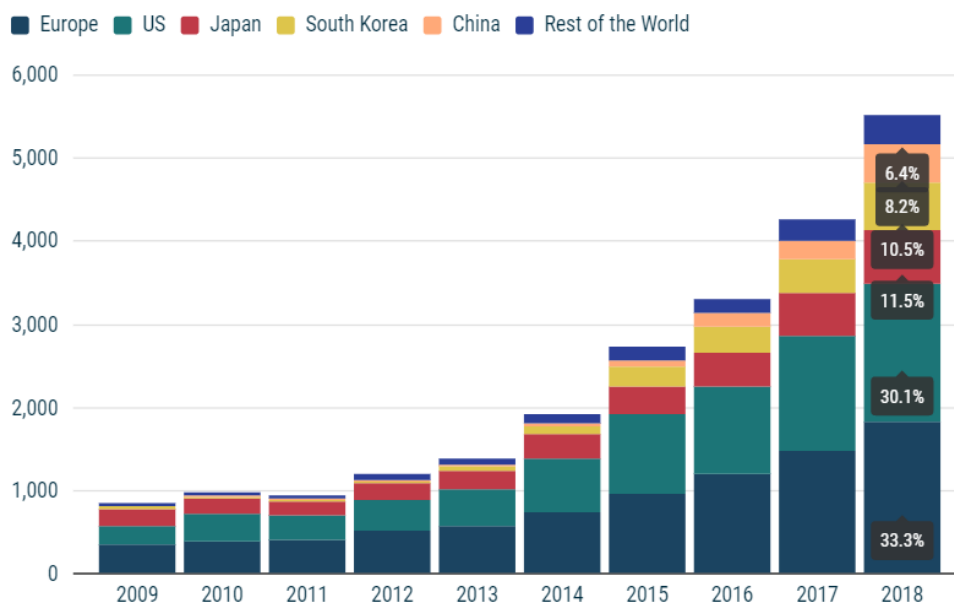
Por otro lado, la consultora estratégica McKinsey es bastante más prudente al estimar que *“según el interés de los consumidores en las características de ADS y las soluciones comerciales disponibles en el mercado hoy en día, ADAS y ADS podrían generar entre 300 mil millones de dólares y 400 mil millones de dólares en el mercado de automóviles de pasajeros para 2035”* (McKinsey & Company, 2023). Las predicciones realizadas por diferentes organizaciones pueden diferir en muchas características, por lo que los resultados expuestos variarían según el método empleado. Lo que aparentemente sí podemos obtener en claro, es la previsión de un fuerte crecimiento durante la próxima década de este sector emergente, pero a su vez consolidado en algunos aspectos.

Otra forma de evaluar el crecimiento de un sector que implique el uso de tecnología, puede ser a través de las patentes otorgadas a las compañías que las emplean para desarrollar sus productos. Estas cifras pueden ofrecer un valor indicativo del crecimiento del sector y de la estrategia tomada por las empresas para proteger la propiedad intelectual y poder obtener ventajas competitivas. Select Car

Leasing, una empresa especialista en alquiler de vehículos en Reino Unido, coloca a EE. UU. seguido de China, Japón, Corea del Sur y Alemania como los países que más patentes globales tienen concedidas en relación con la conducción autónoma, teniendo EE. UU. y China una ventaja considerable frente al resto de competidores (Select Car Leasing, 2022).

Por otro lado, los datos de la Oficina Europea de Patentes (EPO), muestran el crecimiento de la concesión de patentes propias desde 2009 hasta 2018 (Figura 2), en función de distintas zonas geográficas, obteniendo Europa un tercio de las patentes en 2018 (ACEA, 2022).

Figura 2: Concesión de patentes por la EPO relacionadas con vehículos autónomos

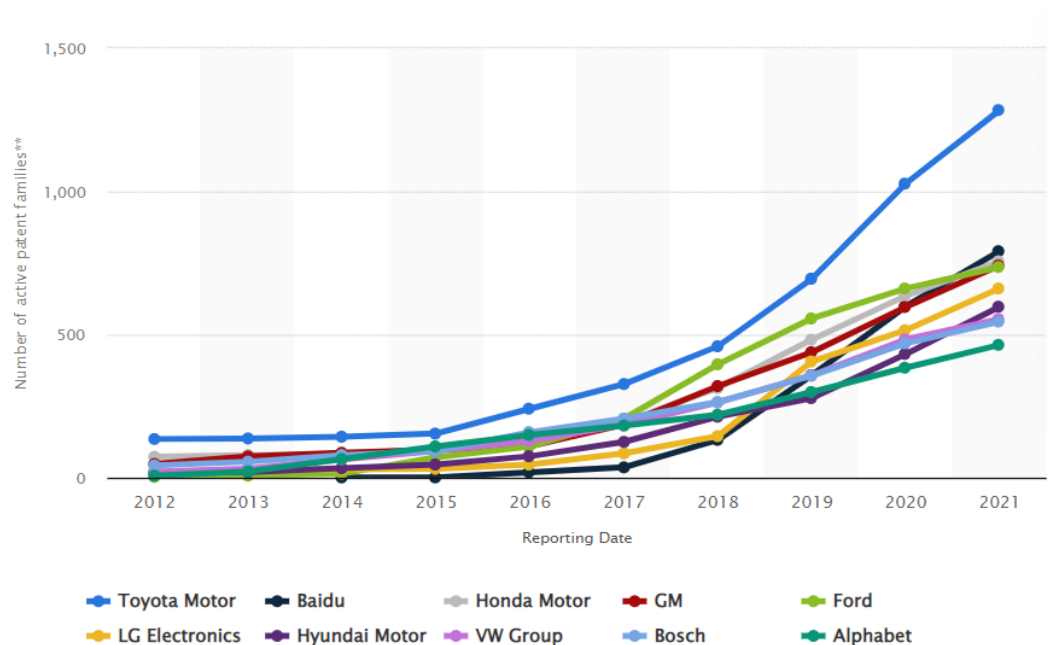


Fuente: ACEA (2022)

La siguiente gráfica (Figura 3) muestra la evolución de las concesiones de patentes relacionadas con la automatización de la conducción desde 2012 hasta 2021, donde de nuevo se observa un gran crecimiento en la última década, aportando una visión general del conjunto de empresas pertenecientes a los tres niveles considerados dentro de la cadena de producción de vehículos. La información proporcionada por PatentSight muestra como Toyota Motors, fabricante de

automóviles japonés, lidera con amplia ventaja la clasificación de tenencia de patentes globales (Wunsch, 2022).

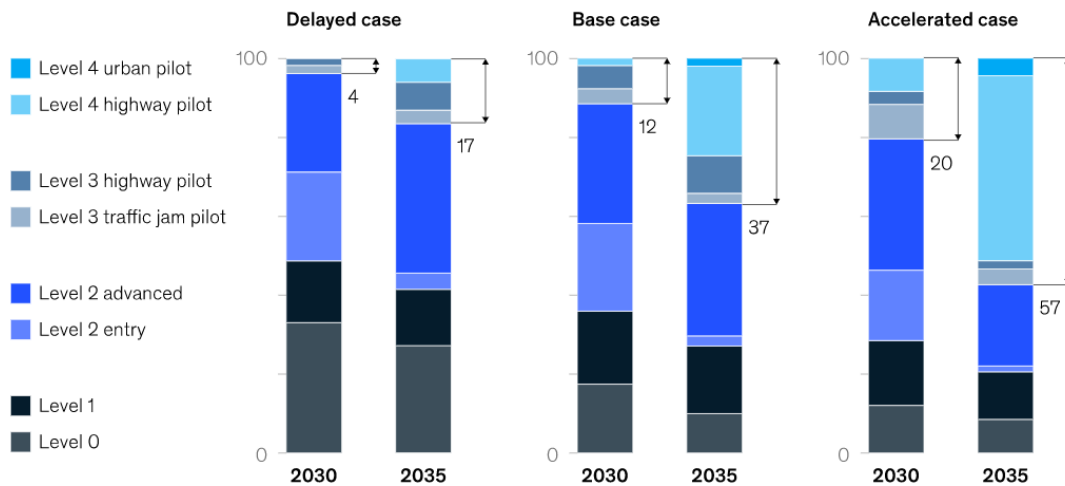
Figura 3: Concesión de patentes a compañías para la conducción autónoma



Fuente: Statista (2022)

Algunas organizaciones apuntan al año 2030 como el comienzo de la década en la cual los coches completamente autónomos, calificados como SAE nivel 5, comenzarán a comercializarse, aunque al principio con costes demasiado elevados y bajo rendimiento. Por tanto, los expertos estiman que entre 2040 y 2060 su uso será más común y empezarán a materializarse en la sociedad los impactos positivos de esta tecnología (Litman, 2023, pág. 1). El estudio acerca de la conducción autónoma del futuro de McKinsey, refleja tres escenarios para 2030 y 2035 relativos a la adopción de los sistemas automatizados en los vehículos (Figura 4). En su escenario base para 2030, el 12% de los vehículos incorporarán sistemas de nivel 3 o superiores, siendo esta cifra tres veces superior para 2035. También proponen un escenario acelerado, donde para 2030 el 20% de los vehículos incorporarán estas tecnologías y en 2035 más de la mitad de los vehículos estarán dirigidos por estos sistemas autónomos (McKinsey & Company, 2023).

Figura 4: Escenarios de adopción de los sistemas autónomos para 2030 y 2035



Fuente: McKinsey Center for Future Mobility (2023)

Por último, en 2020 KPMG elabora una lista de países ordenados según su preparación para la conducción autónoma, en función de una serie de características englobadas dentro de la política y la jurisdicción, la tecnología y la innovación, las infraestructuras y la aceptación del consumidor. Esta lista está encabezada por Singapur, Países Bajos, Noruega, EE. UU. y Finlandia. Además, se incide en cinco ciudades a nivel global que están realizando trabajos interesantes para la adopción futura de los vehículos autónomos: Pekín, Detroit, Helsinki, Pittsburgh y Seúl (KPMG International, 2020). Otro estudio en 2022, realiza una clasificación de países en función del avance en los mismos campos generales que la investigación de KPMG, pero centrándose en patentes, inversión, búsquedas por Internet y calidad de carreteras, entre otros elementos. De este modo, lista los cinco países que lideran su clasificación, siendo EE .UU., Japón, Francia, Reino Unido y Alemania (Gibbs, 2022).

Tras definir el concepto de conducción autónoma, analizar los diferentes niveles de automatización existentes y describir el avance de la industria en el espacio geográfico, queda por descubrir los beneficios e inconvenientes que puede generar el uso y comercialización de la tecnología, desde diferentes aspectos.

Los vehículos autónomos pueden aumentar la accesibilidad del transporte, principalmente para aquellas personas con mayor dificultad para la movilidad, como

las personas mayores y las personas con alguna discapacidad que tengan limitaciones para la conducción, mejorando su calidad de vida y adaptación en la sociedad.

La automatización posibilita la optimización del comportamiento del vehículo y de la ruta seguida, aumentando la eficiencia en la conducción, con implicaciones en la velocidad, el combustible y la gestión del tráfico, permitiendo ahorrar tiempo y otros recursos.

En lo relativo al medio ambiente, siendo uno de los asuntos que más preocupan en la sociedad actual, la eficiencia en los elementos mencionados, permite reducir la contaminación del transporte gracias a la disminución de las emisiones de gases de los vehículos. Igualmente, el uso compartido y la electrificación de los vehículos, dos aspectos que pueden estar relacionados con el proceso de automatización de la conducción (Navarro-Michel, 2020, pág. 217), favorecen la reducción de la contaminación. Como indican algunos expertos en salud pública y transporte en un informe que relaciona la utilización de vehículos autónomos con la salud pública, *“los modelos saludables de uso de AV incluyen vehículos totalmente eléctricos en un sistema de viajes compartidos”* (Rojas-Rueda, Nieuwenhuijsen, Khreis, & Frumkin, 2020).

Otro de los puntos interesantes a analizar es el impacto económico, tanto desde la visión personal como a nivel general. Por un lado, la automatización de la conducción conlleva la desaparición de la figura del conductor, por lo que los puestos de trabajo de los profesionales de este sector quedarían obsoletos.

De la misma forma, las empresas de la industria automotriz podrían tener dificultades para adaptarse al cambio, debido a las grandes barreras de entrada económicas en la implantación de la tecnología en los vehículos. Esto mismo podría generar que el coste de adquisición para los consumidores finales fuera demasiado elevado, ocasionando un acceso desigual a la tecnología.

Por otro lado, debido a la optimización de los recursos en los vehículos autónomos, se produciría una reducción de los costes para las personas, incluyendo tanto el transporte privado como público. Además, dada la desaparición del conductor se recortaría el coste de los empleados, si por ejemplo nos referimos al transporte público. En el caso de considerar este tipo de transporte como más seguro,

debate que se intentará argumentar a continuación, el coste de los seguros y de los accidentes también se vería reducido.

Por último, cabe destacar la apertura de oportunidades de negocio alrededor de este nuevo sector, fomentando la creación de empresas y empleo dedicadas a la fabricación de los vehículos y a la investigación y desarrollo de los sistemas automatizados, así como todo el hardware y software necesarios para su implantación.

Sin duda, uno de los mayores beneficios de la automatización en la conducción es la mejora de la seguridad vial. La eliminación del factor humano en las acciones derivadas de la conducción, si tenemos en cuenta que es uno de los principales causantes de los accidentes de tráfico, como la NHTSA en un informe sobre la seguridad del tráfico estima en alrededor de un 94% (Singh, 2018, pág. 2), se entiende que favorecería en gran medida a la disminución de los siniestros. ICDP, una organización internacional de investigación especializada en automóviles, predice que se reducirán en aproximadamente un 15% los accidentes de tráfico en Europa, como resultado del avance en seguridad de estos sistemas autónomos (Seymour, 2018).

Esta tecnología del nivel superior de la clasificación SAE, incluyendo los inferiores ADAS, ayudarían a proteger a los conductores y pasajeros de los vehículos, así como a los viandantes y otros participantes en la circulación. Esto tiene una gran relevancia, puesto que como la OMS indica en un informe sobre la seguridad en carretera, los accidentes de tráfico son la octava causa de mayor mortalidad, liderando la clasificación en 2018 para niños y adultos jóvenes (World Health Organization, 2018, pág. 6).

En la tabla 1 se muestra el avance de la seguridad en la conducción y los sistemas empleados más característicos a lo largo de la historia reciente, que la NHTSA ha denominado Cinco Eras de la Seguridad (NHTSA, s.f.).

Tabla 1: Cinco Eras de la Seguridad (NHTSA)

Años	Tipo de Seguridad	Sistemas de Seguridad
1950-2000	Características de Seguridad/Conveniencia	<ul style="list-style-type: none"> - Control Automático - Cinturones de Seguridad - Frenos Antibloqueo
2000-2010	Características Avanzadas de Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Control Electrónico de Estabilidad - Advertencia de Punto Ciego - Advertencia de Colisión Frontal - Advertencia de Salida del Carril
2010-2016	Características Avanzadas de Asistencia al Conductor	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara de Seguridad Trasera - Frenado Automático de Emergencia - Frenado Automático de Emergencia Para Peatones - Frenado Trasero Automático de Emergencia - Alerta Trasera de Tráfico Cruzado
2016-2025	Características de Seguridad Parcialmente Automatizadas	<ul style="list-style-type: none"> - Asistencia de Mantenimiento de Carril - Control Automático Adaptativo - Asistencia de Embotellamiento de Tráfico
2025+	Características de Seguridad Totalmente Automatizadas	

Fuente: Elaboración propia a partir del informe sobre seguridad de la NHTSA

Para finalizar esta sección introductoria a la conducción autónoma, es relevante analizar qué es lo que los consumidores piensan respecto de este cambio de paradigma en la movilidad. Una encuesta global realizada por McKinsey en 2021, acerca de las preferencias de movilidad, refleja que una cuarta parte de los encuestados escogerían como próximo vehículo uno que implementase sistemas automatizados superiores al nivel 3 SAE, estimando dos tercios de estos en diez mil dólares lo que estarían dispuestos a pagar por la tecnología. Estos resultados nos arrojan información acerca del estado prematuro de adopción a la tecnología, pero también un fuerte interés de adquisición por parte de los más cautivados por esta nueva forma de conducción, lo que suele suceder en mercados emergentes y más si nos referimos a mercados que impliquen grandes desarrollos tecnológicos (McKinsey & Company, 2023).

2.3. Tecnología de la IA en la conducción autónoma

Aunque los inicios de la IA se podrían remontar al año 1936, cuando Alan Turing, un matemático británico considerado como uno de los padres de la ciencia de la computación, ideó una máquina que se adaptaba a diferentes situaciones para resolver cálculos matemáticos, es cierto que hoy en día el concepto de la IA sigue siendo verdaderamente difuso. Comenzando desde el acuñamiento del término en 1956, por el informático John McCarthy tras la conferencia de Dartmouth, donde inicialmente su aplicación principal fue en programas de cálculo inteligentes, hasta hoy en día donde la aplicación de esta ciencia es multidisciplinar. Este avance de la IA en múltiples campos se ha producido no solo por su potencial para la resolución de problemas que requieren de inteligencia, sino gracias al aumento de la capacidad de cómputo de los ordenadores, la escalabilidad y en términos más generales al desarrollo de la digitalización.

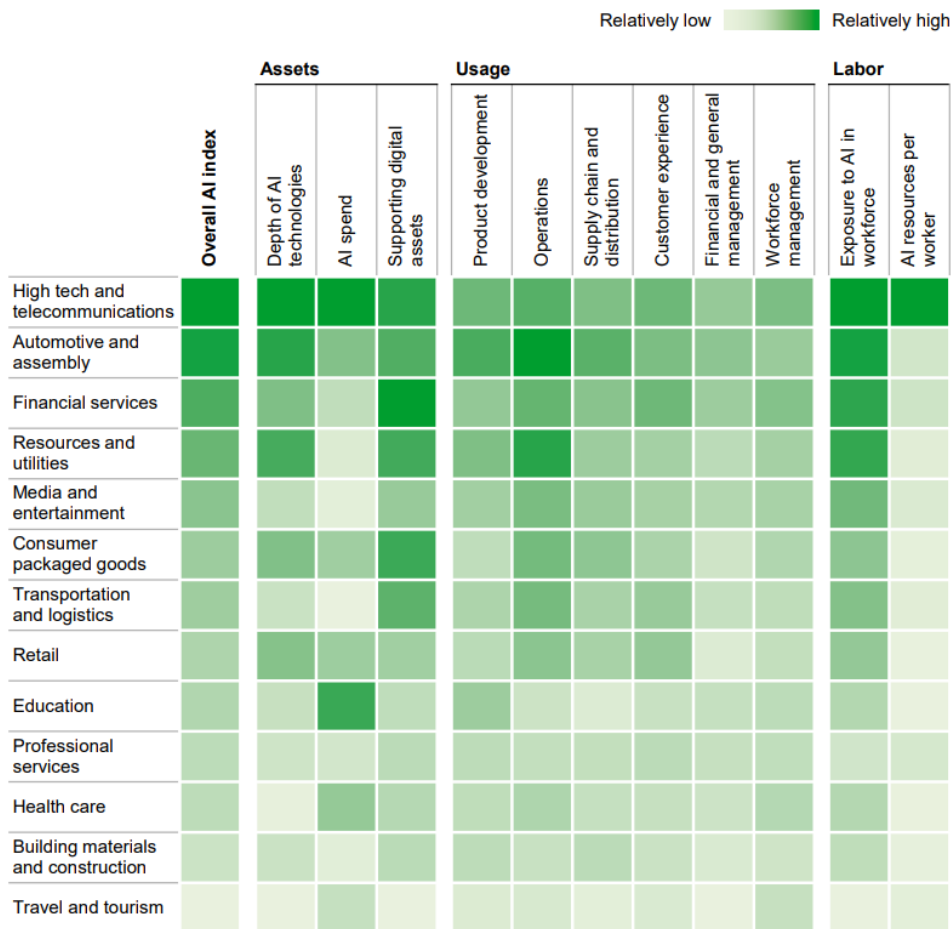
A pesar de que son muchas las definiciones, con distintas perspectivas, aportadas por diferentes expertos en la materia, es Lasse Rouhiainen, experto internacional en IA, quien define el concepto de forma general como *“la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, aprender de los datos y utilizar lo aprendido en la toma de decisiones tal y como lo haría el ser humano”* (Rouhiainen, 2018, pág. 7).

Según Stuart J. Russell y Peter Norvig, dos expertos en ciencias de la computación, existen cuatro enfoques bajo los que se ha desarrollado la IA. Primero, los sistemas que piensan como humanos, donde la máquina es capaz de emplear mecanismos muy cercanos a los procesos utilizados por la mente humana. En segundo lugar, los sistemas que actúan como humanos, donde la conocida como Prueba Global de Turing, propuesta por Alan Turing en 1950, se utiliza para evaluar la inteligencia creada artificialmente de forma que se pretende determinar la incapacidad de diferenciar entre las respuestas dadas por un sistema artificial y un ser humano, considerando necesario que la máquina tenga las siguientes capacidades: procesamiento de lenguaje natural, representación del conocimiento, razonamiento automático, aprendizaje automático, visión computacional y robótica. En tercer lugar, los sistemas que piensan racionalmente, enfoque basado en la aplicación de la lógica, es decir en la manera correcta de resolver un problema por parte de un sistema

inteligente. Por último, los sistemas que actúan racionalmente, de forma que la máquina tome decisiones en función de los principios generales que rigen a los agentes racionales, que actúan para lograr el mejor resultado posible (Russell & Norvig, 2004, págs. 2-6).

La IA es utilizada en múltiples campos de conocimiento, como la generación y procesamiento de lenguaje natural, el aprendizaje automático, la automatización en robótica, el reconocimiento de voz, la gestión de toma de decisiones, los agentes virtuales y la visión artificial. Además, es cada vez más empleada en diversas industrias que requieren de su uso para mejorar y digitalizar sus procesos, aunque su adopción se acelera en algunos sectores como las telecomunicaciones, los servicios financieros y la industria automotriz, donde la conducción autónoma toma un papel muy relevante (McKinsey & Company, 2017, págs. 13-16).

Figura 5: Adopción y uso de la IA en diferentes sectores



Fuente: Instituto Global de McKinsey (2016)

La IA en la conducción autónoma es la encargada de realizar las tareas de conducción replicando el comportamiento humano, con lo que un vehículo de estas características debe estar dotado de capacidades sensoriales, cognitivas y de ejecución. Los sistemas de IA incorporados en los vehículos son capaces de procesar los datos recopilados por los sensores, para tomar decisiones en función de la respuesta de algoritmos de aprendizaje automático.

Los vehículos autónomos incorporan múltiples sensores para la obtención de información tanto interna, sensores propioceptivos, como del entorno o exterior del vehículo, sensores exteroceptivos. Los sensores propioceptivos capturan datos propios del vehículo como el movimiento, la geolocalización o la velocidad, y algunos de estos sistemas son la Unidad de Medidas Inerciales (IMU), el GPS o el sensor de velocidad. Por el contrario, los sensores exteroceptivos recopilan datos del exterior del vehículo como imágenes, posiciones o distancias de los objetos exteriores, siendo algunos ejemplos de este tipo de sensores el Radar, el LiDAR, las cámaras y los sensores ultrasónicos.

Los algoritmos de aprendizaje automático que emplean los sistemas inteligentes de los vehículos autónomos son tanto supervisados como no supervisados, y se pueden categorizar en algoritmos de regresión, algoritmos de matriz de decisiones, algoritmos de reconocimiento de patrones, algoritmos de agrupamiento y redes neuronales.

A pesar de existir miles de algoritmos funcionales para cada problema, según Sanksshep Mahendra, un experto en conducción autónoma, IA y Machine Learning, hay cinco algoritmos que destacan por su potencial en la conducción autónoma: Transformación de Características de Escala Invariable (SIFT), utilizado en visión artificial para detectar características de las imágenes y conseguir reconocer objetos; AdaBoost, usado para la clasificación y agrupación de datos con el objetivo de obtener conocimiento para la toma de decisiones; TextonBoost, empleado para el reconocimiento preciso de objetos en las imágenes obteniendo información sobre la textura, el diseño y el contexto de estos; Histograma de Gradientes Orientados (HOG), usado para la localización de distintos objetos en una imagen basándose en la distribución de gradientes en distintas celdas de la imagen y YOLO (You Only Look Once), que emplea redes neuronales convolucionales para detectar objetos en

imágenes de manera eficiente, de tal forma que el algoritmo va aprendiendo de las características generales de cada tipo de objeto para su posterior detección (Mahendra, 2023).

Además de para la detección de objetos, que es una de las tareas fundamentales de la IA en la conducción autónoma, se implementan redes de predicción de disparidad para calcular la profundidad de cada uno de los píxeles de una imagen y así obtener una localización completa de un objeto en 3D, con el objetivo de que el sistema detecte los obstáculos y se eviten colisiones. Por otro lado, la IA también está siendo de ayuda en la automatización de la conducción actual de los vehículos (nivel 3 SAE o inferiores), por ejemplo, para el reconocimiento del estado del conductor y otras variables que mejoran la comodidad y seguridad de la conducción.

Uno de los propósitos de los gobiernos y los ciudadanos a corto y medio plazo es crear ciudades inteligentes, donde la tecnología sea el motor principal para lograr centros urbanos sostenibles, optimizados, seguros y conectados. Las TIC, el Big Data y la IA forman parte de los recursos tecnológicos que se emplean para la transformación digital de las ciudades y aunque la influencia de estas nuevas tecnologías en las diferentes industrias no vaya a la par, como se observa en el rápido avance de los vehículos autónomos, su impacto está en constante crecimiento en el desarrollo global del contexto.

2.4. Estado legislativo de la conducción autónoma

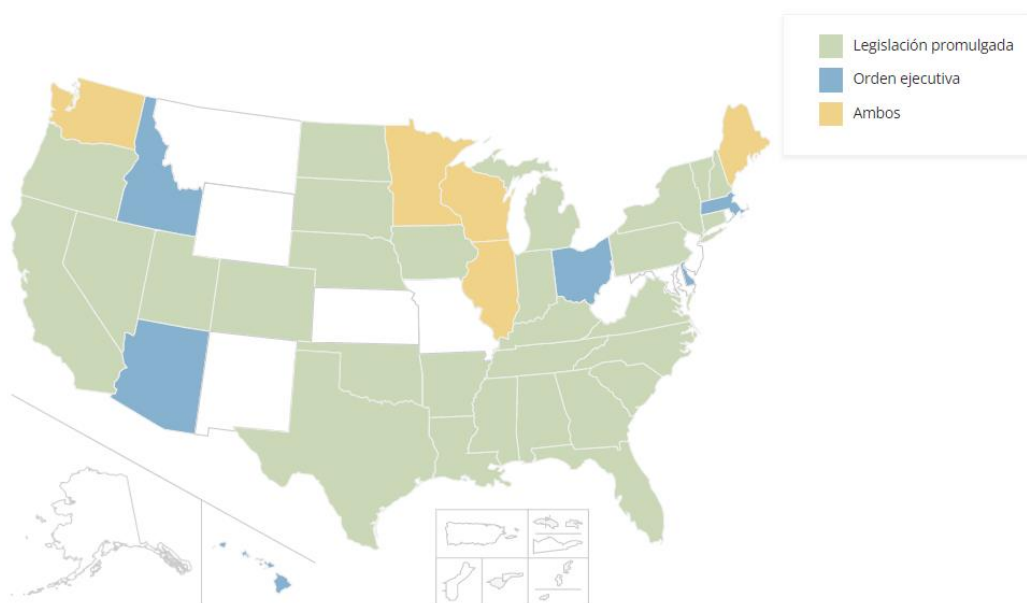
La conducción autónoma y las tecnologías implicadas en su desarrollo son cuestiones que generan ciertas dudas dada la transformación que suponen respecto a la conducción convencional. La adopción de un sólido marco teórico y jurídico es fundamental para reducir la incertidumbre en asuntos relativos al sujeto de responsabilidad penal y civil en caso de accidente, a la privacidad y protección de datos o a la venta, diseño y uso de los vehículos autónomos. La tecnología avanza más rápido que la legislación, pero ambos deben ir de la mano cuando se trata precisamente de la seguridad de las personas.

Conocer el estado actual del marco regulatorio global es importante para entender cuál es la evolución de la conducción autónoma a nivel mundial, pero a efectos prácticos se analizan los territorios que lideran o pueden liderar la industria como son EE. UU., Europa y Japón.

En lo relativo a la regulación de automóviles en EE. UU. es el gobierno federal, con la colaboración de la NHTSA y del Departamento de Transporte de los Estados Unidos (USDOT), quien regula los estándares de seguridad para la fabricación de los vehículos, mientras que son los propios gobiernos estatales los que regulan su uso (Browne, 2017). De la misma manera, el control sobre el funcionamiento de los vehículos autónomos o con sistemas automatizados, pertenece a cada uno de los estados, lo que plantea una falta de integridad respecto a la regulación de su uso general en el país. Dada esta discrepancia existente entre los estados, la regulación en cada uno de ellos se establece de manera desigual.

Los datos aportados por la Conferencia Nacional de Legislaturas Estatales (NCSL) muestran que 34 estados han promulgado leyes relacionadas con la conducción autónoma, mientras otros han emitido órdenes ejecutivas o todavía no han legislado en referencia a esta cuestión (NCSL, 2020).

Figura 6: Legislación de los vehículos autónomos en los estados de EE. UU.



Fuente: NCSL (2020)

En 2011 Nevada fue el primer estado en autorizar la operación de vehículos con sistemas automatizados y la expedición de licencias para los operadores de estos. En los siguientes años reguló los condicionantes para las pruebas de estos vehículos, las sanciones administrativas por incumplimiento y definió ciertos términos relacionados como “vehículo completamente autónomo”, “sistema de conducción automatizado” o la figura del “conductor” como la persona que activa el sistema de conducción automatizado.

La legislación de Florida aprobada en 2012 declaró *“la intención legislativa de fomentar el desarrollo seguro, las pruebas y el funcionamiento de los vehículos de motor con tecnología autónoma en las vías públicas del estado y considera que el estado no prohíbe ni regula específicamente las pruebas o el funcionamiento de la tecnología autónoma en los vehículos de motor en las vías públicas”* (NCSL, 2020). En 2016 permite la expedición de licencias para la operación de vehículos, eliminando el requisito de su utilización solamente para la realización de pruebas. En 2019 incorpora la terminología SAE, que fue previamente adoptada por la NHTSA, y sustituye el término “vehículo autónomo” por “sistema de conducción automatizado”, debido a su utilización previa de forma general para referirse a un vehículo que incorpora sistemas automatizados. Además, elimina el requisito de que una persona posea una licencia válida para operar un vehículo completamente autónomo y elimina la necesidad de que un conductor esté dentro del vehículo autónomo en el caso de que la operación sea controlada remotamente.

California fue el tercer estado en permitir que se realizaran pruebas con vehículos automatizados, seguido de Michigan y el resto de los estados. A lo largo de los años cada uno de los estados ha ido regulando la conducción autónoma, intentando adaptarse a los criterios federales y a los estándares reconocidos internacionalmente.

A nivel federal, la Cámara de Representantes de EE. UU. aprobó en 2017 la ley Self Drive, cuyo propósito fue garantizar la seguridad de los vehículos altamente automatizados en referencia al diseño, la fabricación y el funcionamiento, además de fomentar la realización de pruebas de estos vehículos. En el mismo año el proyecto de ley AV Start, que pretendía establecer un marco para garantizar la seguridad de estos vehículos, fue rechazado con lo que no se llegó a un consenso. En los siguientes

años ninguna propuesta de regulación integral ha salido adelante, pero la USDOT con las actualizaciones de la Federal Automated Vehicles Policy y la NHTSA con las publicaciones Occupant Protection for Automated Driving System en marzo de 2020 y Framework for Automated Driving System Safety en diciembre de 2020, avanzaban en términos regulatorios.

Finalmente, el gobierno actual en colaboración con la NHTSA, tiene como objetivo a medio plazo aprobar un marco regulatorio federal. Las bases para la creación de este marco general comenzaron a establecerse en junio de 2021, con la emisión de la Orden General Permanente que recopila información de accidentes de vehículos autónomos, y posteriormente, en marzo de 2022 con la actualización de los requisitos de seguridad para que las empresas puedan fabricar vehículos autónomos sin controles manuales, lo que hasta entonces no estaba permitido según los Estándares Federales de Seguridad de Vehículos Motorizados (FMVSS) (Dentons, 2022, págs. 103-105).

En lo que respecta al marco regulatorio de la conducción autónoma en la UE, cada uno de los estados miembro es encargado de establecer las normas para el uso de estos vehículos, adaptándose a los acuerdos pactados en la Convención de Viena y la Convención de Ginebra sobre el Tráfico Vial, además de los estándares de seguridad promulgados por la UE con el fin de consolidar un marco legal armonizado para todos los países (Traton, 2022). Aunque probablemente la UE no es el territorio más avanzado en las tecnologías automatizadas de conducción, está promoviendo la consolidación de un marco regulatorio común para todos los países integrantes, lo que puede ser una ventaja competitiva respecto a sus competidores estadounidenses.

Una de las primeras iniciativas legislativas que toma la UE es la Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de julio de 2010, *“por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte”* (Dir. 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de julio de 2010). En esta norma no se trata precisamente el tema de la conducción autónoma, sino los Sistemas de Transporte Inteligentes (STI) en relación con las redes de transporte y la gestión del tráfico para un uso más seguro e integrado,

además con fines de mejora en el impacto ambiental y en la eficiencia energética en el transporte.

Sin tener efecto jurídico, pero con el objetivo de promover un marco de actuación respecto a los STI, se promulga la Resolución del Parlamento Europeo, de 13 de marzo de 2018 (2017/2067(INI)), “sobre una estrategia europea sobre los sistemas de transporte inteligentes cooperativos” (RPE, de 13 de marzo de 2018). Considerando la necesidad de promover un transporte más eficiente, sostenible, accesible y seguro, con motivo de que el 92% de los accidentes en carretera son ocasionados por errores humanos, destacan el potencial de los STI cooperativos para resolver estos asuntos y el requisito de proporcionar a los ciudadanos un marco jurídico claro que facilite la implantación de estos sistemas en el transporte, además de indicar que son fundamentales para el desarrollo de los vehículos hacia tecnologías autónomas.

Meses más tarde, de la mano de Wim van de Camp, ex miembro holandés del Parlamento Europeo, junto con la Comisión de Transportes y Turismo (TRAN), se presenta el Informe sobre la Conducción Autónoma en los Transportes Europeos (2018/2089(INI)). En la propuesta se considera la existencia de niveles 1 y 2 SAE disponibles en el mercado y el progreso e inversión en los siguientes niveles con sistemas más autónomos, por el momento no disponibles, además del avance de otros países como EE. UU., Australia o Japón; para destacar el potencial de los medios autónomos de transporte en diversos sectores e incidir en *“que los vehículos completamente autónomos o altamente automatizados estarán disponibles en el mercado en los próximos años y que deben establecerse marcos reguladores apropiados lo antes posible que garanticen un funcionamiento seguro de dichos vehículos y ofrezcan un régimen claro de responsabilidad, con el fin de abordar los cambios resultantes, incluida la interacción entre los vehículos autónomos y la infraestructura, así como con otros usuarios”* (Parlamento Europeo & TRAN, 2018). Este informe establece la preocupación por regular un mercado que tendrá un impacto significativo en la economía y la sociedad, y cuya evolución cada vez es más acelerada con lo que se reducirá el periodo de adaptación al cambio en esta nueva movilidad.

A finales de 2019, se presenta el Reglamento (UE) 2019/2144 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2019, *“relativo a los requisitos de homologación de tipo de los vehículos de motor y de sus remolques, así como de los sistemas y componentes destinados a esos vehículos, en lo que respecta a su seguridad general”* (R (UE) n° 2019/2144 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2019). En esta normativa se consideran las personas que fallecieron o quedaron gravemente heridos en las carreteras de la UE, para establecer unos requisitos elementales protegiendo a los ocupantes de los vehículos y a las personas vulnerables en las vías públicas. Se define “vehículo automatizado” como aquel que se puede desplazar de manera autónoma sin supervisión continuada del conductor pero esperando una respuesta de intervención si se precisa (corresponde al nivel 3 SAE) y “vehículo totalmente automatizado” como aquel que funciona de manera autónoma prescindiendo de la supervisión del conductor (corresponde al nivel 4 SAE, ya que aunque el nombre puede indicar que se refiere al último nivel de automatización, no precisa la desaparición por completo de la figura del conductor). Por otro lado, en el artículo 6 se constituyen los requisitos y especificaciones para los ADAS en todo tipo de vehículos de motor, haciendo referencia a los asistentes de velocidad inteligentes, el sistema avanzado de distracciones del conductor y, por último, a las normas de uso y divulgación en relación a los datos de incidencias registrados por el vehículo.

Finalmente, el 6 de julio de 2022, entró en vigor el Reglamento General de Seguridad de Vehículos de 2019, anteriormente explicado. La aplicación de este reglamento, da facultades a la Comisión para establecer un marco legal completo para los vehículos automatizados y redactar las normas para aprobar el uso de los vehículos totalmente autónomos. Margrethe Vestager, actual comisaria europea de Competencia, se pronunció tras la entrada en vigor expresando que *“la tecnología nos ayuda a aumentar el nivel de seguridad de nuestros automóviles. Las nuevas características de seguridad avanzadas y obligatorias ayudarán aún más a reducir el número de víctimas. Hoy también nos estamos asegurando de que nuestras reglas nos permitan introducir de forma segura vehículos autónomos y sin conductor en la UE, en un marco que pone la seguridad de las personas en el centro”* (European Commission, 2022). Esta nueva legislación impulsa a las compañías europeas de la

industria automotriz y a las relacionados con el sector, a desarrollar con viabilidad sus productos con tecnología autónoma.

Los diferentes países de Europa también han adoptado sus propias medidas para la regulación de la conducción automatizada (Figura 8), entre ellos destacan Francia, Reino Unido y Alemania, por situarse a la cabeza en su desarrollo y adopción.

En diciembre de 2019 el gobierno francés publicó en el Diario Oficial la Ley de Orientación a la Movilidad (LOM) estableciendo, en los artículos 31 y 32, un conjunto de normas para los sistemas de automatización. Este marco legislativo dictamina que el conductor del vehículo no tendrá responsabilidad penal *“por las infracciones derivadas de la conducción de un vehículo cuyas funciones de conducción estén delegadas en un sistema de conducción automatizada, cuando dicho sistema ejerza un control dinámico del vehículo en el momento del hecho”* y dicha carga recaerá sobre el fabricante siempre que el uso del sistema sea el debido. Por otro lado, en coherencia con las especificaciones del nivel 3 SAE de vehículos automatizados, el conductor debe estar alerta y responder ante solicitudes de toma de control por parte del sistema autónomo (CARA European Cluster for Mobility Solutions, 2021).

En diciembre del año siguiente se anunció la publicación de la estrategia francesa para el desarrollo de la movilidad vial automatizada 2020-2022, en la que se plantean una serie de objetivos, condiciones y orientaciones para el desarrollo de la industria con el propósito de *“hacer de Francia el lugar de preferencia para el despliegue de los servicios automatizados de movilidad por carretera entre 2022 y 2025”* (Gouvernement français, 2020, pág. 7).

En cuanto a Reino Unido, en 2013 con el informe de acción para las carreteras, presentado por el Departamento de Transportes británico al Parlamento, se revelaban los planes para que investigadores de la Universidad de Oxford comenzarán a probar los sistemas semiautónomos de los vehículos (nivel 3 SAE) en vía pública controlada y de esta forma comenzar a avanzar en esta tecnología con el objetivo de mejorar la seguridad en el transporte y el creciente problema de la congestión vial (Department for Transport, 2013).

La Ley de Vehículos Autónomos y Eléctricos, que obtuvo la aprobación real en julio de 2018, muestra la intención por parte del gobierno británico de *“permitir la innovación y garantizar que la futura tecnología de conducción autónoma (automatizada) se invente, diseñe y opere de manera segura en el Reino Unido”* (Department for Transport, 2021). Con la aceptación de esta ley, la Secretaria de Estado tiene la obligación de mantener actualizado una lista de vehículos con sistemas autónomos que mejoren la seguridad de los pasajeros y se decretan las responsabilidades por parte de las aseguradoras en el caso de accidentes mientras se estaba empleando un sistema automatizado bajo unos condicionantes.

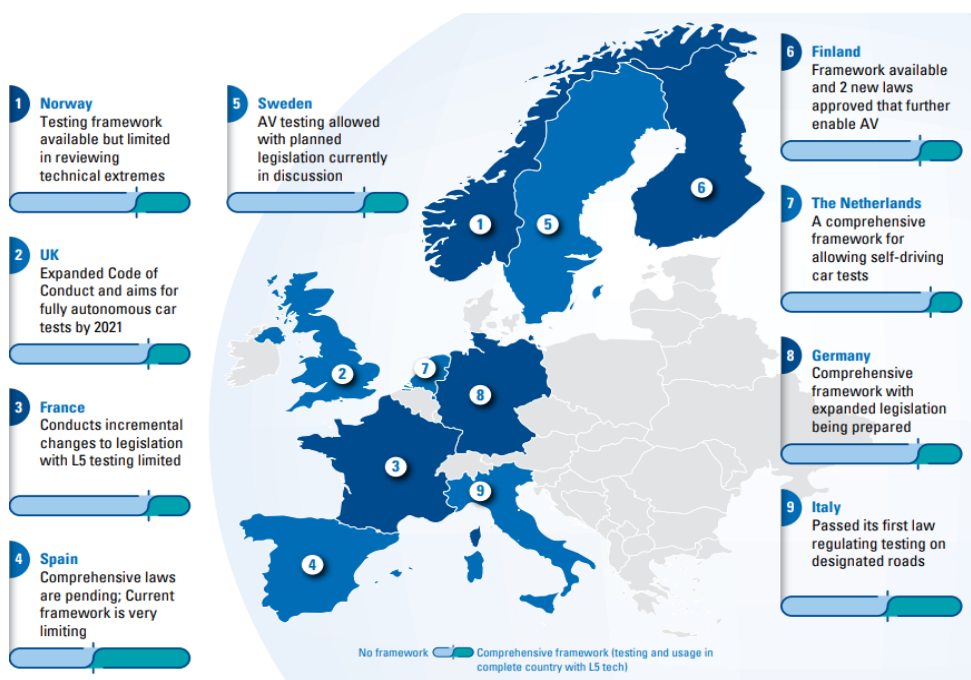
En abril de 2021, el gobierno de Reino Unido anunció que los vehículos autónomos estarían permitidos en las carreteras del territorio, lo que incrementó la presión sobre el gobierno para la creación de un marco legal en este aspecto. En enero de 2022, la Comisión Jurídica de Inglaterra y Gales y la Comisión Jurídica Escocesa en conjunto, difundieron un informe con recomendaciones para el uso con seguridad de sistemas autónomos. Esta publicación acarrió la aprobación de la nueva Ley de Vehículos Automatizados, que reglamentaba el uso de los ADS en vehículos con estas características. La ley otorgaba la responsabilidad, tanto civil como penal, a la Entidad de Conducción Autónoma Autorizada (ASDE), parte encargada de la fabricación del vehículo o del ADS, en el caso de un accidente en el que el sistema autónomo estuviera activo, por considerar que la figura del conductor no está al cargo de la conducción en ese momento. La norma también plantea la responsabilidad para un vehículo NUIC (No User-In-Charge), con características autónomas superiores al nivel 3 SAE, de tal manera que al desaparecer la figura del conductor y ser considerado pasajero al no poder asumir las tareas de conducción, el operador NUIC podrá ser el último responsable, al ser la entidad encargada de la supervisión y la actuación ante incidencias de los vehículos (Mayer Brown, 2022).

En lo que respecta a Alemania, en febrero de 2022 el gobierno federal aprobó una nueva ordenanza para regular la operación de vehículos motorizados con sistemas de conducción automatizada y vehículos autónomos. Esta ordenanza tiene como objetivo completar y concretizar la enmienda a la Ley de Tráfico por Carretera (StVG) sobre conducción automatizada promulgada en verano de 2021, en la que se sentaban las bases para que la conducción autónoma de nivel 4 SAE sea una realidad en áreas concretas de las vías públicas de Alemania, convirtiéndose el país en el pionero

en avanzar hasta este nivel. Aunque en 2017 con la entrada en vigor de la Ley de Conducción Automatizada, que modificaba por octava vez la StVG, se estableció que los sistemas automatizados de nivel 3 SAE podían tomar el control del vehículo en situaciones específicas, no es hasta la aprobación de la ordenanza de 2022 cuando se están otorgando homologaciones a los fabricantes de automóviles. Además, este marco regulatorio trata la privacidad de los datos para que su transmisión se realice de forma encriptada según los criterios de la Oficina Federal de Seguridad de la Información (BSI) y cumpliendo el Reglamento UE 2016/679 sobre la protección de datos personales y su libre circulación.

Las partes interesadas en el desarrollo de la tecnología autónoma en los vehículos confían en el desarrollo del marco legal para que su acogida sea un éxito. Como también afirma Volker Wissing, exministro federal de Transporte e Infraestructura Digital, *“el hecho de que los vehículos autónomos puedan participar en el tráfico vial normal de nuestro país en el futuro es único en el mundo y fue una hazaña enorme. Pero es precisamente con esta experiencia detallada en el desarrollo del marco legal y su implementación, con la cuál podemos contribuir significativamente para seguir trabajando a nivel internacional”* (Malterer, 2022).

Figura 7: Estado de la legislación de vehículos autónomos en Europa



Fuente: Automated Driving requires International Regulations (TÜV SÜD, 2020)

En la actualidad, Japón es probablemente uno de los países más punteros en tecnología y en relación con la conducción autónoma no se ha quedado atrás. Desde las revisiones parciales en 2019 de la Ley de Vehículos de Transporte por Carretera y la Ley de Tránsito por Carretera, el gobierno japonés ha apoyado el desarrollo de la tecnología de automatización de nivel 3 SAE para los vehículos, redactando además disposiciones necesarias para la introducción de los vehículos de nivel 4 SAE y garantizando su seguridad para su utilización en vías públicas en 2025. Takeyoshi Imai, profesor universitario y asesor de alto nivel para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), observa que dichas revisiones introducen las medidas necesarias para la utilización de la tecnología de nivel 3 SAE en la vía pública, pero incide en la necesidad de tratar otros temas directamente relacionados como la clasificación completa de las diferentes tecnologías de conducción autónoma, la figura del conductor en este tipo de vehículos y las responsabilidades legales y civiles en caso de accidente (Imai, 2019).

En julio de 2020, se publicó el plan de hoja de ruta nacional que consideraba la adopción del nivel 4 SAE de vehículos autónomos y a finales de ese mismo año, el Ministerio de Tierra, Infraestructura, Transporte y Turismo (MLIT), actualizó el Reglamento de Seguridad para Vehículos de Transporte por Carretera para incluir los requisitos propuestos por el WP.29 GRVA, un grupo de trabajo dirigido por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) para la reglamentación y documentación sobre vehículos automatizados y conectados.

El Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) junto con el MLTI, durante el verano del 2021, preparaba el lanzamiento del proyecto RoAD to the L4 que *“tiene como objetivo establecer servicios AD sin conductor en más de 40 ubicaciones, así como la aplicación práctica de camiones L4 en vías rápidas y la ampliación de servicios en entornos de tráfico compartidos por peatones y otros vehículos”* (Fukunaga, 2022). Finalmente, el 20 de diciembre de 2022 el gobierno de Japón acordó permitir que estos vehículos, con capacidades de nivel 4 SAE, se puedan utilizar para servicios en las vías públicas, lo que fue una realidad con la enmienda a la Ley de Tránsito por Carretera publicada en abril de 2023.

3. Casos judiciales y reglamentarios

A la hora de entender la situación legal, e incluso ética, de un entorno en el que la IA y el coche autónomo sean una realidad, surge la necesidad de estudiar distintos casos en los que la tecnología se ha visto cuestionada legalmente y por la opinión pública. Para ello se revisan dos casos llevados a juicio en EE. UU. y se analizan datos de accidentes recopilados tras la emisión de una Orden General por la NHTSA.

3.1. Caso I de estudio: Kevin George Aziz Riad

Este primer caso se considera el primer litigio penal llevado a juicio por un delito grave en EE. UU. en el que está involucrado un ADAS (nivel 2 SAE). La parte acusada es Kevin George Aziz Riad, un conductor que el 29 de diciembre de 2019 conducía un Tesla (Model S) en Gardena, Los Ángeles. En este hecho se produjo un accidente contra otro coche (Honda Civic) llevando activo el piloto automático o Autopilot, como lo denomina la marca en cuestión, tras pasar un semáforo en rojo a 120 km/h. En este accidente murieron los dos ocupantes del vehículo contra el que colisionaron, Gilberto Alcázar López y María Guadalupe Nieves-López, y los dos ocupantes del Tesla, conductor y acompañante, fueron hospitalizados con lesiones leves.

Los cargos para el conductor del Tesla, juzgado por el Tribunal Superior del Condado de Los Ángeles, fueron de doble homicidio involuntario. Actualmente, el caso se encuentra pendiente de resolución y está programada una conferencia sobre el estado final el 18 de julio de este año en el Juzgado de Torrance (UniCourt, 2023).

En un primer momento Tesla, el fabricante del automóvil con tecnología ADAS, no se enfrentaba a cargos en el caso, pero las familias López y Nieves-López han demandado a la compañía, en un juicio que se celebrará en julio de 2023, alegando que el sistema ADAS de Tesla es defectuoso y no actuó adecuadamente en el accidente, poniendo en riesgo la seguridad vial. Edward Walters, profesor especializado en derecho de conducción autónoma de la Universidad de Georgetown, afirma que en este caso *“el estado tendrá dificultades para probar la culpabilidad*

del conductor humano porque algunas partes de la tarea están a cargo de Tesla” (Reuters, 2022).

La compañía de automóviles se defiende de estas acusaciones advirtiendo que *“el piloto automático y un sistema más sofisticado de autoconducción completa, no pueden conducirse solos”* y que *“los conductores deben prestar atención y estar preparados para reaccionar en cualquier momento”* (Garger, 2022). Además, un ingeniero de Tesla testificó que el conductor del vehículo tenía una mano en el volante, pero no realizó ninguna acción de frenado en los seis minutos previos al accidente. En el juicio, en el que Tesla testificará como acusado, tendrá que aportar como prueba todos los datos registrados por el vehículo y por el sistema ADAS en los momentos previos al accidente ocasionado.

Aunque por el momento los fiscales encargados del caso afirman que el accidente fue causado, principalmente, por el conductor y su gestión sobre la velocidad y el sistema de frenado, otras investigaciones llevadas a cabo por el Departamento de Justicia, sobre las acciones del piloto automático de Tesla en otros accidentes, podrían hacer cambiar la visión de los fiscales. Por otro lado, el acusado puede defenderse diciendo que su actuación se produjo de acuerdo con la publicidad que realiza Tesla de sus sistemas automatizados. Además, Donald Slavik, un abogado de la familia López, indica *“no poder decir que el conductor no tuvo la culpa, pero el sistema de Tesla, el piloto automático, y los voceros de Tesla alientan a los conductores a estar menos atentos”* y, entendiendo los riesgos del sistema de Tesla así como la falta de actuación por parte de la compañía, añade que *“Tesla sabe que la gente usará el piloto automático y lo usará en situaciones peligrosas”* (Reuters, 2022).

3.2. Caso II de estudio: Elaine Herzberg

El segundo caso corresponde a un accidente causado por un vehículo (Volvo XC90) en unas pruebas realizadas por Uber el 18 de marzo de 2018 en Tempe, Arizona, operando en modo autónomo (utilizando un sistema de conducción automatizada de nivel 3 SAE). En este caso el accidente se cobró la vida de Elaine Herzberg, que circulaba como peatón por la vía pública, pasando a considerarse el

primer suceso registrado de fallecimiento de un peatón por un vehículo con estas características.

El 27 de agosto de 2020 el Gran Jurado del Condado de Maricopa acusó a Rafaela Vasquez, el conductor en el accidente, de un cargo de homicidio negligente. El acusado se declaró inocente de los cargos y en septiembre de ese mismo año el tribunal ordenó su libertad condicional, hasta la celebración del juicio. Allister Adel, una fiscal del condado, declaró que *“cuando un conductor se pone al volante de un automóvil, tiene la responsabilidad de controlar y operar ese vehículo de manera segura y respetuosa de la ley”*, además advirtió sobre las consecuencias que conllevan las distracciones al volante (Maricopa County Attorney's Office, 2020).

Un informe policial, presentado a la Oficina del Fiscal del Condado de Maricopa, indicaba que no existía evidencia de frenado antes de la colisión producida contra Herzberg, lo que probablemente fue producido debido a que el conductor del vehículo se encontraba distraído. Las primeras investigaciones revelan que el accidente se podría haber evitado si el conductor hubiera tomado a tiempo el control del vehículo. Sin embargo, dado que el peatón estaba cruzando ilegalmente la vía, la jefa de policía de Tempe, indicó que una vez observado el video del accidente y analizadas las condiciones del suceso, el accidente probablemente fuese inevitable. Por otro lado, Uber declaraba que el conductor estaba capacitado para conducir este tipo de vehículo y su labor consistía en estar atento a la carretera para atender cualquier tipo de imprevisto (Stern, 2018).

Un reporte preliminar de la Junta Nacional de Seguridad en el Transporte (NTBS), muestra que los datos arrojados por la telemetría detectaron al peatón, el cual portaba una bicicleta, seis segundos antes del impacto, pero el algoritmo de detección de imágenes clasificó al objeto, al principio, como un objeto desconocido, luego como un vehículo y finalmente como una bicicleta. En cada uno de los casos el sistema estaba preparado para actuar de manera diferente con el objetivo de evitar el impacto. Un instante antes de que se produjera la colisión, el sistema determinó que era necesario realizar un frenado de emergencia, sin embargo, la NTBS explica que el sistema no estaba habilitado para realizar la maniobra de frenado de emergencia y además el sistema no generó una alerta al operador del vehículo, cuestiones que desataron bastante polémica (NTBS, 2019, págs. 2-3).

Tras este incidente Uber suspendió la prueba de sus vehículos autónomos, tanto en el estado de Arizona, por orden del gobernador Doug Ducey, como en los demás lugares donde las estaba realizando. Uber consiguió esquivar una demanda por parte de la familia de Herzberg llegando con ellos a un acuerdo confidencial días más tarde del suceso. En 2019 el fiscal del condado de Yavapai, tras haberse traspasado el caso desde el condado de Maricopa por un posible conflicto de intereses, suspendió el procedimiento contra Uber quedando la compañía exenta de responsabilidad penal (Shepardson, 2019).

En relación con el juicio contra Vasquez previsto para febrero de 2021, la fecha de celebración se fue retrasando debido a la complejidad del caso y a diferentes mociones solicitadas por parte de los abogados del acusado. Los abogados de Vasquez han intentado llegar a un acuerdo para rebajar la pena del acusado mientras que el caso sigue pendiente de resolución (Randazzo, 2022).

3.3. Orden General Permanente de la NHTSA

La NHTSA emitió en junio de 2021 la Orden General Permanente, actualizada por última vez en abril de 2023, que obliga a fabricantes, desarrolladores y operadores del sector a informar de accidentes producidos por vehículos que incorporan sistemas ADS y ADAS de nivel 2 SAE. Esta agencia estadounidense define los ADS como aquellos sistemas que tienen características de conducción autónoma superiores al nivel 2 de la clasificación SAE. El objetivo principal de esta recogida de datos es evaluar el cumplimiento, por parte de los fabricantes de este tipo de sistemas, en términos de seguridad, de tal manera que la agencia puede tomar acciones para retirar aquellos vehículos que plantean riesgos en cuanto a seguridad o imponer a los fabricantes soluciones apropiadas (NHTSA, 2023b).

Actualmente los últimos datos públicos disponibles, fechados el 15 de febrero de 2023, recogen cierta información de cada accidente, como el nombre de la entidad informante, las características del vehículo implicado, la información completa del incidente y las características técnicas del sistema autónomo involucrado, incluyendo un total de 122 variables por cada identificador único del suceso (NHTSA, 2023a).

En junio de 2022 la NHTSA publicó dos informes que analizan, desde la emisión de la Orden General, por un lado los datos de los incidentes de vehículos ADAS nivel 2 SAE y, por otro lado, los generados por vehículos con tecnología ADS. La agencia explica algunas limitaciones de los datos, como observaciones incompletas o sin verificar, variables cuantitativas sin normalizar en relación con la volumetría de vehículos y los kilómetros recorridos, múltiples reportes para un mismo incidente y falta de detalles debido a ciertas dificultades para el acceso a la información de los choques por parte de los informantes. Sin embargo, existe un compromiso por parte de la NHTSA de mejorar la calidad de los datos y de actualizar mensualmente los datos reportados para perfeccionar la evaluación de la seguridad de estas tecnologías emergentes (NHTSA, 2023b).

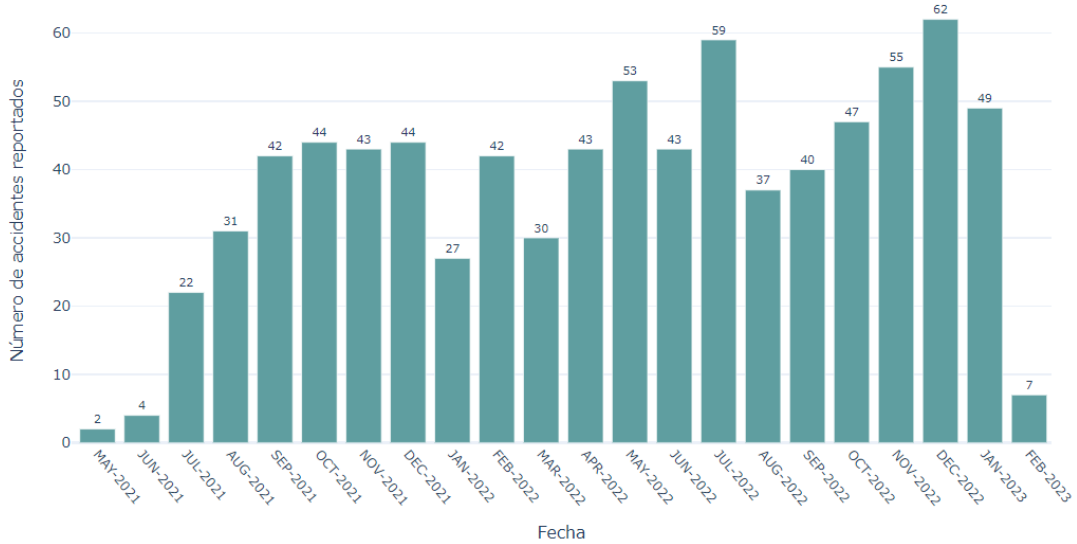
A continuación se plantea un análisis de los datos disponibles hasta la fecha, tanto para los accidentes reportados de vehículos con sistemas ADAS, como para los vehículos con sistemas ADS. Aunque estos datos han ido creciendo en número y calidad, siguen siendo insuficientes e incompletos para obtener conclusiones claras, pero al menos suponen la base para que, en el futuro, se disponga de información útil en la investigación de la seguridad de estas tecnologías, ya implementadas en el transporte. Como propiamente expresa la NHTSA es necesario expresar los datos en función del número de vehículos y los kilómetros recorridos empleando los sistemas de automatización, para obtener resultados válidos con los que poder actuar adecuadamente en términos de seguridad.

El conjunto de datos utilizado, para estudiar los incidentes reportados de vehículos ADAS, consta de 1.695 observaciones, que corresponden sólo a 853 accidentes únicos, ya que en algunos casos existen varias versiones o actualizaciones reportadas de un mismo accidente. Para el análisis realizado se ha empleado la información de la última versión disponible para cada accidente, ya que es la que recoge la información más actualizada y completa.

La primera gráfica (Figura 9) recoge el número de accidentes reportados que ocurrieron en cada mes y año, mostrándose solo la información desde mayo de 2021, ya que aunque hay reportes de accidentes ocurridos desde agosto de 2019, tienen valores prácticamente despreciables de entre 0 y 2 incidentes. Aunque no es muy

marcada, se observa una cierta tendencia creciente en el número de ocurrencias de accidentes hasta la fecha.

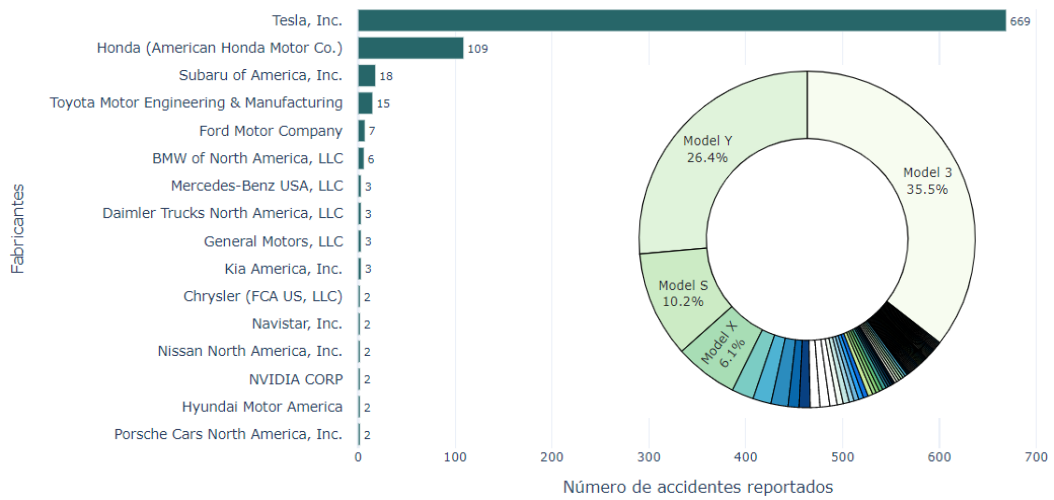
Figura 8: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por mes y año de ocurrencia



Fuente: Datos Incidentes ADAS Orden General NHTSA - Elaboración propia

El fabricante de automóviles Tesla ha reportado casi el 80% de los accidentes, seguido del fabricante japonés Honda, que recoge aproximadamente un 10% de los incidentes. Tesla es sin duda el fabricante con la flota más grande recorriendo las carreteras de EE. UU. con este tipo de tecnología, lo cual justifica esta diferencia en el número de incidentes. El Model 3 es el modelo de esta compañía que más incidentes reportados tiene, seguido del Model Y y el Model S, también posiblemente por ser este, en número, el orden de vehículos en circulación (Figura 10).

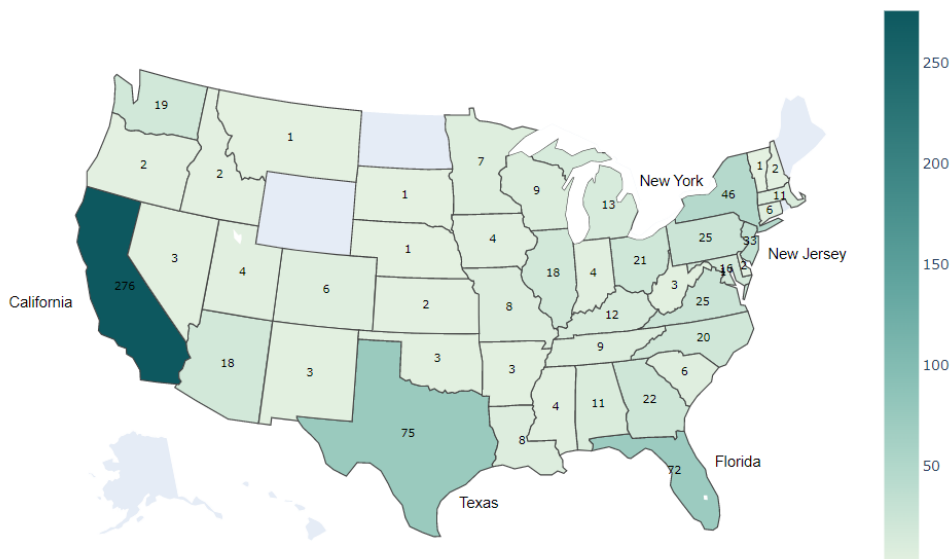
Figura 9: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por fabricante y modelo de vehículo



Fuente: Datos Incidentes ADAS Orden General NHTSA - Elaboración propia

En California se han producido prácticamente un tercio de los accidentes reportados, seguido de Texas y Florida, algunos de los estados pioneros en la adopción de este tipo de tecnologías para los automóviles (Figura 11).

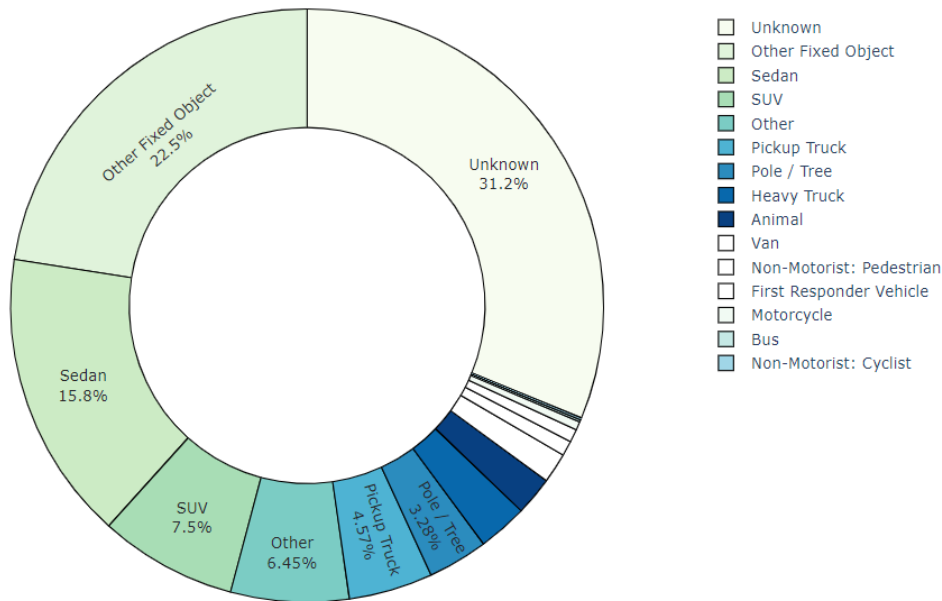
Figura 10: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por estados



Fuente: Datos Incidentes ADAS Orden General NHTSA - Elaboración propia

En relación con los objetos contra los que estos vehículos colisionaron, se observa que se desconoce en más del 30% de los casos, correspondiendo el 25% a objetos fijos, de los que un 3% de los choques se produce contra árboles, postes de luz y señales (Figura 12).

Figura 11: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por objeto involucrado en el choque

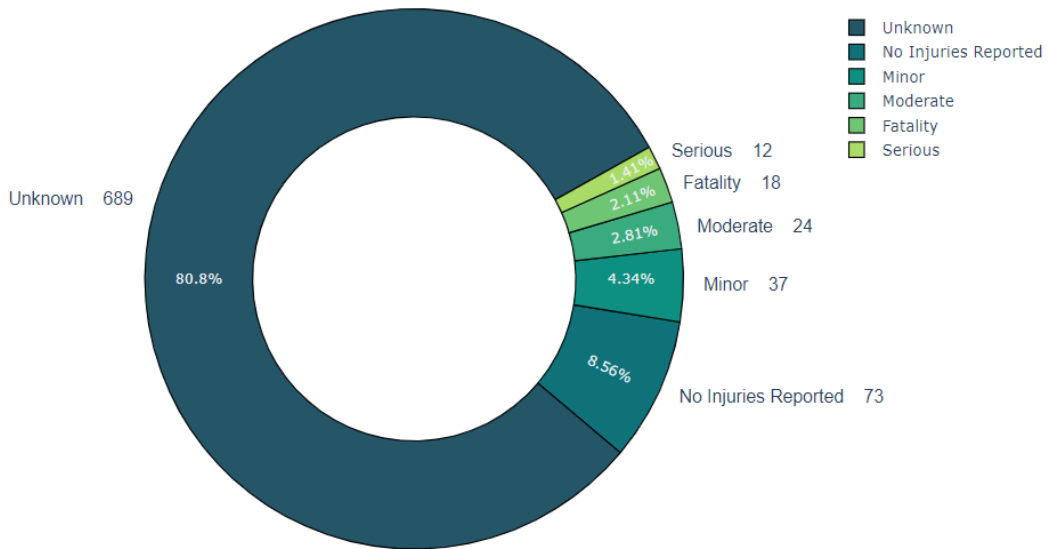


Fuente: Datos Incidentes ADAS Orden General NHTSA - Elaboración propia

Los daños producidos en los propios vehículos analizados se localizan en dos tercios del total en la parte frontal del vehículo. Por otro lado, más del 60% de los incidentes se produjeron cuando el vehículo en cuestión se dirigía recto, aunque hay un 20% de los casos en los que se desconoce el último movimiento antes de la colisión.

En aproximadamente un 80% de los accidentes reportados se desconoce la gravedad de las lesiones producidas, aunque posiblemente la gran mayoría estarían incluidos en los grupos de lesiones menores o en los que no se han informado lesiones. Por otro lado, en 30 casos se produjeron fallecimientos o lesiones graves (Figura 13).

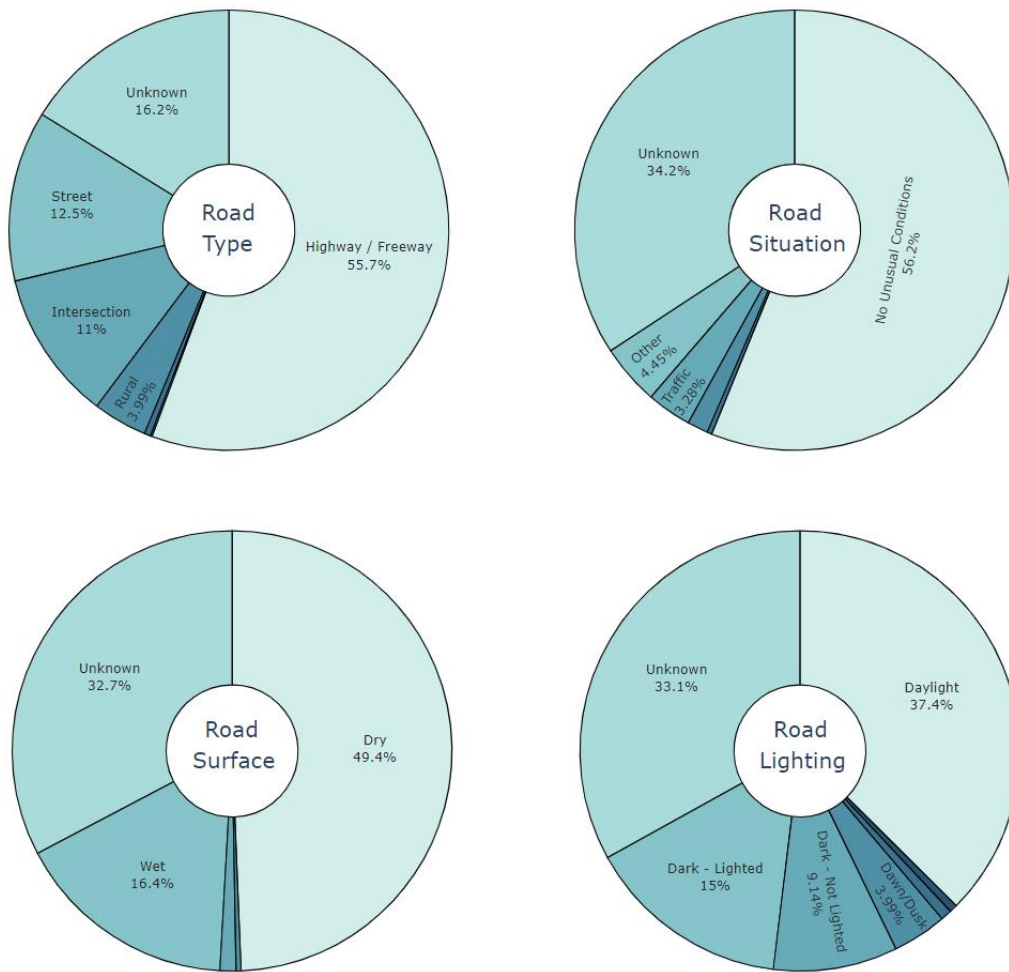
Figura 12: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por gravedad de lesiones



Fuente: Datos Incidentes ADAS Orden General NHTSA - Elaboración propia

Con respecto a las condiciones generales de las vías en las que se produjeron los accidentes, se puede observar cómo aproximadamente el 55% de los accidentes ocurrieron en carreteras o autopistas y cerca del 56% en condiciones normales de tránsito, es decir, sin tráfico o zonas de obra. Además, aproximadamente la mitad de los incidentes se produjeron en asfalto seco, ocurriendo más de un 16% en superficie mojada. Por último, en relación con la iluminación de la vía, más de la mitad se ocasionaron durante el día, o durante la noche pero con condiciones de iluminación óptimas, y alrededor de un 10% en escenarios sin iluminación. Nuevamente es importante destacar que en un considerable porcentaje de casos se carece de la información detallada para su clasificación y análisis, por lo que no es fácil ni fiable obtener conclusiones al respecto. (Figura 14).

Figura 13: Frecuencia de incidentes ADAS reportados por condiciones generales de la vía

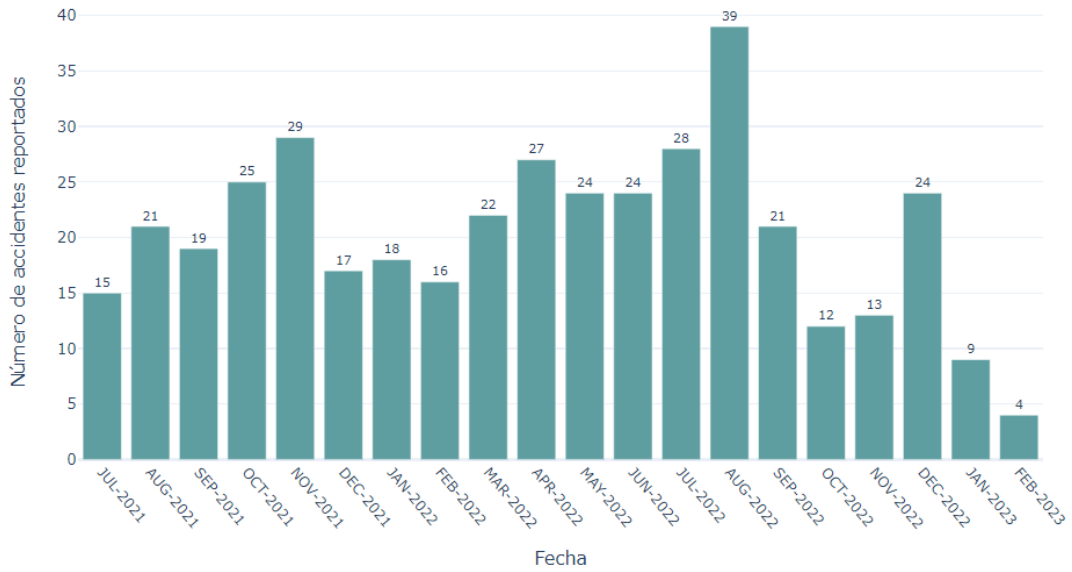


Fuente: Datos Incidentes ADAS Orden General NHTSA - Elaboración propia

Por otro lado, el conjunto de datos empleado para estudiar los incidentes reportados de vehículos ADS se compone de 550 observaciones, que pertenecen a 407 accidentes individuales. Como en los casos anteriores, se ha empleado la información de la última versión disponible para cada accidente. Cabe destacar que estos datos parecen estar más completos, debido a que la categoría “Unknown” representa un menor porcentaje en los análisis mostrados.

En la siguiente gráfica (Figura 15) se observa el número de accidentes reportados que se produjeron en cada mes y año, comenzando desde julio de 2021 hasta el día de hoy, con una media aproximada de 20 incidentes por mes.

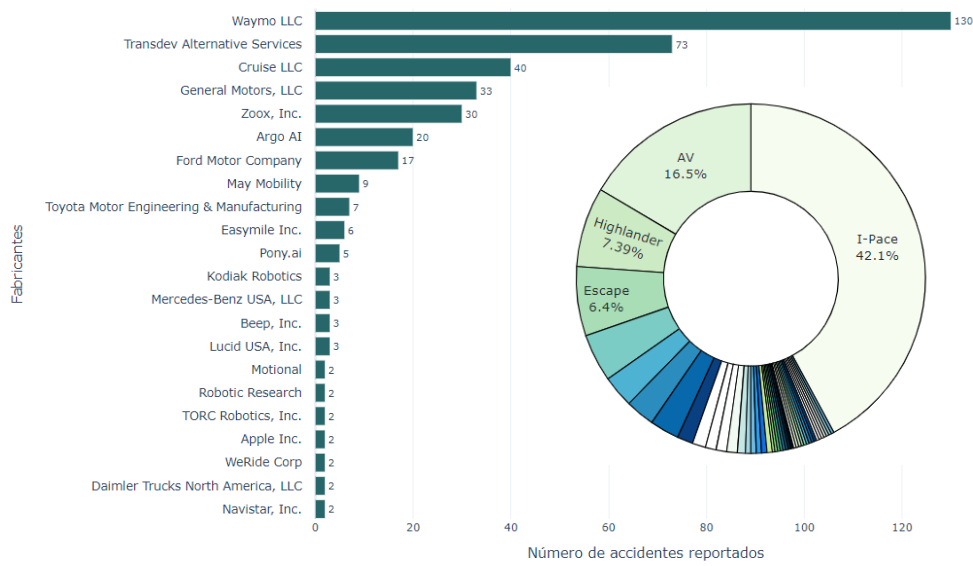
Figura 14: Frecuencia de incidentes ADS reportados por mes y año de ocurrencia



Fuente: Datos Incidentes ADS Orden General NHTSA - Elaboración propia

El desarrollador de vehículos autónomos Waymo, perteneciente al grupo empresarial Alphabet, lidera la lista del número de reportes de accidentes, acumulando aproximadamente un tercio de los casos. Por detrás, le siguen la compañía Transdev Alternative Services, que ofrece opciones de transporte autónomo compartido, y la empresa estadounidense de vehículos autónomos Cruise. El modelo I-Pace de Jaguar, que es el utilizado por Waymo y Transdev Alternative Services para desarrollar soluciones autónomas, ha reportado más de un 40% de los accidentes (Figura 16).

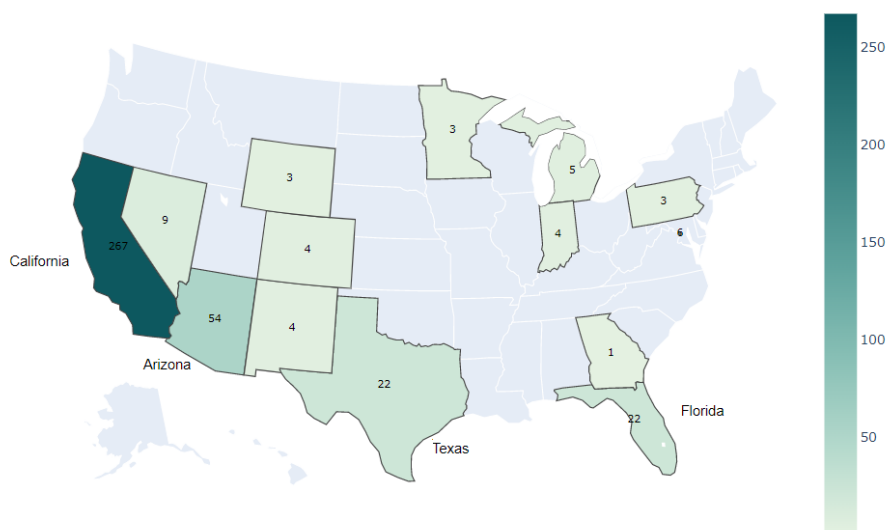
Figura 15: Frecuencia de incidentes ADS reportados por fabricante y modelo de vehículo



Fuente: Datos Incidentes ADS Orden General NHTSA - Elaboración propia

En relación con el número de incidentes reportados por cada estado, vuelve a ser California donde se han producido casi dos tercios de los accidentes reportados, seguido de Arizona, Texas y Florida (Figura 17). Resultado que parece indicar que son los estados con un mayor grado de utilización de automóviles con los niveles más altos de automatización.

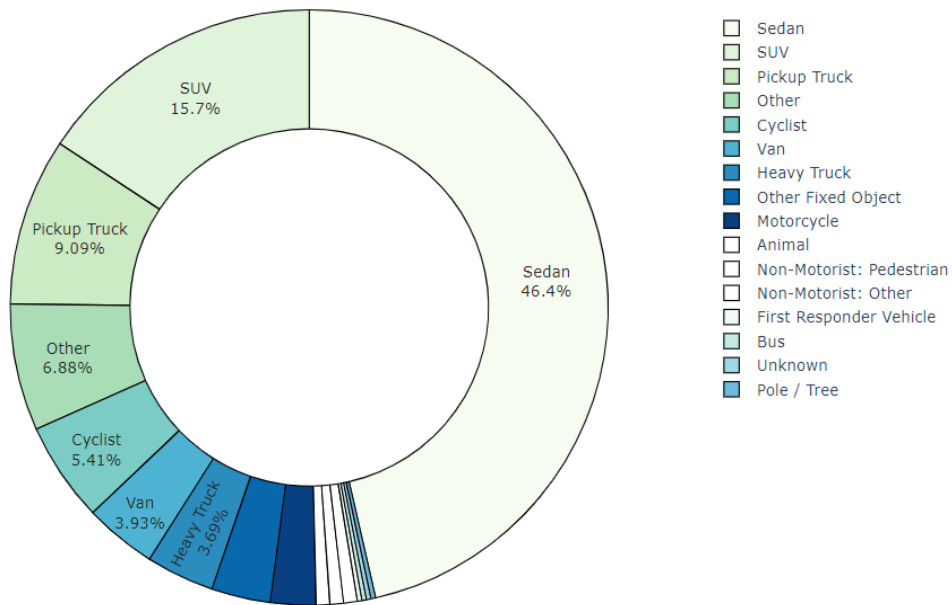
Figura 16: Frecuencia de incidentes ADS reportados por estados



Fuente: Datos Incidentes ADS Orden General NHTSA - Elaboración propia

La mayoría de los accidentes reportados, más de un 60%, se ocasionan contra vehículos de tipo sedan o SUV, mientras que alrededor de un 5% se producen contra ciclistas (Figura 18).

Figura 17: Frecuencia de incidentes ADS reportados por objeto involucrado en el choque

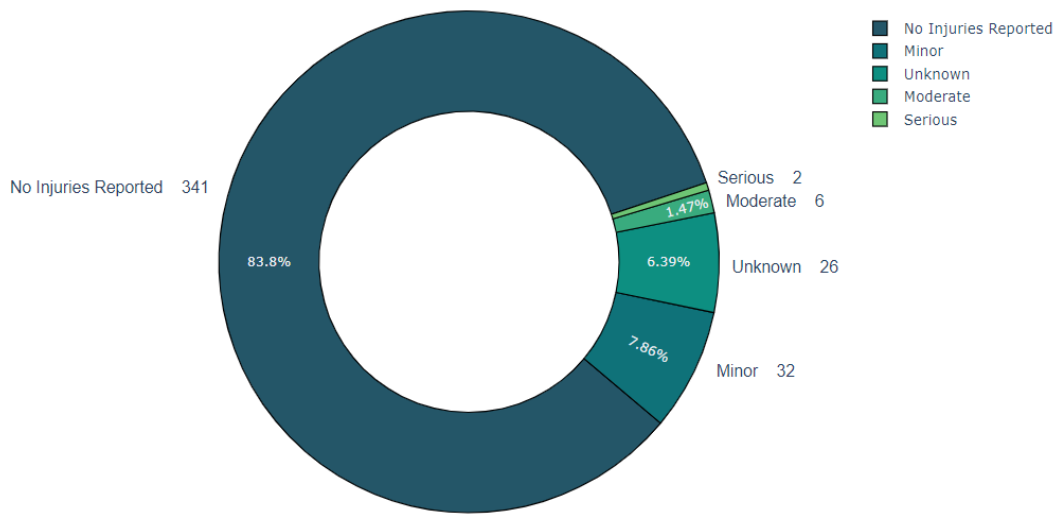


Fuente: Datos Incidentes ADS Orden General NHTSA - Elaboración propia

Los daños producidos en los propios vehículos analizados se localizan, en el 60% de los casos, en su parte trasera, mostrando una clara diferencia con lo visto en el caso de los vehículos ADAS. Por otro lado, más del 40% de los incidentes se produjeron cuando anteriormente el vehículo en cuestión estaba parado y otro tercio cuando se dirigía recto.

En lo relativo a los daños personales ocasionados por estos accidentes, más de un 90% de los casos no reportan lesiones o corresponden a lesiones menores. Además, no se han reportado fallecimientos, como si ocurría en los incidentes analizados empleando tecnología ADAS (Figura 19).

Figura 18: Frecuencia de incidentes ADS reportados por gravedad de lesiones



Fuente: Datos Incidentes ADS Orden General NHTSA - Elaboración propia

Por último, en lo que respecta a las condiciones generales de las vías en las que se produjeron los accidentes, se observa que el 45% se ocasionaron en intersecciones y un 40% en calles urbanas. Además, cabe destacar que el 5% de los incidentes reportados se produjeron en aparcamientos, posiblemente debido a fallos en el sistema de aparcamiento autónomo. Por otro lado, en más de un 90% de los casos, los accidentes se ocasionaron en situaciones normales de la vía, en superficie seca y con buena iluminación (Figura 20).

Figura 19: Frecuencia de incidentes ADS reportados por condiciones generales de la vía



Fuente: Datos Incidentes ADS Orden General NHTSA - Elaboración propia

4. Análisis de dilemas éticos

En esta parte final del trabajo se indagará acerca de la ética en el desarrollo de la conducción autónoma, analizando diferentes disyuntivas y tratando diversas cuestiones como la seguridad, la transparencia y la responsabilidad. Debido a la existencia de diferentes niveles de automatización en los vehículos, por simplicidad este análisis se centrará en el nivel superior (nivel 5 SAE), el vehículo completamente autónomo, aunque también se hará referencia a niveles inferiores. El objetivo es aportar distintas visiones para tratar de resolver preguntas complejas que se nos plantean en el avance de la conducción autónoma ¿Por qué queremos automatizar los vehículos?, ¿quién es el conductor en un vehículo autónomo?, ¿quién tiene la responsabilidad en los accidentes?, ¿es la ética importante en el desarrollo de la tecnología?, ¿qué dilemas éticos pueden surgir y como se pueden resolver?

Según los puntos 1 y 2 de la Comisión de Ética para la Conducción Automatizada y Conectada, presentada por el Ministerio Federal de Alemania para la Digitalización y el Transporte, la conducción parcial o totalmente automatizada principalmente tiene como objetivo aumentar la seguridad para todos los usuarios de la vía, *“la protección de los individuos prevalece sobre cualquier otra consideración utilitarista”*, por lo tanto el desarrollo de la conducción autónoma solamente será justificable en el único caso de que exista una reducción real del daño en comparación con la conducción humana (Federal Ministry for Digital and Transport, 2017, pág. 6).

La DGT define la figura del conductor como aquella persona que está a los mandos del vehículo y se encarga de manejar los mecanismos de conducción, recibiendo información de la vía y del entorno, para realizar las tareas básicas de percepción, previsión, decisión y acción. Así mismo, el conductor debe seguir una serie de principios como el de responsabilidad, que le obliga a cumplir con la normativa vial, evitar los peligros y asumir las consecuencias de sus acciones; el principio de confianza, pudiendo esperar que el resto de usuarios de la vía cumplan también las normas; el principio de seguridad y defensa, que se antepone en ocasiones con el anterior principio, obligando a prever un comportamiento fuera de norma y a actuar con prudencia para evitar daños; y por último, el principio de integridad personal, permitiendo al conductor actuar en contra del reglamento de circulación para evitar un mal mayor (DGT, 2014, págs. 7-11).

Ahora el problema surge cuando el conductor deja de ser el humano y este pasa a ser un pasajero más, ¿debe considerarse como conductor al sistema autónomo o simplemente se elimina la figura del conductor? A priori se puede considerar que el sistema inteligente realiza todas las tareas de la conducción, percibe, decide, actúa y, además, está programado para respetar las normas de circulación y evitar el mayor daño posible. En este caso la figura del conductor podría ser la máquina, ahora bien, es importante identificar que deberes, derechos y responsabilidades podría tener.

Un sistema autónomo, implementado en un vehículo, se encarga de detectar el entorno, planificar en función de los datos adquiridos y actuar en consecuencia para realizar las tareas simples y complejas de la conducción. El proceso comienza con el desarrollador del software, el programador se encarga de codificar los algoritmos inteligentes, seleccionar las bases de datos iniciales y darle las pautas para que el sistema pueda realizar el proceso de aprendizaje y la toma de decisiones. Este software es integrado en un vehículo acondicionado con sensores, cámaras y otros dispositivos de detección, listo para la distribución y venta por parte del fabricante, para llegar así al consumidor final que decidirá en qué circunstancias usarlo. Para localizar en qué etapa puede ocurrir un fallo cuando se produce un accidente y determinar quién o quiénes deben ser los sujetos responsables, es importante conocer quiénes y en qué grado han participado en la construcción del vehículo.

En un vehículo, con automatización de nivel 3 SAE, la responsabilidad en caso de accidente puede recaer sobre el conductor humano, ya que, aunque no se requiera una supervisión continua del sistema cuando esté activo, el conductor debe estar atento para responder ante una solicitud de intervención para tomar el control del vehículo. En estos casos en los que el sistema requiera una intervención y el conductor no responda ante esta solicitud, la responsabilidad sobre lo que pueda suceder podría ser atribuida en su totalidad a la persona. De la misma forma, si la persona responde ante la solicitud y toma el control del vehículo, las acciones que sucedan posteriormente pueden ser responsabilidad totalmente suya. En el caso de Elaine Herzberg, el operador del vehículo fue acusado de homicidio y Uber, por el momento, ha conseguido librarse de cualquier acusación, aunque es cierto que este caso es más complicado ya que se trataban de unas pruebas y el operador debía estar monitorizando los sistemas y plenamente atento a vía para poder actuar en caso de imprevisto. La cuestión se complica cuando se produce un incidente estando el sistema autónomo activado y este no ha solicitado la toma de control

por parte del conductor. En este caso el conductor podría ser responsable de no haber solicitado el control de forma inmediata y podría responder ante los daños del accidente, pero también es justo pensar que el sistema ha podido cometer un error y debería pagar por ello. Es lógico pensar que la IA no puede responder como lo haría un humano, por lo menos penalmente, por los perjuicios ocasionados, pero la responsabilidad podría recaer sobre el fabricante o el desarrollador del software. Aun así, considero que la responsabilidad no debería ser única en la mayoría de los casos, debe ser compartida en función de los defectos atribuidos a cada uno de los involucrados. Estas cuestiones deben ser legisladas minuciosamente, apoyándose en estudios sociales y éticos, y con el paso del tiempo se podrá ir creando jurisprudencia para la resolución de casos futuros.

En el caso de niveles superiores de automatización, cada vez parece más complicado atribuir responsabilidad al conductor humano. En el nivel 4 SAE cuando el sistema está activo realizando todas las tareas de conducción, el conductor ni siquiera puede decidir cuándo tomar el control y no tiene la obligación de responder ante las solicitudes de intervención. Sin embargo, el sistema autónomo solo estará disponible en ciertas rutas y situaciones específicas, por lo que el conductor humano puede tener el control en algunos recorridos, asumiendo totalmente la responsabilidad de sus acciones. Si avanzamos al nivel superior, el vehículo es completamente autónomo de manera que no dispone de mandos para que una persona maneje el vehículo. En el vehículo completamente autónomo se pretende incorporar un sistema de frenado de emergencia accionado por el humano, pero surgen ciertas dudas al respecto, ¿cómo de atenta debe de estar la persona para accionarlo?, ¿en qué casos debe de hacerlo?, ¿qué conocimientos debería tener la persona para actuar en estos casos de emergencia? Las dos primeras preguntas son más complejas de responder, pero parece obvio que el humano no conductor debe tener por lo menos algunos conocimientos básicos para actuar con seguridad en estos casos planteados, por lo que probablemente necesitará alguna certificación que así lo valide. Salvo la responsabilidad que la persona pueda tener en la activación de este freno de emergencia, debería estar prácticamente exenta de responsabilidad en lo relativo a la conducción, pero siendo el propietario no conductor el que decide en qué condiciones y rutas activar el sistema autónomo ¿debería tener alguna responsabilidad por introducir en la vía un vehículo que ha causado un accidente? De nuevo, como ocurría en el nivel 3 SAE, la responsabilidad debe ser compartida entre los involucrados en el funcionamiento del vehículo autónomo, determinando donde se ha producido el fallo en caso de accidente

para localizar a los culpables. Quizá la responsabilidad asumida por el propietario no conductor debería ser la mínima.

Otra cuestión distinta sucede cuando el producto no tiene ningún defecto ni de fabricación ni de desarrollo del software inteligente, simplemente el algoritmo ha tomado una decisión equivocada o controvertida. En este punto se hace complicado determinar los motivos por los que el algoritmo ha tomado una decisión y entender su razonamiento lógico. La CE a través de su Libro Blanco sobre la Inteligencia Artificial muestra su preocupación por esta opacidad o falta de explicación, que puede complicar la aplicación e interpretación de la legislación, pudiéndose solventar mediante requisitos de transparencia (CE, 2020, págs. 12-19).

Como expresa el punto 5 de la de la Comisión de Ética para la Conducción Automatizada y Conectada, *“la tecnología automatizada y conectada debería evitar accidentes siempre que sea prácticamente posible. Basándose en el estado del arte, la tecnología debe diseñarse de tal manera que las situaciones críticas no surjan en primer lugar. Entre ellas se incluyen las situaciones dilemáticas, es decir, aquellas en las que un vehículo automatizado tiene que necesariamente “decidir” cuál de dos males tiene que ocasionar”* (Federal Ministry for Digital and Transport, 2017, pág. 6). Los casos en los que ocurrirán dilemas de este tipo, sobre todo si se trata de decidir entre la vida de las personas, serán los mínimos, pero es importante analizar los posibles escenarios para obtener procedimientos de actuación que sean lo más éticos posibles. Determinar cuál es la estrategia a seguir para resolver estos dilemas éticos no es una tarea sencilla, ya que existen multitud de opiniones contrarias y maneras de pensar dispares, más si se mezclan diferentes países y culturas. Es inevitable que sucesos de este tipo vayan a generar gran controversia, por ello es necesario estudiar en profundidad los casos para crear un marco ético comúnmente aceptado. No obstante, surge la duda de quiénes van a ser los responsables de determinar dichas pautas que van a ser enseñadas a los sistemas inteligentes. Por un lado, los expertos en ética, filosofía y sociología tienen un papel fundamental en este aspecto, pero ¿no deberíamos también todos, conductores, viandantes, ciclistas y demás participantes de la vía pública, poder opinar en cierta medida sobre las decisiones que pueden tomar dichos sistemas?

Muchos estudios acerca de estos dilemas éticos comienzan explicando el dilema del tranvía, para entender el alcance y dificultad de estas decisiones. Este experimento ético,

que fue propuesto por Philippa Foot y estudiado posteriormente por distintos expertos, plantea si debemos accionar un botón para desviar el tren y atropellar únicamente a una persona, mientras que si no lo hacemos y el tren sigue su camino morirán cinco personas. En un principio se podría pensar que accionando el botón se causaría un mal menor, ya que en lugar de morir cinco personas solo muere una, pero esta es una visión completamente utilitarista y hay más variables que considerar. En este caso, la diferencia fundamental se encuentra entre realizar una acción para salvar la vida de cinco personas frente a una (accionar el botón) y omitir la acción dejando que el mal ocurra (no accionar el botón). En las disyuntivas relacionadas con la conducción autónoma ocurre lo mismo, hay muchos criterios que se pueden adoptar y diferentes comportamientos que priorizar. A modo de observar las diferentes maneras de resolver un dilema planteado y establecer un orden de prioridades para tomar decisiones, pero no con el fin de aportar soluciones claras dada la complejidad, se plantea una serie de problemas que pueden llegar a ocurrir.

¿Qué debería hacer un vehículo autónomo si tiene que saltarse las normas viales o provocar un accidente que puede causar la muerte de personas?

Desde la perspectiva deontológica de Kant, el cumplimiento de las reglas establecidas es una máxima, sin importar en muchas ocasiones las consecuencias, por tanto, en la conducción autónoma se deberían respetar por encima de todo las leyes de circulación. Esta visión probablemente no es aplicable en el caso de tratarse de la vida de una persona: la conducción autónoma trata de evitar el mayor daño posible al ser humano, por lo que estaría justificado saltarse una norma de tráfico para evitar la muerte de una persona. Además, según el principio de integridad personal para los conductores, comentado anteriormente, sería posible actuar en contra de los reglamentos para causar un menor daño.

¿Qué debería hacer un vehículo autónomo si tiene que elegir entre atropellar a un animal o a una persona?

Podríamos pensar que la vida humana está por encima de la vida de un animal, siendo las personas un valor absoluto que no puede utilizarse como un medio, al contrario que

los animales. Es cierto, que el dolor causado a un animal injustificado podría no ser moralmente correcto, pero en este caso se trata de la vida de una persona. Además, según indica el punto 7 de la de la Comisión de Ética para la Conducción Automatizada y Conectada, la máxima prioridad debe ser el ser humano y en situaciones inevitables se podría aceptar el daño a un animal o a la propiedad, si esto puede prevenir un mal para la persona (Federal Ministry for Digital and Transport, 2017, pág. 6).

¿Qué debería hacer un vehículo autónomo si tiene que evitar un accidente o atropellar a una persona que incumple las normas de tráfico?

Esta disyuntiva es compleja, por un lado, probablemente causaría la muerte a una persona que está incumpliendo las normas viales, por lo que podría justificarse que otras personas no sufrieran daños por culpa de una persona que está infringiendo el reglamento. Por otro lado, es importante considerar la gravedad del accidente y las probabilidades que hay de ello, tarea que puede realizar el sistema en cuestión de milésimas de segundo. En el caso de que los daños del accidente sean leves quizá es justificado provocar el accidente, para evitar un mal mayor, aunque se haya producido por un incumplimiento de las normas. El principio de seguridad y defensa de un conductor asume que pueden existir comportamientos fuera de la norma y que se debe actuar con prudencia para evitar un daño y más si es daño considerablemente mayor. Sin embargo, si el daño del accidente puede ser mayor se podría emplear la perspectiva utilitarista, que maximiza el bienestar general reduciendo el número de lesiones personales, como así lo defiende el punto 9 de la Comisión de Ética para la Conducción Automatizada y Conectada. Aunque el incumplimiento de la normativa conlleva unas responsabilidades posteriores, que en algunos casos podrían no ser leves. De nuevo, puede ser importante considerar en términos generales la gravedad de las lesiones y sus probabilidades.

¿Qué debería hacer un vehículo autónomo si tiene que elegir entre atropellar a una persona o atropellar a más de una persona?

Decidir sobre quién debe morir es posible que no esté considerado moralmente correcto, aunque en este caso puede estar justificado tomar una perspectiva utilitarista

para reducir el daño global ocasionado. Nuevamente, deben estar consideradas otras variables como la gravedad del daño y las probabilidades existentes en cada caso.

¿Qué debería hacer un vehículo autónomo si tiene que elegir entre atropellar a un niño o a un anciano?

Es cierto que un niño tiene toda la vida por delante y que un anciano ya ha vivido muchas experiencias y su esperanza de vida probablemente sea menor, pero las distinciones entre la edad, el sexo, la constitución física o psíquica y la condición social o económica entre otros aspectos, no deben determinar la decisión tomada. Las personas no deben tener un valor, simplemente son personas, podría considerarse una total injusticia. A priori la IA no debe decidir aleatoriamente el resultado de un suceso de este tipo, sino que debe tomar una decisión en base a un conjunto de variables con el objetivo de reducir el daño que pueda ocasionar.

¿Qué debería hacer un vehículo autónomo si tiene que elegir entre priorizar la vida de un pasajero del vehículo o la de un peatón?

El peatón pertenece al grupo más vulnerable dentro de la circulación vial, por tanto, es posible que el vehículo pueda resistir mejor un accidente y ocasionar lesiones más leves. Pero ¿estaría dispuesto una persona a adquirir y utilizar un vehículo que priorizará la vida de otras personas frente a la suya como pasajero? Posiblemente el conocimiento de esto provocaría algo de rechazo, por el individualismo general, aunque se trata de una cuestión de probabilidades y reducción del daño.

Estas mismas casuísticas se pueden plantear con un grado mayor de complejidad, mezclando los distintos elementos a tener en cuenta para la determinación, como propone la plataforma online desarrollada por el grupo de Cooperación Escalable de Iyad Rahwan en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Esta plataforma tiene como objetivo hacer una recopilación de la perspectiva humana acerca de las decisiones morales que se toman por la IA, en especial por los vehículos autónomos. Edmond Awad, un colaborador del proyecto, indica que *“este sitio web también ha sido una valiosa herramienta de*

recopilación de datos, que nos ha permitido reunir el mayor conjunto de datos sobre ética de la IA jamás recogido” (Awad, 2017).

Continuar con el estudio de estos dilemas éticos mencionados es importante, aunque en principio ocurrirán en escasas ocasiones, dado que los algoritmos estarán programados para evitar todo este tipo de sucesos y llegar a un riesgo mínimo con anterioridad. El establecimiento de un marco ético general es fundamental para un desarrollo seguro de la tecnología. AI4People, el primer foro europeo creado para sentar las bases de una sociedad justa de la IA y analizar su impacto global, ofrece un marco basado en unos principios básicos: beneficencia, que requiere que la tecnología autónoma esté al servicio de las personas para contribuir positivamente y mejorar el bienestar social actual y de las generaciones futuras; no maleficencia, que pretende evitar los daños posibles para proteger a las personas frente a la tecnología y frenar su desarrollo cuando el balance no sea positivo; autonomía personal, observando a las personas como agentes libres morales para permitirles establecer sus estándares y propósitos frente a la tecnología, primando su capacidad para decidir; justicia, que exige una distribución de los beneficios lo más igualitaria posible, mejorando el acceso a la tecnología; y, por último, explicabilidad y rendición de cuentas, para que los afectados por la tecnología dispongan de explicaciones de las decisiones tomadas dada una transparencia íntegra de los algoritmos (Cortina, 2019, págs. 388-391).

Es un hecho que en el futuro los vehículos autónomos formarán parte de nuestro día a día. Esta tecnología traerá grandes beneficios, pero para alcanzarlos es preciso enfrentarse y resolver diversos retos. La clave del éxito para conseguir un desarrollo seguro de la conducción autónoma reside en las investigaciones y estudios cuyo objetivo es establecer las consideraciones éticas y sociales que la tecnología implica. Debemos hacernos la siguiente pregunta, ¿queremos que la IA nos sirva de herramienta para avanzar y mejorar como sociedad o dejaremos que se vuelva en nuestra contra?

5. Conclusiones

En los últimos años, la evolución de la tecnología de la IA está avanzando a una velocidad muy notoria, haciendo realidad la conducción cada vez más automatizada. Se ha producido un cambio radical en el desarrollo de las prestaciones, servicios y posibilidades de la tecnología aplicada a la conducción autónoma. Considerando el actual progreso, se prevé a corto plazo la presencia de todo tipo de transportes autónomos en nuestras ciudades, tanto en el sector privado como en el público.

Uno de los principales problemas surge cuando la tecnología y la legislación no van de la mano, quedándose atrás la implantación de las normas que deberían regular el uso de la tecnología. De hecho, este tipo de avances tecnológicos requiere un cambio en la sociedad, la cual no es capaz de evolucionar al ritmo necesario, llevándonos a un punto de muy difícil gestión. Precisamente hay una corriente generalizada de tecnólogos, investigadores e incluso fabricantes de la propia tecnología que piden la ralentización de los proyectos, llegando incluso a propuestas claras como la carta encabezada por Elon Musk, en la cual se pide que se deje de desarrollar e investigar los sistemas de IA durante al menos seis meses. Exactamente el motivo reside en las problemáticas y controversias morales que puede haber alrededor de un uso generalizado de la tecnología, por lo que la sociedad necesita tiempo para asimilarlo y precisamente los jueces y la legislación en general tiene que dar un paso adelante y regular dicha tecnología, antes de que sea una realidad masiva en las calles.

Por último, cabe plantear algunas de las limitaciones de esta investigación. En primer lugar, la escasez de fuentes de datos empleadas como punto de partida para el análisis de los dilemas éticos, haciendo referencia fundamentalmente a los casos judiciales y reglamentarios. Y por otro lado, dado que la industria de la automatización vehicular es relativamente reciente, existe una falta de precisión en la definición de los conceptos que engloba.

6. Bibliografía

- ACEA. (4 de Abril de 2022). *Patents for self-driving vehicles*. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.acea.auto/figure/patents-for-self-driving-vehicles/>
- Awad, E. (2017). *Moral Machine: Perception of Moral Judgment Made by Machines (Master's Thesis)*. MIT Media Lab. Recuperado el 13 de Abril de 2023, de <https://www.media.mit.edu/publications/moral-machine-perception-of-moral-judgment-made-by-machines/>
- Browne, B. A. (2017). Self-Driving Cars: On the Road to a New Regulatory Era. *Technology & the Internet, VIII*. Recuperado el 3 de Abril de 2023, de <https://scholarlycommons.law.case.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1104&context=jolti>
- Cadena de Suministro. (19 de Diciembre de 2019). La conducción autónoma cambiará nuestras vidas a mejor. Recuperado el 29 de Enero de 2023, de <https://www.cadenadesuministro.es/noticias/la-conduccion-autonoma-cambiara-nuestras-vidas-a-mejor/>
- CARA European Cluster for Mobility Solutions. (9 de Junio de 2021). Mobility Orientation Law. Recuperado el 5 de Abril de 2023, de <https://www.cara.eu/en/mobility-orientation-law/?cn-reloaded=1>
- CE. (2020). *Libro Blanco sobre la Inteligencia Artificial - Un Enfoque Europeo orientado a la Excelencia y la Confianza*. Bruselas. Recuperado el 12 de Abril de 2023, de https://commission.europa.eu/system/files/2020-03/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_es.pdf
- Czech, P., Turon, K., & Barcik, J. (2018). Autonomous Vehicles: Basic Issues. *Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport*(100), 15-22. doi:<https://doi.org/10.20858/sjsutst.2018.100.2>
- Deloitte. (2023). *2023 Global Automotive Consumer Study, Key findings: Global focus countries*. Recuperado el 20 de Febrero de 2023, de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/manufacturing/Deloitte-GACS-2023-Global.pdf>

- Dentons. (2022). *Global Guide to Autonomous Vehicles*. Recuperado el 3 de Abril de 2023, de <https://www.thedriverlesscommute.com/wp-content/uploads/2022/06/Global-Guide-to-Autonomous-Vehicles-2022.pdf>
- Department for Transport. (2013). *Action for Roads - A network for the 21st century*. Recuperado el 6 de Abril de 2023, de https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/212590/action-for-roads.pdf
- Department for Transport. (19 de Octubre de 2021). *Automated and Electric Vehicles Act 2018 regulatory report*. Recuperado el 6 de Abril de 2023, de <https://www.gov.uk/government/publications/automated-and-electric-vehicle-act-report/automated-and-electric-vehicles-act-2018-regulatory-report#:~:text=The%20Automated%20and%20Electric%20Vehicle,right%20across%20in%20the%20UK.>
- DGT. (2014). *Los Conductores - Principios Fundamentales del Tráfico*. Recuperado el 12 de Abril de 2023, de https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/educacion-vial/adultos/no-formal/conductores.pdf
- DGT. (2015). *Instrucción 15/V-113. Autorización de pruebas o ensayos de investigación realizados con vehículos de conducción automatizada en vías abiertas al tráfico en general*. Recuperado el 2 de Febrero de 2023, de <https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/muevete-conseguridad/normas-de-trafico/VEH-vehiculos/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf>
- European Commission. (2022). *New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU*. Brussels. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4312
- Federal Ministry for Digital and Transport. (2017). *Ethics Commission - Automated and Connected Driving*. Recuperado el 11 de Abril de 2023, de https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/publications/report-ethics-commission-automated-and-connected-driving.pdf?__blob=publicationFile
- Fukunaga, S. (2022). *METI's effort to realizing autonomous driving*. Recuperado el 7 de Abril de 2023, de https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2022/file/jg/JG_5.pdf

- Fundación Ibercaja, Grant Thornton & Mobility City. (2019). *Movilidad en transición: disrupción e impacto*. Observatorio de la Movilidad Sostenible de España. Recuperado el 29 de Enero de 2023, de <https://www.grantthornton.es/globalassets/1.-member-firms/spain/insights/automocion/i-observatorio-de-movilidad-sostenible-20190527.pdf>
- Garger, K. (18 de Enero de 2022). Tesla driver first to be charged in fatal crash involving Autopilot. *New York Post*. Recuperado el 7 de Abril de 2023, de <https://nypost.com/2022/01/18/tesla-driver-first-to-be-charged-in-fatal-crash-involving-autopilot/>
- Gibbs, J. (14 de Febrero de 2022). *Confused.com*. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.confused.com/car-insurance/av-readiness#1>
- Gouvernement français. (2020). *The French strategy for the development of automated road mobility 2020-2022*. Recuperado el 6 de Abril de 2023, de https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20171_strategie-nationale-vehicule%20automatise_eng_web.pdf
- Imai, T. (2019). *Legal regulation of autonomous driving technology: Current conditions and issues in Japan*. Recuperado el 7 de Abril de 2023, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111219301591?via%3Dihub#bb0015>
- Korosec, K. (2022). Ford, VW-backed Argo AI is shutting down. *TechCrunch*. Recuperado el 13 de Febrero de 2023, de https://techcrunch.com/2022/10/26/ford-vw-backed-argo-ai-is-shutting-down/?guccounter=2&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cubW90b3JwYXNpb24uY29tLw&guce_referrer_sig=AQAAAEhEVnsbRa7CYWdpxAgE491pSK8RAVwId9kjuMyk8ZAMtS7354_-NZYISn-uwGzPSeh3n40YgF0iUTw2UEjF9kWXqeJ
- KPMG International. (2020). *2020 Autonomous Vehicles Readiness Index*. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2020/07/2020-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf>

- Litman, T. (2023). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*. Victoria Transport Policy Institute. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.vtppi.org/avip.pdf>
- Mahendra, S. (7 de Febrero de 2023). AI and Autonomous Driving. *Artificial Intelligence Plus*. Recuperado el 3 de Abril de 2023, de <https://www.aiplusinfo.com/blog/ai-and-autonomous-driving/>
- Malterer, M. (19 de Abril de 2022). Germany completes legal framework for autonomous driving | Federal Cabinet approves new ordinance. *Driverless Commute*. Recuperado el 6 de Abril de 2023, de https://www.thedriverlesscommute.com/germany-completes-legal-framework-for-autonomous-driving/#_ftn1
- Maricopa County Attorney's Office. (2020). *Grand Jury Indictment Returned on Rafael (aka Rafaela) Vasquez*. Recuperado el 8 de Abril de 2023, de <https://www.maricopacountyattorney.org/civicalerts.aspx?aid=751>
- Mayer Brown. (2022). *New regulations to govern driverless cars in the UK*. Recuperado el 6 de Abril de 2023, de <https://www.mayerbrown.com/en/perspectives-events/publications/2022/03/new-regulations-to-govern-driverless-cars-in-the-uk>
- McKinsey & Company. (2017). *Artificial Intelligence - The next digital frontier?* McKinsey Global Institute. Recuperado el 2 de Abril de 2023, de https://www.mckinsey.com/~/_/media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20value%20to%20companies/MGI-Artificial-Intelligence-Discussion-paper.ashx
- McKinsey & Company. (2023). *Autonomous driving's future: Convenient and connected*. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-drivings-future-convenient-and-connected#/>
- Navarro-Michel, M. (2020). *Vehículos Automatizados y Responsabilidad por Producto Defectuoso*. Revista de Derecho Civil. Recuperado el 12 de Abril de 2023, de <https://www.nreg.es/ojs/index.php/RDC/article/download/572/490>

- NCSL. (2020). *Autonomous Vehicles / Self-Driving Vehicles Enacted Legislation*. Recuperado el 3 de Abril de 2023, de <https://www.ncsl.org/transportation/autonomous-vehicles#toggleContent-12031>
- Next Move Strategy Consulting. (2023). *Autonomous Vehicle Market by Level of Automation, by Propulsion Type, by Movility, and by Component - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast 2022-2030*. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.nextmsc.com/report/autonomous-vehicle-market>
- NHTSA. (2023a). *Data Element Definitions & Log*. Recuperado el 9 de Abril de 2023, de https://static.nhtsa.gov/odi/ffdd/sgo-2021-01/SGO-2021-01_Data_Element_Definitions.pdf
- NHTSA. (2023b). *Standing General Order on Crash Reporting - For incidents involving ADS and Level 2 ADAS*. Recuperado el 9 de Abril de 2023, de <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/standing-general-order-crash-reporting#data>
- NHTSA. (s.f.). *Vehículos Automatizados para Mayor Seguridad*. Recuperado el 3 de Febrero de 2023, de <https://www.nhtsa.gov/es/tecnologia-e-innovacion/vehiculos-automatizados-para-mayor-seguridad#recursos>
- NTBS. (2019). *Preliminary Report Highway HWY18MH010*. Recuperado el 8 de Abril de 2023, de <https://web.archive.org/web/20190831200841/https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf>
- Cortina, A. (2019). *Ética de la Inteligencia Artificial*. Agencia Estatal BOE. Recuperado el 13 de Abril de 2023, de https://www.boe.es/biblioteca_juridica/anuarios_derecho/abrir_pdf.php?id=ANU-M-2019-10037900394
- Parlamento Europeo & TRAN. (2018). *Informe sobre la Conducción Autónoma en los Transportes Europeos (2018/2089(INI))*. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2018-0425_ES.pdf
- Randazzo, R. (3 de Junio de 2022). Driver in fatal Uber crash rejects plea deal; death in Tempe was 1st in nation for self-driving vehicle. *The Arizona Republic*.

- Recuperado el 9 de Abril de 2023, de <https://eu.azcentral.com/story/money/business/tech/2022/06/03/rafaela-vasquez-driver-fatal-semiautonomous-uber-crash-tempe-rejects-plea-deal/7501853001/>
- Raposo, M. A., Ciuffo, B., Makridis, M., & Thiel, C. (2017). *The r-evolution of driving: from Connected Vehicles to Coordinated Automated Road Transport (C-ART), Part I: Framework for a safe & efficient Coordinated Automated Road Transport (C-ART) system*. Joint Research Centre. doi:10.2760/225671
- Reuters. (3 de Noviembre de 2022). Tesla Autopilot manslaughter trial set to begin for LA crash that killed couple on first date. *New York Post*. Recuperado el 7 de Abril de 2023, de <https://nypost.com/2022/11/03/los-angeles-tesla-autopilot-manslaughter-trial-date-set/>
- Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M. J., Khreis, H., & Frumkin, H. (2020). *Autonomous Vehicles and Public Health*. Annual Review of Public Health. Recuperado el 10 de Abril de 2023, de <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-publhealth-040119-094035>
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial - 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Alienta Editorial. Recuperado el 2 de Abril de 2023, de https://www.planetadelibros.com/libros_contenido_extra/40/39307_Inteligencia_artificial.pdf
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia Artificial - Un Enfoque Moderno*. Pearson. Recuperado el 2 de Abril de 2023, de <https://luismejias21.files.wordpress.com/2017/09/inteligencia-artificial-un-enfoque-moderno-stuart-j-russell.pdf>
- SAE International. (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016_202104)*. Recuperado el 3 de Febrero de 2023, de https://saemobilus.sae.org/content/j3016_202104
- Select Car Leasing. (30 de Marzo de 2022). *Ranked: the most driverless car-ready countries*. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.selectcarleasing.co.uk/news/article/which-countries-are-driverless-car-ready>

Seymour, T. (2018). Crash repair market to reduce by 17% by 2030 due to advanced driver systems, says ICDP. *Automotive Management Online*. Recuperado el 20 de Febrero de 2023, de <https://www.am-online.com/news/aftersales/2018/07/03/crash-repair-market-to-reduce-by-17-by-2030-due-to-advanced-driver-systems-says-icdp#:~:text=systems%2C%20says%20ICDP-,Crash%20repair%20market%20to%20reduce%20by%2017%25%20by%202030%20due,advanced%20dri>

Shepardson, D. (5 de Marzo de 2019). Uber not criminally liable in fatal 2018 Arizona self-driving crash: prosecutors. *Reuters*. Recuperado el 8 de Abril de 2023, de <https://www.reuters.com/article/us-uber-crash-autonomous-idUSKCN1QM2O8>

Singh, S. (2018). *Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*. Washington, DC: DOT HS 812 506. Recuperado el 18 de Febrero de 2023, de <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/812506>

Stern, R. (21 de Junio de 2018). Self-Driving Uber Crash 'Avoidable,' Driver's Phone Playing Video Before Woman Struck. *Phoenix New Times*. Recuperado el 8 de Abril de 2023, de <https://www.phoenixnewtimes.com/news/self-driving-uber-crash-avoidable-drivers-phone-playing-video-before-woman-struck-10543284>

Traton. (2022). *Advanced legal framework in the EU: Driverless through Europe*. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de <https://traton.com/en/innovation-hub/legal-framework-in-the-eu-driverless-through-europe.html>

TÜV SÜD. (2020). *Automated driving requires international regulations - A look at the current state of developments*. Páginas 4-5. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de <https://www.tuvsud.com/en/-/media/global/pdf-files/whitepaper-report-e-books/tuvsud-whitepaper-had-regulation.pdf>

UniCourt. (2023). *Maria Luz Nieves vs Kevin George Aziz Riad, et al*. Recuperado el 7 de Abril de 2023, de <https://unicourt.com/case/ca-la23-maria-luz-nieves-vs-kevin-george-aziz-riad-et-al-517037#party-details>

Unión Europea. *Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de julio de 2010, por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y*

para las interfaces con otros modos de transporte. Diario Oficial de la Unión Europea L 207/1, 6 de agosto de 2010. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0040&from=CS>

Unión Europea. *Reglamento (UE) 2019/2144 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de noviembre de 2019, relativo a los requisitos de homologación de tipo de vehículos de motor y de sus remolques, así como de los sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a esos vehículos, en lo que respecta a su seguridad general y a la protección de los ocupantes de los vehículos y de los usuarios vulnerables de la vía pública.* Diario Oficial de la Unión Europea, L 325/1, 16 de diciembre de 2019. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144&from=EN>

Unión Europea. *Resolución del Parlamento Europeo, de 13 de marzo de 2018, sobre una estrategia europea sobre los sistemas de transporte inteligentes cooperativos (2017/2067(INI)).* Diario Oficial de la Unión Europea C 162/2, 10 de mayo de 2019. Recuperado el 4 de Abril de 2023, de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018IP0063&from=ES>

World Health Organization. (2018). *Global Status Report On Road Safety.* Recuperado el 18 de Febrero de 2023, de <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/Publication/812506>

Wunsch, N.-G. (23 de Junio de 2022). *Largest patent owners in autonomous driving worldwide from 2012 to 2021, by number of active patent families.* Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de Statista: <https://www.statista.com/statistics/1016110/worldwide-autonomous-driving-patent-owners-trend/>

Anexos

Anexo 1. Código del análisis elaborado en Python empleando los datos públicos de la Orden General propuesta por la NHTSA

```
# Importar librerías
import pandas as pd
import plotly.express as px
import plotly.graph_objects as go
from plotly.subplots import make_subplots

# Configuración general
pd.options.display.max_columns = None

# Descarga de datos
reports_ADAS=pd.read_csv('SGO-2021-01_Incident_Reports_ADAS.csv')
reports_ADS=pd.read_csv('SGO-2021-01_Incident_Reports_ADS.csv')

# Creación de variables útiles
list_dates=['JAN-2019', 'FEB-2019', 'MAR-2019', 'APR-2019', 'MAY-2019',
'JUN-2019', 'JUL-2019', 'AUG-2019', 'SEP-2019', 'OCT-2019', 'NOV-2019',
'DEC-2019', 'JAN-2020', 'FEB-2020', 'MAR-2020', 'APR-2020', 'MAY-2020',
'JUN-2020', 'JUL-2020', 'AUG-2020', 'SEP-2020', 'OCT-2020', 'NOV-2020',
'DEC-2020', 'JAN-2021', 'FEB-2021', 'MAR-2021', 'APR-2021', 'MAY-2021',
'JUN-2021', 'JUL-2021', 'AUG-2021', 'SEP-2021', 'OCT-2021', 'NOV-2021',
'DEC-2021', 'JAN-2022', 'FEB-2022', 'MAR-2022', 'APR-2022', 'MAY-2022',
'JUN-2022', 'JUL-2022', 'AUG-2022', 'SEP-2022', 'OCT-2022', 'NOV-2022',
'DEC-2022', 'JAN-2023', 'FEB-2023', 'MAR-2023', 'APR-2023', 'MAY-2023',
'JUN-2023', 'JUL-2023', 'AUG-2023', 'SEP-2023', 'OCT-2023', 'NOV-2023',
'DEC-2023']

##### Análisis de Reportes de Incidentes ADAS #####
# Mostrar los datos de incidentes reportados de vehículos ADAS
reports_ADAS.head()

# Dimensión del dataframe ADAS (Filas, Columnas)
reports_ADAS.shape

# Identificadores únicos de incidentes ADAS
len(reports_ADAS['Report ID'].unique())

# Ejemplo de incidente ADAS con ID 753-4134, donde aparentemente la última
versión del reporte parece ser la más completa
reports_ADAS.loc[reports_ADAS['Report ID']=='753-4134']

# Contabilización de las versiones de los reportes ADAS (Solamente 5
incidentes han alcanzado la versión 5)
reports_ADAS['Report Version'].value_counts()

# Obtención de la última versión de cada identificador único de incidente ADAS
# Eliminación de la última observación por corresponder a un identificador
inválido
reports_ADAS_LV=reports_ADAS.groupby('Report ID',as_index =
False).agg({"Report Version": "max"}).drop(853)
```

```

# Obtención de dataframe final con la última versión de cada incidente ADAS y
el resto de variables
reports_ADAS_FIN=pd.merge(reports_ADAS, reports_ADAS_LV, on=['Report
ID', 'Report Version'])

# Dimensión del dataframe final ADAS (Filas, Columnas)
reports_ADAS_FIN.shape

# Identificadores únicos del dataframe final ADAS
len(reports_ADAS_FIN['Report ID'].unique())

# Contabilización de fecha (Mes-Año) de ocurrencia del incidente ADAS
# Ordenación cronológica
cont_date_inc_ADAS=reports_ADAS_FIN['Incident Date'].value_counts()
cont_date_inc_ADAS=cont_date_inc_ADAS.reindex(index =
list_dates).dropna().astype(int)

# Representación gráfica incidentes reportados por fecha
fig = px.bar(x=cont_date_inc_ADAS.index,
             y=cont_date_inc_ADAS.values,
             orientation='v',
             text=cont_date_inc_ADAS.values)

fig.update_layout(template='plotly_white',
                  title_text='Ocurrencia de incidentes reportados por fecha',
                  xaxis_title="Fecha",
                  yaxis_title="Número de accidentes reportados")

fig.update_traces(marker_color='rgb(95, 158, 160)',
                  textfont_size=9.5,
                  textposition='outside')

fig.update_xaxes(tickangle=50,
                 tickfont=dict(size=11))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADAS por fabricantes
cont_maker_ADAS=reports_ADAS_FIN['Reporting Entity'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por fabricante
fig = px.bar(x=cont_maker_ADAS.values,
             y=cont_maker_ADAS.index,
             orientation='h',
             text=cont_maker_ADAS.values)

fig.update_layout(template='plotly_white',
                  title_text='Ocurrencia de incidentes reportados por
fabricante',
                  xaxis_title="Número de accidentes reportados",
                  yaxis_title="Fabricantes",
                  yaxis={'categoryorder':'total ascending'})

fig.update_traces(marker_color='#276669',
                  textfont_size=9.5,
                  textposition='outside')

```

```

fig.update_xaxes(tickfont=dict(size=11))

fig.update_yaxes(ticksuffix = " ")

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADAS por estados de EE. UU.
cont_state_ADAS=reports_ADAS_FIN['State'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por Estado
locations=cont_state_ADAS.index.map(lambda x: x.replace(' ', ''))
values=cont_state_ADAS.values

fig = px.choropleth(locations=locations,
                    locationmode="USA-states",
                    scope="usa",
                    color=values,
                    color_continuous_scale="Mint",
                    height=700,
                    width=1000,
                    title='Ocurrencia de incidentes reportados por Estado')

fig.update_coloraxes(showscale=True)

fig.add_scattergeo(locations=locations,
                  locationmode="USA-states",
                  text=values,
                  mode='text',
                  textposition='middle center',
                  textfont_size=9.5,
                  textfont_color='#000000')

fig.add_annotation(x=0.03, y=0.5,
                  text='California',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=13,
                           color='black'))

fig.add_annotation(x=0.53, y=0.15,
                  text='Texas',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=13,
                           color='black'))

fig.add_annotation(x=0.83, y=0.22,
                  text='Florida',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=13,
                           color='black'))

fig.add_annotation(x=0.77, y=0.72,

```

```

        text='New York',
        showarrow=False,
        textangle=0,
        font=dict(family="Helvetica, monospace",
                  size=13,
                  color='black'))

fig.add_annotation(x=0.92, y=0.58,
                  text='New Jersey',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                            size=13,
                            color='black'))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADAS por objeto chocado
cont_object_ADAS=reports_ADAS_FIN['Crash With'].value_counts().rename({'Other,
see Narrative': 'Other',
'Passenger Car': 'Sedan'})

# Representación gráfica incidentes reportados por objeto involucrado
fig = px.pie(values=cont_object_ADAS.values,
             names=cont_object_ADAS.index,
             hole=.6,
             height=650,
             width=900,
             color_discrete_sequence=px.colors.sequential.GnBu,
             title='Distribución de incidentes reportados por objeto
involucrado')

fig.update_layout(showlegend = True,
                  uniformtext_minsize=12,
                  uniformtext_mode='hide')

fig.update_traces(textinfo='percent+label',
                  textfont_size=12,
                  textposition='inside',
                  textfont_color='#27272B',
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADAS por gravedad de lesión
cont_injury_ADAS=reports_ADAS_FIN['Highest Injury Severity'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por gravedad de las lesiones
values=cont_injury_ADAS.values
names=cont_injury_ADAS.index

fig = px.pie(values=values,
             names=names,
             hole=.6,
             height=600,

```

```

        width=900,
        color_discrete_sequence=px.colors.sequential.Aggrnyl,
        title='Distribución de incidentes reportados por gravedad de las
lesiones')

fig.update_layout(showlegend = True)

fig.update_traces(textinfo='percent',
                  textposition='inside',
                  textfont_size=11,
                  textfont_color='#E0F0F5',
                  insidetextorientation='radial',
                  rotation=130,
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.add_annotation(x=0.95, y=0.76,
                  text=names[5]+' '+str(values[5]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=0.96, y=0.7,
                  text=names[4]+' '+str(values[4]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=1, y=0.6,
                  text=names[3]+' '+str(values[3]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=0.97, y=0.49,
                  text=names[2]+' '+str(values[2]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=1.09, y=0.26,
                  text=names[1]+' '+str(values[1]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=-0.01, y=0.65,
                  text=names[0]+' '+str(values[0]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

```

```

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADAS por modelo de vehículo
cont_model_ADAS=reports_ADAS_FIN['Model'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por modelo de vehículo
fig = px.pie(values=cont_model_ADAS.values,
             names=cont_model_ADAS.index,
             hole=.6,
             height=500,
             width=700,
             color_discrete_sequence=px.colors.sequential.GnBu,
             title='Distribución de incidentes reportados por modelo de
vehículo')

fig.update_layout(showlegend = True,
                  uniformtext_minsize=12,
                  uniformtext_mode='hide')

fig.update_traces(textinfo='percent+label',
                  textfont_size=12,
                  textposition='inside',
                  textfont_color='#27272B',
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADAS por zona de daño en el vehículo
cont_rear_left_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area - Rear
Left'].value_counts()['Y']
cont_left_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area -
Left'].value_counts()['Y']
cont_front_left_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area - Front
Left'].value_counts()['Y']
cont_rear_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area -
Rear'].value_counts()['Y']
cont_top_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area -
Top'].value_counts()['Y']
cont_front_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area -
Front'].value_counts()['Y']
cont_rear_right_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area - Rear
Right'].value_counts()['Y']
cont_right_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area -
Right'].value_counts()['Y']
cont_front_right_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area - Front
Right'].value_counts()['Y']
cont_bottom_area_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Contact Area -
Bottom'].value_counts()['Y']

print('Contact Area - Front: '+str(cont_front_area_ADAS))
print('Contact Area - Front Left: '+str(cont_front_left_area_ADAS))
print('Contact Area - Front Right: '+str(cont_front_right_area_ADAS))
print('Contact Area - Left: '+str(cont_left_area_ADAS))
print('Contact Area - Rear Left: '+str(cont_rear_left_area_ADAS))
print('Contact Area - Right: '+str(cont_right_area_ADAS))
print('Contact Area - Rear Right: '+str(cont_rear_right_area_ADAS))
print('Contact Area - Rear: '+str(cont_rear_area_ADAS))

```

```

print('Contact Area - Bottom: '+str(cont_bottom_area_ADAS))
print('Contact Area - Top: '+str(cont_top_area_ADAS))

# Contabilización de los incidentes ADAS por movimiento anterior del vehículo
antes de la colisión
cont_pre_move_ADAS=reports_ADAS_FIN['SV Pre-Crash Movement'].value_counts(1)
cont_pre_move_ADAS

# Contabilización de los incidentes ADAS por tipo de vía
cont_rodway_type_ADAS=reports_ADAS_FIN['Roadway
Type'].value_counts().rename({'Rural Road': 'Rural'})

# Contabilización de los incidentes ADAS por condiciones de la vía
cont_rodway_description_ADAS=reports_ADAS_FIN['Roadway
Description'].value_counts().rename({'Other, see Narrative': 'Other',

                                     'Traffic Incident': 'Traffic'})

# Contabilización de los incidentes ADAS por condiciones climáticas de la vía
cont_rodway_surface_ADAS=reports_ADAS_FIN['Roadway Surface'].value_counts()

# Contabilización de los incidentes ADAS por condiciones de iluminación de la
vía
cont_lighting_ADAS=reports_ADAS_FIN['Lighting'].value_counts().rename({'Dawn /
Dusk': 'Dawn/Dusk'})

# Representación gráfica condiciones de la vía del incidente
fig = make_subplots(rows=2,
                    cols=2,
                    specs = [[{'type':'domain'}, {'type':'domain'}],
                             [{'type':'domain'}, {'type':'domain'}]])

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_rodway_type_ADAS.index,
                     values=cont_rodway_type_ADAS.values,
                     name="Roadway Type",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=1, col=1)

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_rodway_description_ADAS.index,
                     values=cont_rodway_description_ADAS.values,
                     name="Roadway Description",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=1, col=2)

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_rodway_surface_ADAS.index,
                     values=cont_rodway_surface_ADAS.values,
                     name="Roadway Surface",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=2, col=1)

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_lighting_ADAS.index,
                     values=cont_lighting_ADAS.values,
                     name="Roadway Lighting",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=2, col=2)

fig.update_traces(hole=.3,
                  hoverinfo="label+percent+name",
                  textinfo='percent+label',
                  textfont_size=11,

```

```

        textposition='inside',
        textfont_color='#27272B',
        marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.update_layout(height=900,
                  width=1000,
                  margin=dict(t=20, b=20, l=0, r=0),
                  showlegend=False,
                  uniformtext_minsize=11,
                  uniformtext_mode='hide',
                  annotations=[dict(text='Road', x=0.2, y=0.82, font_size=18,
showarrow=False),
                             dict(text='Type', x=0.2, y=0.79, font_size=18,
showarrow=False),
                             dict(text='Road', x=0.8, y=0.82, font_size=18,
showarrow=False),
                             dict(text='Situation', x=0.82, y=0.79,
font_size=18, showarrow=False),
                             dict(text='Road', x=0.2, y=0.22, font_size=18,
showarrow=False),
                             dict(text='Surface', x=0.19, y=0.19,
font_size=18, showarrow=False),
                             dict(text='Road', x=0.8, y=0.22, font_size=18,
showarrow=False),
                             dict(text='Lighting', x=0.815, y=0.19,
font_size=18, showarrow=False)])

fig.show()

##### Análisis de Reportes de Incidentes ADS #####
# Mostrar los datos de incidentes reportados de vehículos ADS
reports_ADS.head()

# Dimensión del dataframe ADS (Filas, Columnas)
reports_ADS.shape

# Identificadores únicos de incidentes ADS
len(reports_ADS['Report ID'].unique())

# Ejemplo de incidente ADS con ID 30531-4719, donde aparentemente la última
versión del reporte parece ser la más completa
reports_ADS.loc[reports_ADS['Report ID']=='30531-4719']

# Contabilización de las versiones de los reportes ADS (Solamente 1 incidentes
ha alcanzado la versión 4)
reports_ADS['Report Version'].value_counts()

# Obtención de la última versión de cada identificador único de incidente ADS
reports_ADS_LV=reports_ADS.groupby('Report ID',as_index = False).agg({"Report
Version": "max"})

# Obtención de dataframe final con la última versión de cada incidente ADS y
el resto de variables
reports_ADS_FIN=pd.merge(reports_ADS, reports_ADS_LV, on=['Report ID','Report
Version'])

# Dimensión del dataframe final ADS (Filas, Columnas)

```



```

reports_ADS_FIN.shape

# Identificadores únicos del dataframe final ADS
len(reports_ADS_FIN['Report ID'].unique())

# Contabilización de fecha (Mes-Año) de ocurrencia del incidente ADS
# Ordenación cronológica
cont_date_inc_ADS=reports_ADS_FIN['Incident Date'].value_counts()
cont_date_inc_ADS=cont_date_inc_ADS.reindex(index =
list_dates).dropna().astype(int)

# Representación gráfica incidentes reportados por fecha
fig = px.bar(x=cont_date_inc_ADS.index,
             y=cont_date_inc_ADS.values,
             orientation='v',
             text=cont_date_inc_ADS.values,
             height=500,
             width=900)

fig.update_layout(template='plotly_white',
                  title_text='Ocurrencia de incidentes reportados por fecha',
                  xaxis_title="Fecha",
                  yaxis_title="Número de accidentes reportados")

fig.update_traces(marker_color='rgb(95, 158, 160)',
                  textfont_size=9.5,
                  textposition='outside')

fig.update_xaxes(tickangle=50,
                 tickfont=dict(size=11))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADS por fabricantes
cont_maker_ADS=reports_ADS_FIN['Reporting Entity'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por fabricante
fig = px.bar(x=cont_maker_ADS.values,
             y=cont_maker_ADS.index,
             orientation='h',
             text=cont_maker_ADS.values,
             height=650,
             width=1050)

fig.update_layout(template='plotly_white',
                  title_text='Ocurrencia de incidentes reportados por
fabricante',
                  xaxis_title="Número de accidentes reportados",
                  yaxis_title="Fabricantes",
                  yaxis={'categoryorder':'total ascending'})

fig.update_traces(marker_color='#276669',
                  textposition='outside',
                  textfont_size=10)

fig.update_yaxes(ticksuffix = " ",
                 tickfont=dict(size=12))

```

```

fig.update_xaxes(tickfont=dict(size=11))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADS por estados de EE. UU.
cont_state_ADS=reports_ADS_FIN['State'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por Estado
locations=cont_state_ADS.index.map(lambda x: x.replace(' ', ''))
values=cont_state_ADS.values

fig = px.choropleth(locations=locations,
                    locationmode="USA-states",
                    scope="usa",
                    color=values,
                    color_continuous_scale="Mint",
                    height=700,
                    width=1000,
                    title='Ocurrencia de incidentes reportados por Estado')

fig.update_coloraxes(showscale=True)

fig.add_scattergeo(locations=locations,
                  locationmode="USA-states",
                  text=values,
                  mode='text',
                  textposition='middle center',
                  textfont_size=9.5,
                  textfont_color='#000000')

fig.add_annotation(x=0.03, y=0.5,
                  text='California',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=13,
                           color='black'))

fig.add_annotation(x=0.18, y=0.3,
                  text='Arizona',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=13,
                           color='black'))

fig.add_annotation(x=0.53, y=0.15,
                  text='Texas',
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=13,
                           color='black'))

fig.add_annotation(x=0.84, y=0.22,
                  text='Florida',
                  showarrow=False,

```

```

        textangle=0,
        font=dict(family="Helvetica, monospace",
                  size=13,
                  color='black'))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADS por objeto chocado
cont_object_ADS=reports_ADS_FIN['Crash With'].value_counts().rename({'Other',
see Narrative': 'Other',
                                                                    'Non-
Motorist: Cyclist': 'Cyclist',
                                                                    'Passenger Car': 'Sedan'})

# Representación gráfica incidentes reportados por objeto involucrado
fig = px.pie(values=cont_object_ADS.values,
             names=cont_object_ADS.index,
             hole=.6,
             height=650,
             width=900,
             color_discrete_sequence=px.colors.sequential.GnBu,
             title='Distribución de incidentes reportados por objeto
involucrado')

fig.update_layout(showlegend = True,
                  uniformtext_minsize=12,
                  uniformtext_mode='hide')

fig.update_traces(textinfo='percent+label',
                  textfont_size=12,
                  textposition='inside',
                  textfont_color='#27272B',
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADS por gravedad de lesión
cont_injury_ADS=reports_ADS_FIN['Highest Injury Severity'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por gravedad de las lesiones
values=cont_injury_ADS.values
names=cont_injury_ADS.index

fig = px.pie(values=values,
             names=names,
             hole=.6,
             height=600,
             width=900,
             color_discrete_sequence=px.colors.sequential.Aggrnyl,
             title='Distribución de incidentes reportados por gravedad de las
lesiones')

fig.update_layout(showlegend = True,
                  uniformtext_minsize=11,
                  uniformtext_mode='hide')

```

```

fig.update_traces(textinfo='percent',
                  textposition='inside',
                  textfont_size=11,
                  textfont_color='#E0F0F5',
                  insidetextorientation='radial',
                  rotation=130,
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.add_annotation(x=0.95, y=0.69,
                  text=names[4]+' '+str(values[4]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=0.98, y=0.62,
                  text=names[3]+' '+str(values[3]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=1, y=0.49,
                  text=names[2]+' '+str(values[2]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=0.94, y=0.26,
                  text=names[1]+' '+str(values[1]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.add_annotation(x=-0.12, y=0.65,
                  text=names[0]+' '+str(values[0]),
                  showarrow=False,
                  textangle=0,
                  font=dict(family="Helvetica, monospace",
                           size=14))

fig.show()

# Contabilización de los incidentes ADS por modelo de vehículo
cont_model_ADS=reports_ADS_FIN['Model'].value_counts()

# Representación gráfica incidentes reportados por modelo de vehículo
fig = px.pie(values=cont_model_ADS.values,
             names=cont_model_ADS.index,
             hole=.5,
             height=500,
             width=700,
             color_discrete_sequence=px.colors.sequential.GnBu,
             title='Distribución de incidentes reportados por modelo de
vehículo')

```

```

fig.update_layout(showlegend = True,
                  uniformtext_minsize=12,
                  uniformtext_mode='hide')

fig.update_traces(textinfo='percent+label',
                  textfont_size=12,
                  textposition='inside',
                  textfont_color='#27272B',
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.show()

# Número de vehículos modelo I-Pace que tiene cada compañía
reports_ADS_FIN[reports_ADS_FIN['Model']=='I-Pace']['Reporting
Entity'].value_counts()

# Contabilización de los incidentes ADS por zona de daño en el vehículo
cont_rear_left_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area - Rear
Left'].value_counts()['Y']
cont_left_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area -
Left'].value_counts()['Y']
cont_front_left_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area - Front
Left'].value_counts()['Y']
cont_rear_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area -
Rear'].value_counts()['Y']
cont_top_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area - Top'].value_counts()['Y']
cont_front_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area -
Front'].value_counts()['Y']
cont_rear_right_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area - Rear
Right'].value_counts()['Y']
cont_right_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area -
Right'].value_counts()['Y']
cont_front_right_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area - Front
Right'].value_counts()['Y']
cont_bottom_area_ADS=reports_ADS_FIN['SV Contact Area -
Bottom'].value_counts()['Y']

print('Contact Area - Rear: '+str(cont_rear_area_ADS))
print('Contact Area - Rear Left: '+str(cont_rear_left_area_ADS))
print('Contact Area - Rear Right: '+str(cont_rear_right_area_ADS))
print('Contact Area - Front Left: '+str(cont_front_left_area_ADS))
print('Contact Area - Front Right: '+str(cont_front_right_area_ADS))
print('Contact Area - Front: '+str(cont_front_area_ADS))
print('Contact Area - Right: '+str(cont_right_area_ADS))
print('Contact Area - Left: '+str(cont_left_area_ADS))
print('Contact Area - Bottom: '+str(cont_bottom_area_ADS))
print('Contact Area - Top: '+str(cont_top_area_ADS))

# Contabilización de los incidentes ADS por movimiento anterior del vehículo
antes de la colisión
cont_pre_move_ADS=reports_ADS_FIN['SV Pre-Crash Movement'].value_counts(1)
cont_pre_move_ADS

# Contabilización de los incidentes ADS por tipo de vía
cont_roadway_type_ADS=reports_ADS_FIN['Roadway Type'].value_counts()

```

```

# Contabilización de los incidentes ADS por condiciones de la vía
cont_rodway_description_ADS=reports_ADS_FIN['Roadway
Description'].value_counts()

# Contabilización de los incidentes ADS por condiciones climáticas de la vía
cont_rodway_surface_ADS=reports_ADS_FIN['Roadway Surface'].value_counts()

# Contabilización de los incidentes ADS por condiciones de iluminación de la
vía
cont_lighting_ADS=reports_ADS_FIN['Lighting'].value_counts().rename({'Dawn /
Dusk': 'Dawn/Dusk'})

# Representación gráfica condiciones de la vía del incidente
fig = make_subplots(rows=2,
                    cols=2,
                    specs = [[{'type':'domain'}, {'type':'domain'}],
                             [{'type':'domain'}, {'type':'domain'}]])

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_rodway_type_ADS.index,
                     values=cont_rodway_type_ADS.values,
                     name="Roadway Type",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=1, col=1)

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_rodway_description_ADS.index,
                     values=cont_rodway_description_ADS.values,
                     name="Roadway Description",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=1, col=2)

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_rodway_surface_ADS.index,
                     values=cont_rodway_surface_ADS.values,
                     name="Roadway Surface",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=2, col=1)

fig.add_trace(go.Pie(labels=cont_lighting_ADS.index,
                     values=cont_lighting_ADS.values,
                     name="Roadway Lighting",
                     marker_colors=px.colors.sequential.Teal), row=2, col=2)

fig.update_traces(hole=.3,
                  hoverinfo="label+percent+name",
                  textinfo='percent+label',
                  textfont_size=11,
                  textposition='inside',
                  textfont_color='#27272B',
                  marker=dict(line=dict(color='#000000', width=1)))

fig.update_layout(height=900,
                  width=1000,
                  margin=dict(t=20, b=20, l=0, r=0),
                  showlegend=False,
                  uniformtext_minsize=11,
                  uniformtext_mode='hide',
                  annotations=[dict(text='Road', x=0.2, y=0.82, font_size=18,
showarrow=False),
                             dict(text='Type', x=0.2, y=0.79, font_size=18,
showarrow=False),

```

```
dict(text='Road', x=0.8, y=0.82, font_size=18,
showarrow=False),
dict(text='Situation', x=0.82, y=0.79,
font_size=18, showarrow=False),
dict(text='Road', x=0.2, y=0.22, font_size=18,
showarrow=False),
dict(text='Surface', x=0.19, y=0.19,
font_size=18, showarrow=False),
dict(text='Road', x=0.8, y=0.22, font_size=18,
showarrow=False),
dict(text='Lighting', x=0.815, y=0.19,
font_size=18, showarrow=False)])
fig.show()
```