



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

El estándar SAE J3016: Despliegue del piloto automático en
los automóviles y automatización del tráfico rodado

SAE J3016 Standard. Automatic Pilot Guidance Deployment
and Automation Road Traffic

Autor

Guillermo Estaña García

Director

Miguel Ángel Torres Portero

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

Este documento debe acompañar al trabajo final de Grado (Trabajo Final de Grado - TFG) o final de Máster (Trabajo Final de Máster - TFM) cuando sea dispensable para su revisión.

D./Dra. Guillermo Estaña García

con nº de DNI 78099542Y en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado, (Título del Trabajo)

El estándar SAE J3016: Despliegue del piloto automático en los automóviles y automatización del tráfico rodado

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de Noviembre de 2017

Fdo: Guillermo Estaña García

El estándar SAE J3016: Despliegue del piloto automático en los automóviles y automatización del tráfico rodado

RESUMEN

Hoy en día ¿Quién no tiene un teléfono inteligente o un ordenador personal? Vivimos en una época en la que la tecnología se ha instaurado en nuestras vidas. Una etapa, en la que día sí y día también, se producen avances tecnológicos. Una de las ramas de la tecnología que está en auge es la robótica y, si concretamos en el sector automovilístico, los vehículos robotizados o autónomos conforman el futuro del sector.

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar el despliegue del piloto automático en los automóviles y analizar la automatización del tráfico rodado. Para ello se ha examinado minuciosamente el estándar SAE J3016, una norma que clasifica los vehículos autónomos en 6 niveles (desde el nivel 0, de no autonomía al nivel 5, de automatización completa).

Seguidamente, se han analizado los diferentes componentes y dispositivos tecnológicos que posibilitan la automatización del transporte terrestre. Asimismo, se ha realizado una categorización detallada de los principales vehículos ya disponibles o en fase de investigación y desarrollo, clasificándolos en tres subgrupos: vehículos privados, vehículos de carga y vehículos de transporte público o movilidad urbana. A este respecto, cabe destacar la existencia de dos tendencias que discurren paralelamente a la hora de diseñar los nuevos automóviles del futuro. De una parte, el enfoque evolutivo, seguido por los principales fabricantes tradicionales automovilísticos como Audi y, de otra parte, el enfoque revolucionario, impulsado por las empresas tecnológicas de las telecomunicaciones como Google. La diferencia entre ambos rumbos reside en que las empresas “revolucionarias” investigan para diseñar directamente vehículos completamente autónomas y, en cambio, las evolutivas siguen una tendencia incremental de la automatización partiendo de niveles más bajos de asistencia al conductor.

Asimismo, se han analizado las barreras legislativas existentes para el lanzamiento y expansión de estos nuevos vehículos, para lo que se ha realizado una comparativa del marco legislativo existente en los principales países pioneros en la materia. Como resultado se ha concluido la necesidad de crear un contexto normativo internacional capaz de coordinar las diferentes reglamentaciones nacionales y marcar unas directrices comunes para lograr un impulso común.

Para finalizar, se ha evaluado e informado de la evolución que se espera para la implementación de los vehículos automatizados en diferentes lapsos temporales, señalando las principales implicaciones tecnológicas, viarias, ambientales, sociales, laborales y económicas del despliegue del piloto automático en los automóviles y la automatización del tráfico rodado. Asimismo, se han indicado posibles acciones futuras para que la introducción de los vehículos autónomos en nuestra vida cotidiana sea una realidad.

La realización de este TFG no ha sido sencilla ya que se trata de un tema relativamente nuevo, con vistas al futuro y una evolución frenética constante, desarrollada simultáneamente a lo largo de todo el planeta; sin embargo, considero que es un tema apasionante y me encuentro muy satisfecho del trabajo realizado al lograr cumplir con los objetivos preestablecidos.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado a conseguir el reto que con este TFG termina, ya sea directa o indirectamente. También quiero agradecer a mi tutor del proyecto, Miguel Ángel, por su ayuda y apoyo durante la realización maratoniana de este proyecto.

De modo especial, quiero agradecer a mis padres, Miguel y María Jesús, y también a mi hermano Alejandro por apoyarme en todo momento.

Finalmente, me gustaría dar las gracias a Arantxa, que siempre está en las buenas y en las no tan buenas. Parte de la culpa de que esté a punto de conseguir el reto que me propuse en 2012 la tiene ella.

Tabla de contenidos

1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Contexto.....	12
1.2 Alcance y objetivos del trabajo.....	13
1.3 Metodología.....	14
2 ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS.....	15
3 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL VEHÍCULO TERRESTRE AUTÓNOMO.....	17
4 DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS EN LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS.....	22
4.1 Software.....	23
4.2 Hardware.....	24
5 MARCO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO.....	26
5.1 Estándar SAE J3016.....	26
5.1.1 Nivel 0: No autonomía.....	28
5.1.2 Nivel 1: Asistencia al conductor.....	28
5.1.3 Nivel 2: Automatización parcial.....	29
5.1.4 Nivel 3: Automatización condicionada.....	29
5.1.5 Nivel 4: Automatización elevada.....	30
5.1.6 Nivel 5: Automatización completa.....	30
5.2 Clasificación de vehículos autónomos NHTSA.....	31
5.3 Otras clasificaciones.....	33
5.4 Dispositivos tecnológicos ya disponibles en el mercado.....	33
5.4.1 Tecnología en el Nivel 0.....	33
5.4.2 Tecnología en el Nivel 1.....	35
5.5 Dispositivos en fase de investigación y desarrollo.....	36

5.5.1	Tecnología en el Nivel 2.....	37
5.5.2	Tecnología en el Nivel 3.....	37
5.5.3	Tecnología en los Niveles 4 y 5.....	38
6	. EL STATE-OF-THE-ART DE LA TECNOLOGÍA.....	41
6.1	Vehículos privados.....	41
6.1.1	Enfoque evolutivo.....	42
6.1.1.1	<i>Tesla</i>	42
6.1.1.2	<i>Renault</i>	44
6.1.1.3	<i>Valeo</i>	45
6.1.1.4	<i>Peugeot Citrën</i>	46
6.1.1.5	<i>Audi</i>	46
6.1.1.6	<i>Mercedes-Benz</i>	49
6.1.1.7	<i>BMW</i>	50
6.1.1.8	<i>Smart</i>	51
6.1.1.9	<i>AdaptIVe</i>	52
6.1.1.10	<i>Toyota</i>	52
6.1.1.11	<i>Nissan</i>	52
6.1.1.12	<i>General Motors</i>	53
6.1.1.13	<i>Ford</i>	54
6.1.1.14	<i>Delphi</i>	55
6.1.2	Enfoque revolucionario.....	56
6.1.2.1	<i>Google-Waymo</i>	57
6.1.2.2	<i>Apple</i>	58
6.1.2.3	<i>Robot Taxi</i>	58
6.1.2.4	<i>Zoox</i>	59
6.2	Vehículos de carga.....	59
6.2.1	COMPANION.....	60
6.2.2	EcoTwins.....	61

6.3 Movilidad urbana y transporte público.....	61
6.3.1 CityMobil.....	62
6.3.2 CityMobil2.....	62
6.3.3 Mobuno.....	63
6.3.4 Drive Me.....	64
7 MARCO LEGISLATIVO.....	65
7.1 Aspectos técnicos: legislación del vehículo.....	66
7.2 La responsabilidad del conductor.....	69
7.3 Comparativa de marcos legislativos nacionales.....	72
7.3.1 España.....	72
7.3.2 Estados Unidos.....	75
7.3.3 Reino Unido.....	78
7.3.4 Suecia.....	78
7.3.5 Japón.....	79
7.3.6 Francia.....	80
7.3.7 Alemania.....	80
7.3.8 Bélgica.....	81
7.3.9 Países Bajos.....	82
8 GESTIÓN DE LAS DECISIONES EN LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS	85
8.1 ¿Cómo debería programarse un vehículo sobre el modo de reaccionar en caso de accidente?.....	85
8.2 Intentando programar la moral.....	87
8.3 Posible solución: moral consensuada.....	88
9 EXPANSIÓN A CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO.....	91
9.1 Vías futuras para la implementación de vehículos autónomos	91
9.1.1 Vehículo de pasajeros.....	92

9.1.2 Vehículo de mercancías.....	95
9.1.3 Vehículo para la movilidad urbana y transporte público.....	97

10 IMPACTO Y CONSECUENCIAS DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS.....	101
10.1 Seguridad Vial.....	101
10.1.1 Situación actual en la UE y EEUU.....	101
10.1.2 Contribución de los sistemas inteligentes de transporte a la seguridad vial.....	103
10.1.3 Potencial contribución de los sistemas autónomos a la seguridad vial.....	105
10.1.4 Desafíos de la automatización automotriz en relación a la seguridad vial.....	106
10.2 Congestión Vial.....	108
10.2.1 Aumento de capacidad de la red existente.....	108
10.2.2 Impacto en el tráfico total.....	110
10.2.3 Efecto neto en la congestión vehicular.....	111
10.2.4 Coste externo de la congestión vial.....	111
10.3 Impacto Ambiental: emisiones.....	112
10.3.1 Conducción eficiente.....	113
10.3.2 Vehículos más ligeros.....	114
10.3.3 Tipo de combustible.....	114
10.3.4 Incremento del tráfico vial.....	115
10.3.5 Efecto neto.....	115
10.4 Adaptación de la infraestructura de transporte.....	116
10.4.1 Enfoque autónomo.....	116
10.4.2 Conexión del vehículo.....	117
10.5 Datos y seguridad cibernética.....	118
10.5.1 Protección de datos personales.....	119
10.6 Implicaciones socioeconómicas.....	121
10.6.1 Producción de la industria automotriz.....	121
10.6.2 Impacto en el transporte de mercancías.....	122

10.6.3 Responsabilidad en caso de accidente y costes del seguro.....	123
10.6.4 Sector de las TICs.....	125
10.6.5 Mercado laboral.....	126
10.7 Otros impactos sociales.....	127
10.7.1 Accesibilidad al transporte y asequibilidad.....	127
10.7.2 Explotación del suelo.....	128
10.8 Ética y aceptación pública.....	129
10.8.1 Ética.....	129
10.8.2 Aceptación pública.....	129
11 CONCLUSIONES Y ACCIONES FUTURAS.....	131
12 SÍNTESIS DE LAS IMPLICACIONES DEL DESPLIEGUE DEL PILOTO AUTOMÁTICO EN LOS AUTOMÓVILES Y AUTOMATIZACIÓN DEL TRÁFICO RODADO.....	138
13 BIBLIOGRAFIA.....	139
13.1 Artículos científicos y técnicos.....	139
13.2 Sitios Web.....	141
13.3 Artículos periodísticos.....	143
13.4 Información sobre modelos de vehículos autónomos y proyectos existentes.....	145
ANEXO I. EL ESTÁNDAR J3016.....	148
ANEXO II. MÁQUINA MORAL.....	178
ANEXO III. RESULTADOS OBSERVATORIO CETELEM 2016 EN ESPAÑA.....	179

Índice de figuras

Fig. 3.1 Primera fotografía (en 1957) icónica de la conducción autónoma.....	18
Fig. 5.1 Esquema de los niveles de autonomía de la norma SAE J3016.....	31
Tabla 5.1 Dispositivos tecnológicos del Nivel 0 de autonomía al Nivel 5.....	40
Tabla 6.1 Ficha técnica de los modelos de Tesla Model S y Model 3.....	44
Tabla 6.2 Ficha técnica del Renalut Symbioz.....	45
Tabla 6.3 Ficha técnica del Audi A8 L-tron quattro.....	47
Tabla 6.4 Ficha técnica del Audi Elaine Concept.....	48
Tabla 6.5 Ficha técnica del Audi Aicon.....	48
Tabla 6.6 Ficha técnica del Mercedes E 200 d.....	49
Tabla 6.7 Ficha técnica del Mercedes F 015 Luxury in Motion.....	50
Tabla 6.8 Ficha técnica del BMW Vision Next 100.....	51
Tabla 6.9 Ficha técnica del Smart Vision EQ.....	51
Tabla 6.10 Ficha técnica del Nissan LEAD AD.....	53
Tabla 6.11 Ficha técnica del Chevrolet Bolt EV.....	54
Tabla 6.12 Ficha técnica del Ford Fusion Hybrid.....	55
Fig. 6.1 Monovolumen Chrysler Pacifica Hybrid con sistema Waymo.....	57
Fig. 6.2 Robot Taxi.....	58
Fig. 6.3 Taxi Zoox L4.....	59
Fig. 6.4 Platooning de SCANIA.....	60
Fig. 6.5 Lanzadera CityMobil2.....	63
Fig. 6.6 Recreación del Mobuno.....	63

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto

Nos ha tocado vivir en pleno siglo XXI, la era tecnológica. Una época fantástica para innovar, para ingeniar, para soñar. No nos damos cuenta, pero gracias al crecimiento exponencial de la técnica en los últimos años, se están desarrollando toda clase de tecnologías que en un futuro se estudiarán en los libros de texto. La importancia de estos avances solo lo determinará el futuro, pero igual que el invento de la rueda en el año 3500 a.C revolucionó la vida humana, también lo están haciendo en los últimos años innovaciones como Internet o los Smartphones.

En el tema automovilístico, es evidente que los combustibles fósiles no son sostenibles. La combustión del petróleo, un recurso limitado que tarde o temprano se agotará, es altamente contaminante y contribuye al cambio climático¹. Por ello, en la actualidad, estamos viviendo, aunque más lentamente de lo esperado, una transición de los vehículos de combustibles fósiles a los vehículos eléctricos. Además, como el ser humano busca constantemente la seguridad, la eficiencia y el confort en los automóviles, los vehículos serán, con toda probabilidad, autónomos. En unos años, ceder el control de la conducción al piloto automático de nuestro vehículo podría convertirse en una realidad, revolucionando los actuales viajes por carretera que darán paso a un abanico de actividades a realizar durante el trayecto. Cuando eso ocurra observaremos admirados la evolución experimentada en el paradigma de la movilidad.

En este sentido, desde que era pequeño me ha fascinado el tema de la tecnología y la innovación. Con tan solo ocho años ya veía, junto con mi hermano, documentales en Discovery Channel² sobre el universo, así como programas de televisión, entre los que destacaba Top Gear, donde se comparaban de forma muy entretenida distintos modelos de vehículos, explicándose los últimos avances en este campo.

¹ El cambio climático alentado por la actuación humana es una realidad que pone sobre la mesa la necesidad de tomar medidas de carácter global.

² Discovery Channel es un canal de televisión a nivel mundial, que vio la luz en Estados Unidos en 1985. Su programación se caracteriza por sus series de divulgación científica y documentales relativos a la naturaleza.

Por ello decidí realizar un TFG arriesgado, innovador, dado que todavía no existen demasiados estudios que den evidencias empíricas y cuantitativas del impacto que estas nuevas obras de la ingeniería podrían tener en la sociedad moderna; sin embargo, se trata de un tema que me apasiona por la revolución que implicaría en la movilidad por carretera.

1.2 Alcance y objetivos del proyecto

En este proyecto se plantea como objetivo principal el estudio del estándar SAE J3016 y el análisis pormenorizado, a la luz de dichas directrices, del estado de la técnica en sus diferentes niveles (desde el nivel 0, de no autonomía, hasta el nivel 5, de plena automatización). En este sentido, se detallarán en profundidad los vehículos ya comercializados, así como los que están todavía en fase de investigación y desarrollo, conocidos como “Concept-Car”. Para ello, se ha realizará una recopilación y análisis minucioso de todos los estudios de investigación relativos al tema, a los cuales se ha tenido acceso. Ello con el objetivo de extraer unas conclusiones contrastadas basadas en la fidedigna bibliografía científica y tecnológica a la que existen remisiones a lo largo del presente proyecto.

No obstante, antes de abordar el presente objetivo, se deberán responder a las siguientes preguntas: ¿Cuál fue el primer sistema autónomo implementado en un medio de transporte? ¿Cómo ha sido la evolución desde el primer vehículo con cierta función autónoma hasta hoy en día?

Por su parte, se observará la necesidad de llevar a cabo enmiendas legislativas que permitan la implementación de vehículos autónomos. En este sentido, se realizará una comparativa normativa de distintas potencias económicas en relación a la regulación del fenómeno automatizado en la industria automotriz, señalándose, además, la necesidad de remodelar el concepto de responsabilidad en caso de accidente de tráfico.

Asimismo, otra meta marcada por el proyecto será la de evaluar e informar la situación actual que vive la automatización del vehículo, señalando los posibles efectos de la expansión de su implementación en diferentes horizontes temporales. De esta forma, se diseñará un esquema de las principales implicaciones tecnológicas, ambientales, sociales y económicas del despliegue del piloto automático en los automóviles y la

automatización del tráfico rodado. Además, se indagará en la controvertida temática relativa a la ética robótica preguntándonos: ¿Cómo gestiona un vehículo robotizado la decisión en una situación límite?

Finalmente, tras señalar los principales hallazgos, se indicarán una serie de recomendaciones, en forma de posibles acciones futuras, con el objeto de que la introducción de los vehículos autónomos en nuestra vida cotidiana sea una realidad.

1.3 Metodología

En cuanto a la metodología seguida a la hora de realizar el presente proyecto, se pueden diferenciar las diferentes etapas que se detallan a continuación:

- Recopilación pormenorizada de todos los estudios de investigación relativos al tema, así como búsqueda detallada de la información útil para el caso.
- Revisión bibliográfica y del estado de la técnica mediante el acceso a las principales fuentes y bases de datos generalistas, científicas y tecnológicas relacionadas con los objetivos y problemas a abordar. A este respecto, se aceptarán los artículos y documentos más relevantes publicados en los últimos cinco años, es decir, desde el año 2012, si bien cabe destacar que se dará un mayor peso a los más recientes. Por su parte, la búsqueda de información se realizará principalmente en inglés por ser la lengua vehicular en el campo científico y tecnológico, aunque también en español.
- Análisis cuantitativo, cualitativo y crítico de los contenidos normativos y científicos.
- Evaluación final y redacción del informe tecnológico de tipo técnico y prospectivo.

2. ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS AUTÓNOMOS

Si se desea entender hacia dónde nos dirigimos es necesario echar la vista atrás y realizar un análisis retrospectivo de la evolución de la tecnología de la automatización en los medios de transporte a lo largo de la historia. Solo de esta forma seremos capaces de entender nuestro punto de partida y las importantes implicaciones que para nuestro futuro puede tener su expansión y lanzamiento a gran escala.

De esta forma, el primer sistema autónomo de la historia integrado en un medio de transporte, capaz de guiarlo sin la ayuda de un ser humano, fue instalado en una aeronave. El inventor americano Lawrence Sperry ideó, ya en 1912, el primer piloto automático de avión, también conocido como autopiloto. A este respecto, el mecanismo de dicho dispositivo era bastante simple: una brújula magnética y un indicador de altitud giroscópico conectados a los mandos de vuelo de la aeronave: el timón, los elevadores y los alerones. También contaba con un equipo de localización automática de dirección, llamado Automatic Direction Finder (ADF).

Cabe destacar que este sistema requería de unas balizas de radio NDB situadas en tierra para su correcto funcionamiento, de manera que actuaran de emisor. De esta forma, gracias a los dos sistemas anteriores, el avión se mantenía a velocidad constante en vuelo recto y nivelado (sin guiñada, ni cabeceo, ni alabeo)³, de manera que no existía necesidad de que el piloto tuviera que sostener la palanca de mando durante todo el tiempo de vuelo. Por tanto, la finalidad del piloto automático consistía en asistir al piloto y liberarle de parte del trabajo, dado que es un hecho humano que el mismo pudiera sentir fatiga después de horas de vuelo.

No obstante, el sistema tenía una gran limitación, ya que el avión no era capaz de detectar una incidencia o un imprevisto como, por ejemplo, otro avión cruzando la trayectoria, por lo que el piloto debía estar pendiente durante el vuelo para cambiar de rumbo si era necesario. Más adelante, en 1914 se probó el sistema en un vuelo real y pocos años después, en 1920, un barco⁴ utilizó por primera vez un piloto automático.

³ Giros en los ejes transversal, longitudinal y vertical del avión.

⁴ El petrolero de la Standard Oil J.A Moffet.

Entre los años 1920 y 1930, se empezó a introducir el autopiloto en aviones de pasajeros. A este respecto, cabe destacar que un hito clave en el desarrollo de los sistemas de control automático fue la Segunda Guerra Mundial, momento en el que ambos bandos investigaron para mejorar el sistema e incluirlo en sus bombarderos de largo alcance.

Ya finalizado el conflicto bélico, un 27 de septiembre de 1947, se estableció un nuevo récord: un avión C-54 estadounidense voló desde Curphey (Terranova, Canadá) hasta Brize Norton (Gran Bretaña) sin que ni su comandante ni sus tripulantes tuvieran que intervenir durante todo el trayecto (incluyendo el despegue y aterrizaje).

De esta forma, se puede observar como la tecnología de la automatización fue capaz de revolucionar los medios de transporte aéreos y marítimos, si bien dada la simplicidad de los autopilotos era impensable su aplicación práctica a los vehículos terrestres. No obstante, tal innovación permitió que desde entonces los aviones y barcos puedan recorrer largas distancias en línea recta de forma autónoma.

A continuación, se detallarán los primeros pasos seguidos en la historia de la revolución automotriz para incluir tal autonomía en los vehículos por carretera.

3. HISTORIA Y EVOLUCIÓN DEL VEHÍCULO TERRESTRE AUTÓNOMO

A pesar de que se pueda creer que estamos en el principio de la investigación sobre la automatización de los vehículos, lo cierto es que éstos ya tienen una corta pero frenética historia.

En los años 20, en Milwaukee (EEUU), una pequeña empresa llamada Achen Motor, soñó con el primer coche auto pilotado de la historia. Con una tecnología muy primitiva logró construir un prototipo de coche sin conductor; sin embargo, éste necesitaba de un segundo vehículo conducido por un humano para poder ser controlado, de manera que le debía enviar las órdenes de conducción al primero a través de señales de radio leídas mediante un receptor instalado en el primer vehículo. El prototipo se quedó solo en eso, en un boceto.

De esta forma, se tiene que esperar hasta 1937 para que vuelva a aparecer en la industria automovilística la idea de los vehículos sin conductor. Fue en una exposición, llamada “Futurama”, celebrada en la ciudad de Nueva York, donde se trataba de predecir cómo sería la vida en un futuro próximo, concretamente 20 años después. El evento, patrocinado por General Motors ⁵, contaba con un ingeniero, llamado Normal Bel Geddes, inventor de un modelo de carretera inteligente capaz de aportar energía a los vehículos eléctricos que circulaban sobre la misma; sin embargo, no fue hasta la década de los 60, cuando la compañía de electrónica Radio Corporation of America y la propia General Motors exploraron de nuevo esta idea.

⁵ General Motors es el primer fabricante mundial de automóviles.



Fig. 3.1 Primera fotografía (en 1957) icónica de la conducción autónoma. En un anuncio de las compañías eléctricas de América se podía ver a una familia circulando por una autopista en un coche autónomo mientras jugaban en la parte trasera. Disponible en: <http://www.autopista.es/tecnologia/articulo/coche-autonomo-conduce-solo-retos>

Años más tarde, tras que los primeros pasos de la automatización de los vehículos se dieran en América del Norte, la investigación en este campo cambió de continente hacia Europa. De esta forma, buena parte de los logros conseguidos en la automoción inteligente se deben a Alemania y, más concretamente, a Ernst Dickmanns. Ernst fue un experto en inteligencia artificial y profesor de la Bundeswehr University de Múnich, cuyo logro se basó en combinar correctamente sus conocimientos de inteligencia artificial con los primeros microprocesadores Intel, plasmando así su revolucionaria idea de dotar de visión a los cuerpos en movimiento.

En 1986 logró su primer gran éxito, de la mano de la famosa compañía automotriz Daimler-Benz⁶, quien encargó a Dickmanns y a su equipo de la Universidad de Múnich, el diseño de una furgoneta capaz de conducir autónomamente gracias a su sistema de visión dinámica.

Ante el potencial de un proyecto tan revolucionario como prometedor, tanto los grandes fabricantes de coches europeos, como los organismos públicos dentro del proyecto europeo EUREKA Prometheus, realizaron una inversión de 800 millones de euros para competir a través de él con las investigaciones en automoción de otros países como EEUU y Japón.

⁶ Considerados los “padres del automóvil”. Karl Benz patentó en 1886 el primer coche de combustión interna de la historia. Fuente: <https://www.autobild.es/reportajes/el-automovil-nacio-hace-125-anos> [Consulta: 05-09-2017]

La furgoneta de Dickmanns disponía de una cámara, sensores y un sistema que ocupaba buena parte de la parte trasera. Con ello, la furgoneta era capaz de controlar el acelerador, los frenos y el volante para circular por la carretera sin invadir el arcén. Por el contrario, presentaba como inconveniente la necesidad de contar con dos operadores que debían supervisar el funcionamiento de su complejo sistema.

El 'software' era capaz de detectar las líneas de la carretera en tiempo real gracias a la evaluación de las imágenes que tomaba la cámara: tan sólo se analizaban ciertas zonas de la imagen, y únicamente determinados fotogramas de una secuencia, para lograr modelar el comportamiento del vehículo y conseguir que siguiera su camino. En 1987, la furgoneta ya era capaz de alcanzar una velocidad máxima de 96 km/h a lo largo de 20 kilómetros.

Paralelamente, Japón y Estados Unidos seguían en la lucha contra Europa para poner en marcha los primeros vehículos autónomos. Ellos confiaban en el LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) y en la visión computarizada, una tecnología que sirve para medir distancias entre un objeto o superficie y el emisor láser utilizando un haz láser pulsado. Esta distancia se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

La Universidad Carnegie Mellon (Pensilvania, EEUU) desarrolló un vehículo (Navlab) dotado de un radar. De esta forma, a finales de la década de los 80, el Navlab, que contaba con el apoyo de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados del Departamento de Defensa de Estados Unidos (DARPA), circulaba a 30 km/h, si bien era una velocidad considerablemente inferior a la furgoneta de Dickmanns.

De nuevo en Estados Unidos, concretamente en California, en el año 1987, los laboratorios HRL construyeron un vehículo que era capaz de seguir una nueva ruta si se salía del mapa preestablecido inicialmente. De esta forma, el automóvil consiguió circular durante más de 600 metros a través de terrenos complejos que albergaban pendientes, rocas grandes, vegetación, etc.

Por su parte, Ernst Dickmanns, convencido de que su tecnología basada en la simplicidad de la visión dinámica era netamente superior a la desarrollada por la competencia, por cuanto no necesitaba de láseres, radares, ni GPS, continuó desarrollando vehículos autónomos para Daimler-Benz.

En este sentido, cabe destacar que dos de los años señalados en la vida de Dickmanns fueron 1994 y 1995. El primer logro fue la presentación final del proyecto PROMETHEUS en 1994, cerca del aeropuerto Charles-de-Gaulle en París. De esta forma, con los pasajeros a bordo, los vehículos gemelos de VITA-2 y Mercedes 500 SEL (VaMP) condujeron autónomamente, si bien con pequeñas intervenciones humanas, más de mil kilómetros por una autopista de tres carriles, en días habituales y con tráfico intenso alcanzando velocidades de hasta 130 km/h. Para ello cuatro cámaras sirvieron como visión trasera y delantera, logrando que estos coches reconocieran a otros doce automóviles al mismo tiempo en una autopista de tres carriles, decidiéndose incluso a cambiar de carril si era necesario.

Un año más tarde, se alcanzó el segundo hito. El equipo de Dickmanns modificó un Mercedes-Benz Clase S para realizar un viaje de ida y vuelta entre Múnich y Copenhague, usando una visión computarizada con movimientos sacádicos⁷ y un ordenador para reaccionar en tiempo real. El vehículo robotizado consiguió alcanzar velocidades superiores a 175 km/h en las autovías alemanas, logrando una conducción autónoma durante un 95% del trayecto. Como su predecesor, el vehículo condujo con tráfico, ejecutando maniobras para adelantar a otros vehículos.

Paralelamente, como parte de la carrera por desarrollar el mejor coche autónomo del mundo, investigadores de la Carnegie Mellon (EEUU) ya habían conseguido que su Navlab realizara un viaje de 4.500 kilómetros con la ayuda de giróscopos, cámaras y un receptor GPS.

Cabe destacar que, si bien Dickmanns continuó investigando su sistema hasta su jubilación en el año 2004, en los últimos tiempos no logró avances revolucionarios; sin embargo, Mercedes-Benz siguió aplicando sus hallazgos en los sistemas de asistencia a la conducción, trasladando las averiguaciones de Dickmans a otros campos, como la visión dinámica de vehículos aéreos no tripulados o drones. Aún así se debe reseñar que no se lograron eliminar las limitaciones existentes para que sus coches fueran realmente capaces de circular en todas las condiciones.

Por su parte, muchos otros investigadores llegaron años más tarde con ideas renovadas para la automatización de los vehículos terrestres. De esta forma, en el año

⁷ Un movimiento sacádico es un movimiento rápido del ojo, cabeza u otra parte del cuerpo de un animal o dispositivo.

2005, el vehículo con LIDAR y navegación GPS de Sebastian Thrun, conocido como “Stanley” ganó el DARPA Grand Challenge, la gran carrera de automóviles autónomos estadounidense. Ante tal éxito, Sebastian Thrun comenzó a desarrollar el conocido vehículo autónomo de Google.

De esta forma, todo ello permite entender el contexto actual en el que se encuentra la automatización de los vehículos terrestres, observando que existen diversas corrientes y propuestas que han discurrido históricamente de forma paralela. A este respecto, se debe subrayar que los últimos avances en el campo no restan valor a los hitos logrados por Ernst Dickmans, fiel defensor y pionero de la implementación de la autonomía en los vehículos por carretera.

4. DISPOSITIVOS TECNOLÓGICOS EN LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Antes de entrar a examinar el fondo del asunto es necesario llevar a cabo una serie de precisiones terminológicas que permitan entender plenamente el impacto y relevancia de estas obras de la ingeniería.

De esta forma, en primer lugar, se debe detallar el alcance de la expresión “vehículo autónomo.” A este respecto, se identifica dicho término con aquellos automóviles capaces de ejecutar una o más tareas de conducción automáticamente gracias al sistema de abordo integrado en su equipo; sin embargo, debe subrayarse que este concepto integra una amplia gama de escalas de autonomía siendo su máximo exponente el denominado “self-driving vehicle” diseñado para conducir autónomamente sin necesidad de control humano.

Otra distinción encontrada en la literatura se basa en las diferencias existentes entre el “vehículo autónomo” y el “vehículo conectado”. En este sentido, los vehículos autónomos se valen de sistemas a bordo capaces de recopilar información, gestionar alternativas, informar tareas y tomar decisiones. En cambio, los vehículos conectados necesitan una red para comunicarse con otros vehículos, dispositivos personales (por ejemplo, teléfonos inteligentes) o la estructura de tráfico circundante para recopilar información y realizar tareas de conducción.

Sin embargo, pese a ser cierto que los conceptos “vehículo autónomo” y “conectado” aluden a términos con diferentes connotaciones teóricas, la realidad práctica ha reflejado la intensa vinculación existente entre los mismos. En efecto, no se puede entender la evolución hacia el vehículo autónomo sin la existencia de tecnologías de conexión, ya existentes en los vehículos no autónomos como el dispositivo E-Call, capaz de alertar a los servicios de emergencia en caso de accidente de tráfico.

Por su parte, debe destacarse el importante papel que juegan los sistemas de tiempo real en la autonomía de los vehículos terrestres, permitiéndoles circular tanto por tramos de carretera como por zonas urbanas al tiempo que reaccionan a los posibles imprevistos que puedan darse. Dichos sistemas son dispositivos informáticos capaces de

responder a los estímulos del entorno en el momento concreto. Por tanto, la disyuntiva que se plantea es que dichas respuestas o acciones no sólo deben ser las correctas, sino que además deben adoptarse en el momento preestablecido.

Asimismo, antes de profundizar sobre los dispositivos que componen un vehículo autónomo, debe indicarse que todo vehículo inteligente debe contar como mínimo con un sistema de localización, un sistema de planificación, un sistema de percepción del entorno y lógicamente, un sistema de control.

Dentro de cada uno de los sistemas anteriores nos encontramos con los dos siguientes tipos de componentes: el software y el hardware. En este caso concreto, el software es el soporte lógico e inmaterial que permite que el vehículo robotizado pueda desempeñar tareas inteligentes, dirigiendo a los componentes físicos (o hardware) con instrucciones y datos a través de diferentes tipos de programas.

4.1 Software

A diferencia de aplicaciones más simples, un sistema de control diseñado para un vehículo autónomo no sigue los algoritmos de programación clásicos del estilo “*if (...) then (...) else (...)*”, dado que ello carecería de sentido y no sería práctico, por cuanto existen múltiples eventualidades a las que debe enfrentarse un vehículo automatizado en su proceso de conducción. A este respecto, establecer como algoritmo el siguiente supuesto: “Si se cruza una persona en medio de la calzada, entonces el vehículo reducirá su velocidad hasta llegar a pararse” sería inútil para el caso de que hubiera un animal o una roca enorme.

En efecto, tal y como hemos señalado, la existencia de múltiples situaciones posibles durante la conducción de un vehículo hace que este tipo de configuraciones informáticas de control no sea el adecuado. Por lo tanto, en lugar de implementar innumerables normas para tratar de dar respuesta a todo tipo de eventos, es mucho más práctico y eficaz implementar un algoritmo de aprendizaje autónomo, conocido como “Machine Learning”.

En este sentido, el “Machine Learning” es una disciplina científica del ámbito de la Inteligencia Artificial que crea sistemas capaces de aprender autónomamente y tomar decisiones por sí mismos. A este respecto, cabe destacar que dicho aprendizaje es posible

gracias a la detección de patrones dentro de un conjunto de datos, de manera que es el propio programa el que predice qué situaciones podrían darse o no. De esta forma, son estos cálculos los que les permiten auto aprender para, finalmente, tomar decisiones.

En el caso de los vehículos autómatas, el sistema se “entrena” con distintas imágenes que ejemplifican todas las situaciones posibles, de manera que el algoritmo empieza a procesar las imágenes. Ello implica que, inicialmente, intenta adivinar qué vehículo hay en cada imagen, equivocándose muy a menudo al principio; sin embargo, como conoce “la solución”, es decir, que vehículo hay realmente en cada imagen, modifica y adapta parámetros internos, volviéndolo a intentar. De esta forma, el proceso continúa, reduciendo iterativamente la tasa de fallos. Más adelante, cuando se le presentan nuevas imágenes será capaz de clasificarlas correctamente pudiendo afirmar que el sistema ha completado la fase de aprendizaje.

Asimismo, el citado enfoque puede utilizarse para la toma y evaluación de decisiones. De esta forma, se entrena un algoritmo con situaciones de tráfico en las que se especifica la acción correcta a tomar y se imita la situación definida anteriormente, tratando el algoritmo de adivinar la acción correcta y modificando sus parámetros internos en función de si está en lo cierto o no.

Finalmente, con el objeto de complementar el sistema conocido como “Machine Learning”, se usan unos modelos probabilísticos. Y ello porque el coche necesita predecir su propia posición, así como la de todos los objetos que identifica, bien sean peatones u otros vehículos, para poder tomar una decisión. De esta forma, como no sabe la posición en la que se encuentran, trata de predecirla utilizando distribuciones de probabilidad.

4.2 Hardware

Con el objeto de poder tomar decisiones acertadas sin la ayuda del conductor, el coche necesita recopilar toda la información disponible de su entorno. Para ello, los vehículos cuentan con una serie de sensores y cámaras que permiten la captación de información de todo lo que sucede alrededor del automóvil. Más concretamente, cada vehículo suele estar equipado con una unidad GPS, un sistema de navegación inercial, el cual permite obtener la posición, velocidad y orientación de un vehículo en movimiento, así como de una serie de sensores: de ultrasonidos, medidores láser, un radar y un LIDAR.

De esta forma, uno de los procesos más importantes para que un vehículo pueda ser autónomo es el de elaborar un mapa del entorno donde se localice la posición del propio coche a partir de la utilización de cámaras y medidores laser. El medidor laser, conocido como LIDAR, es capaz de escanear el entorno haciendo sucesivas pasadas a través de las que calcula la distancia que existe del vehículo a los objetos cercanos, en base al tiempo que el haz de luz emitida tarda en volver, tras ser reflejada por el objeto. En este sentido, al combinarse la información proporcionada por el LIDAR con la obtenida por la cámara, es posible generar un modelo tridimensional del entorno.

Por su parte, el segundo proceso a realizar es conocer la posición relativa del automóvil en el mapa. Para ello se utiliza el GPS y el sistema de navegación inercial. A este respecto, cabe destacar que únicamente con el GPS no bastaría ya que éste tiene un error de posición de varios metros, debido a un retraso en la emisión. Es por ello que también se utiliza el sistema de navegación inercial para reducir el error, logrando una mayor precisión.

5. MARCO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

En el siguiente epígrafe se analizan los diferentes niveles de autonomía que puede alcanzar un vehículo discerniendo, de una parte, sistemas autómatas actualmente ya disponibles en el mercado, y, de otra, aquellos más desafiantes, todavía en fase de investigación y desarrollo, que avanzan hacia la conducción plenamente autónoma sin necesidad de control humano.

5.1 Estándar SAE J3016⁸

En el año 2014, con el objeto de delimitar conceptos en el contexto técnico y legislativo, así como para facilitar el entendimiento de las tecnologías autómatas, la Sociedad de Ingenieros de Automoción, SAE International, propuso una clasificación estándar mediante la cual, categorizaba los vehículos terrestres en seis niveles diferentes que comprendían desde el Nivel 0 de no autonomía, hasta el Nivel 5 de autonomía plena. De esta forma, la citada categorización valoraba la capacidad de conducción autónoma que ostentaba un vehículo.

La clasificación considera la capacidad del vehículo para controlar su posición y entender las características del entorno que le rodea, así como la posibilidad de que el conductor se dedique a otras tareas durante el trayecto.

A estos efectos, la categorización se fundamenta en cuatro aspectos distintivos vitales que determinan el grado de automatización del vehículo.

En primer lugar, se determina el responsable del movimiento del vehículo, es decir, si su ejecución emana del conductor humano o del propio automóvil robotizado. Al respecto se debe diferenciar entre movimientos longitudinales, relativos a las acciones de acelerar y frenar, y movimientos laterales, referentes a la dirección del vehículo.

⁸ El estándar SAE J3016 se encuentra, en inglés, en el anexo I.

Cuando los movimientos longitudinales son controlados por el propio vehículo éste lleva integrados dispositivos automatizados capaces de mantener la velocidad, la distancia con el automóvil de delante y reaccionar si aparecen elementos en la calzada. En definitiva, dirigen las acciones de aceleración y frenado. Un claro ejemplo sería el sistema de control de velocidad de crucero adaptativo (ACC).

Por su parte, los movimientos laterales hacen referencia a la capacidad de los sistemas automatizados del vehículo para detectar su localización respecto a los bordes de la carretera. De esta manera, existe una toma de control de la dirección del vehículo para mantenerlo dentro de la calzada llegando, incluso, a tomar curvas de forma autónoma. Ejemplos de sistemas automatizados de control de movimientos laterales serían los sistemas activos (ASS); ya que, otros dispositivos como el sistema de frenado autónomo de emergencia y el asistente de mantenimiento en el carril únicamente actúan de forma momentánea en caso de distracción del conductor.

En segundo lugar, se señala si es el conductor o el vehículo robotizado el encargado de detectar y responder ante posibles contingencias externas mediante el uso de sistemas que monitorizan el entorno y ámbito de conducción del vehículo.

En tercer lugar, se identifica al responsable final de la conducción, es decir, al encargado de actuar en supuestos de fallo en los sistemas automatizados o de alteración de las condiciones óptimas.

Finalmente, se detallan las condiciones concretas bajo las cuales el funcionamiento de los sistemas de automatización es óptimo. Por consiguiente, se debe especificar los requerimientos horarios, clases de vías, densidad del tráfico rodado, situación meteorológica, velocidad límite, etc.

A continuación, se detallan las características de los niveles de autonomía propuestos por SAE International siendo de especial relevancia la evolución que existe de los niveles 0 a 2, bajo los cuales la responsabilidad y control de la conducción corresponde al conductor, a los niveles 3 a 5, que incluyen sistemas verdaderamente autónomos que permiten, bajo ciertas condiciones, controlar la conducción y responder ante factores externos sin la intervención del conductor.

5.1.1 Nivel 0 – No autonomía.

En la presente categoría, el vehículo no integra sistemas automatizados. El conductor es el responsable de supervisar el entorno, controlar plenamente la conducción, ejecutar todos los movimientos, tanto longitudinales como laterales, y tomar decisiones.

A este respecto, cabe destacar que los vehículos convencionales con sistemas de frenado automatizado de emergencia o de mantenimiento en la vía siguen teniendo la consideración de categoría 0.

5.1.2 Nivel 1 – Asistencia al conductor.

En este caso, el vehículo integra algún tipo de sistema de automatización de la conducción, bien sea para asistir al conductor en los movimientos de tipo longitudinal o bien para los de tipología lateral, pero no cuenta con ambos.

Por tanto, el conductor del automóvil debe llevar a cabo las restantes funciones de conducción dado que no existe un sistema completo de detección y respuesta autónoma del vehículo ante las posibles contingencias. El claro ejemplo de ello sería un sistema capaz de detectar el vehículo precedente pero no un humano cruzando la calzada. Ello implica que el correcto funcionamiento del dispositivo automatizado solo se da bajo ciertas premisas.

A estos efectos, se puede afirmar que el conductor del vehículo debe seguir prestando toda su atención a la conducción contando únicamente con cierto grado de asistencia tecnológica para lograr un mejor control del vehículo.

Por consiguiente, aquellos vehículos con sistemas de control de velocidad de crucero adaptativos, que además de mantener la velocidad son capaces de frenar, acelerar y guardar la distancia de seguridad, ostentan la consideración de nivel 1. Igualmente, se encontrarán en esta categoría los vehículos que integran un sistema de aparcamiento asistido o de mantenimiento del vehículo dentro de los límites de la vía, que únicamente ejerza control sobre la dirección, pero no sobre las acciones de marcha y frenado del vehículo.

5.1.3 Nivel 2 – Automatización parcial

Esta categoría supone un avance respecto a la anterior, por cuanto el vehículo integra sistemas automatizados para el control y ejecución tanto de los movimientos longitudinales como laterales. Es decir, el conductor no tiene que encargarse de las funciones relativas a la aceleración y frenado del vehículo, así como al control de su posición y dirección, dado que el vehículo lo hace autónomamente.

Ahora bien, como en el nivel anterior, el vehículo no es capaz de detectar ni reaccionar ante cualquier suceso. Por tanto, el conductor mantiene la labor plena de supervisión y toma de decisiones ante las posibles contingencias, señalando de nuevo que el correcto funcionamiento de los sistemas únicamente se da bajo ciertas condiciones previamente codificadas.

En este nivel se incluirían vehículos que integraran un piloto automático temporal para autopista, un sistema de asistente para atascos de tráfico o un sistema de aparcamiento asistido, pero esta vez si con control sobre la dirección del vehículo y además sobre el acelerador y freno.

Por tanto, del nivel 0 al nivel 2 el conductor nunca pierde su papel debiendo supervisar y controlar la conducción durante todo el trayecto.

5.1.4 Nivel 3 – Automatización condicionada

La nota más distintiva de la presente categoría es que el conductor ya no ostenta su tradicional status por cuanto el vehículo incorpora sistemas automatizados capaces de detectar y reaccionar ante elementos y contingencias de forma plena.

Por tanto, además de integrar dispositivos automatizados capaces de controlar ambas modalidades de movimientos, el vehículo es apto para responder ante determinados sucesos. No obstante, como ya se ha adelantado, el funcionamiento de los citados sistemas automatizados de reacción está limitado a ciertas condiciones y presupuestos.

Por ello, el conductor se convierte en un usuario capaz de tomar la conducción en el caso de que el sistema automatizado reclame su intervención o se produzca un fallo o

pérdida de las condiciones que impida el correcto funcionamiento de la maquinaria autónoma.

En este sentido, resulta de especial relevancia que los vehículos de nivel 3 deben ser capaces de alertar al usuario con el suficiente tiempo de antelación para que pueda tomar el control del vehículo.

5.1.5 Nivel 4 – Automatización elevada

A partir de la presente categoría queda extinta la figura del conductor por cuanto deja de ser necesaria la intervención humana. Además de contar con sistemas automatizados de control de los movimientos laterales y longitudinales, así como de reacción ante elementos y contingencias de forma total, el vehículo integra un sistema autónomo de asistencia de seguridad para el caso de fallo del sistema autónomo matriz.

De esta manera, el sistema autónomo de respaldo tomaría la conducción del vehículo y lo desplazaría hasta una posición sin peligro en caso de que el sistema principal se reflejara incapaz de reaccionar ante una determinada situación.

No obstante, es cierto que el óptimo engranaje del sistema queda circunscrito a ciertas circunstancias por lo que podrían darse supuestos en los que el vehículo no pudiera seguir conduciendo. Ello implica que el automóvil únicamente será capaz de circular autónomamente en aquellas situaciones en las que disponga de suficiente información.

5.1.6 Nivel 5 – Automatización completa

Esta categoría es el máximo exponente del vehículo autónomo y un auténtico reto, tanto para la tecnología como para la sociedad. El gran logro se halla en el hecho de que no existen límites a la conducción autónoma del vehículo que puede seguir conduciendo bajo cualquier circunstancia y condición. Ello es posible gracias a que los sistemas automatizados se diseñan con tal grado de inteligencia artificial que no existen circunstancias que limiten el correcto funcionamiento de los mismos.

Por tanto, esta tipología de vehículos integra sistemas automatizados de control y ejecución de los movimientos laterales y longitudinales, de detección y reacción plena ante cualquier clase de contingencia u objeto, así como de asistencia en caso de fallo del

sistema autónomo matriz posibilitando en cualquier situación y contexto la continuación del trayecto.

En los supuestos del nivel 4 y 5 no sería mandataria la incorporación de elementos de control y dirección del vehículo (volante y pedales) por cuanto no es necesaria la figura del conductor, ni de un usuario de asistencia para el caso de fallo en el sistema automatizado. Es decir, los individuos que viajen en el vehículo autónomo de nivel 4 o 5 son meros pasajeros.

Ahora bien, el estándar SAE J3016 admite la posibilidad de que el fabricante decida mantener la figura del conductor de manera que éste sea quien decida cuando activar o desactivar la conducción autónoma del vehículo, si bien, desde un punto de vista técnico, en los dos últimos niveles no sería necesario.



Fig. 5.1 Esquema de los niveles de autonomía de la norma SAE J3016. Disponible en:
<http://www.20minutos.es/noticia/2825372/0/clasificacion-coches-autonomos/>
[Consulta: 13/09/2017]

5.2 Clasificación de vehículos autónomos NHTSA

La Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras (NHTSA⁹ por sus siglas en inglés) es uno de los organismos pertenecientes al Departamento de

⁹ NHTSA, U.S. Department of Transportation's National Highway Traffic Safety Administration. Se encarga de proporcionar directrices a los Estados para la prueba de las tecnologías automovilísticas emergentes.

Transporte del Gobierno de los Estados Unidos. Tal agencia estatal contribuye a despejar la confusión existente en torno al fenómeno autónomo proporcionando una segunda clasificación de los niveles de automatización que puede alcanzar un vehículo.

La presente clasificación divide los vehículos existentes en cinco subgrupos diferentes, incluyendo el Nivel 0 de autonomía nula. En este sentido, cabe destacar que es posible encontrar cierta analogía entre los primeros cuatro niveles de ambas clasificaciones. Por cuanto, si bien es cierto que el título de cada una de ellas puede cambiar, la definición subyacente que de los mismos se hace es muy similar.

Según lo dicho, en la clasificación diseñada por NHTSA los vehículos quedan categorizados de la siguiente forma en función de su grado de automatización:

- Nivel 0 - No autonomía.
- Nivel 1 – Función autónoma específica.
- Nivel 2 – Funciones autónomas combinadas.
- Nivel 3 – Conducción autónoma limitada.
- Nivel 4 – Conducción autónoma plena.

Como ya se ha señalado previamente, las primeras cuatro categorías coinciden en ambas clasificaciones remitiéndome, por tanto, a la descripción ya dada; sin embargo, es palpable que a medida que existe un incremento de autonomía en los vehículos aparece la principal diferencia entre ambas ordenaciones. A este respecto cabe subrayar que la Sociedad Internacional de Ingenieros de la Automoción diferencia en sus dos últimos niveles entre alta y plena autonomía, mientras que el catálogo diseñado por el NHTSA considera ambos conceptos como integrantes del Nivel 4 de conducción autónoma plena.

Si bien es cierto que en sus inicios la ordenación de NHTSA era adoptada con frecuencia para discernir el nivel de autonomía de los vehículos, en la actualidad se ha generalizado el uso de la categorización proporcionada por la Sociedad Internacional de Ingenieros de la Automoción al ser más completa.

5.3 Otras clasificaciones

A continuación, se señalan otras ordenaciones relativas a los niveles de autonomía de los vehículos que vienen a reiterar lo dicho hasta ahora. En esta línea, encontramos, de una parte, la clasificación VDA¹⁰ diseñada por la Asociación Alemana de Industria Automovilística y, de otra parte, la categorización BAST¹¹ que analiza las consecuencias legales de incrementar la autonomía de los vehículos.

En este sentido, a pesar de que existan diferentes ordenaciones para describir los niveles de autonomía de un vehículo, se debe subrayar que ello únicamente obedece a que son organismos distintos los que lo diseñan resaltando los puntos más interconectados con sus objetivos. Por tanto, el sustrato de los sistemas de clasificación es muy similar entre ellos.

A continuación, se analizarán pormenorizadamente las tecnologías automatizadas integrantes de los vehículos actuales y futuros. Para ello se ha realizado una distinción entre, de una parte, dispositivos tecnológicos ya perfeccionados cuyo uso es generalizado en la industria automovilística y, de otra parte, sistemas tecnológicos complejos, todavía en fase de investigación y desarrollado, cuya incorporación se espera en un periodo medio de tiempo.

5.4 Dispositivos tecnológicos ya disponibles en el mercado

5.4.1 Tecnología en el nivel 0 – no autonomía

Desde inicios de la década de los 70 los fabricantes de automóviles, especialmente en EEUU y Europa, han instalado dispositivos tecnológicos capaces de ejecutar funciones básicas de la conducción con el objeto de mejorar la seguridad y el confort del vehículo. En este sentido, se debe subrayar que fueron Mercedes-Benz, Chrysler, General Motors y Ford los primeros en desarrollar prototipos propios de asistencia en la conducción.

¹⁰ VDA (German Association of Automotive Industry), se encuentra integrada por Audi, BMW, Bosch, Continental, Delphi, Daimler, Denso, Ford, Knorr Bremse, MAN, Opel, Porsche, Valeo, Volkswagen y Wabco.

¹¹ Los artífices de la categoría BAST son BASt, BMW, Bosch, Daimler, DLR, Volkswagen, Universidad de Berlín y Universidad de Braunschweig.

Esta tipología de sistemas, que toma el control de los vehículos en situaciones momentáneas de emergencia, se encuentra ya integrada en vehículos disponibles en el mercado y pertenecen al nivel 0 de no automatización, de acuerdo con lo dispuesto en la clasificación SAE.

En esta categoría se incluirían los Sistemas de Frenado Antibloqueo (Sistemas ABS), es decir, dispositivos de circuito cerrado que previenen el bloqueo de las ruedas durante el frenado y, como resultado, mantienen la estabilidad y dirección del vehículo; los Sistemas de Control de Tracción (TCS) que evitan que las ruedas giren al arrancar y acelerar; y, asimismo, el Sistema de Control Electrónico de Estabilidad (ESC) capaz de aplicar fuerza de frenado a las ruedas individuales con el objeto de reducir la potencia del motor para restaurar la estabilidad del vehículo al detectar que el derrape es inminente. En este sentido, cabe destacar que a diferencia de los Sistemas ABS y TCS, que solo actúan longitudinalmente, los Sistemas ECS también mejoran la dinámica lateral de los vehículos, garantizando así una conducción estable en todas las direcciones.

Otros dispositivos pertenecientes a esta categoría son los Sistemas Avanzados de Frenado de Emergencia (AEBS) que aplican automáticamente el frenado de emergencia si los sensores que controlan el vehículo precedente detectan situaciones donde la velocidad relativa y la distancia entre ambos vehículos alertan de una inminente colisión.

Además, existe otro conjunto de sistemas de asistencia, pertenecientes también al nivel 0 de no automatización, que se encuentran integrados en buena parte de los vehículos disponibles en el mercado. Esta tipología de dispositivos ayuda al conductor a realizar operaciones específicas, como estacionar, o le advierten de que no se dan las condiciones de seguridad idóneas para la conducción. A continuación, se muestra la descripción de algunos de los dispositivos más extendidos pertenecientes a esta categoría.

De una parte, encontramos el Dispositivo de Control de Distancia de Estacionamiento (PDC) que asiste las maniobras de estacionamiento avisando acústica u ópticamente al conductor sobre la distancia existente entre en vehículo y los obstáculos más cercanos. De otra parte, el Asistente de Cambio de Carril (LCA) supervisa las áreas existentes a ambos lados del vehículo, incluido el punto ciego, y advierte visualmente al conductor si detecta una situación potencialmente peligrosa cuando éste se encuentra a punto de cambiar de carril.

Asimismo, existe el Dispositivo de Advertencia de Salida del Carril (LDW) que advierte al conductor, ya sea visualmente, acústicamente o por medio de una vibración en el volante, de la salida del carril del vehículo. Esta señal se activa al detectar que el vehículo comienza a desviarse involuntariamente de su carril mientras se conduce en autopistas, autovías o carreteras principales.

Finalmente, sería reseñable el Dispositivo de Advertencia de Colisión Frontal (FCW) que alerta al conductor si los sensores de su radar detectan el riesgo de una colisión inminente con el vehículo que está delante. La advertencia puede consistir en una señal visual o acústica, así como en una sacudida de los frenos.

5.4.2 Tecnología en el nivel 1

A partir de la década de 1990, se introdujeron en el mercado una serie de sistemas de asistencia en la conducción más avanzados, capaces de ejecutar partes de la tarea de conducción dinámica en lugar del conductor. En efecto, estos son los inicios de la autonomía en el mundo automovilístico caracterizada por los siguientes sistemas automatizados de nivel 1.

De una parte, encontramos el Sistema de Asistencia para Aparcar (Sistema PA) que contribuye al estacionamiento dirigiendo automáticamente el vehículo a un espacio apto para ello, dejando solo la responsabilidad de acelerar y frenar al conductor. Cabe destacar que este dispositivo es capaz de medir el espacio de estacionamiento, asigna la posición de inicio y realiza los movimientos de dirección automáticamente. De otra parte, también es característico el Sistema de Mantenimiento en el Carril (Sistema LKA), resultado de la evolución del Sistema de Advertencia de Salida del Carril (LDW), que se activa para velocidades superiores a un límite determinado (por lo general, alrededor de 60 km/h). Este dispositivo es capaz de detectar los marcas del carril y tomar las medidas correctivas si el vehículo está a punto de salirse de la vía. Además, en caso de que el sistema no sea capaz de mantener el vehículo dentro de su carril, éste advierte al conductor de la misma manera que el Sistema LDW.

Asimismo, cabe hacer especial mención a los Sistemas de Control de Crucero Adaptativo (ACC), dispositivos inteligentes capaces de adaptar automáticamente la velocidad del vehículo en función de la celeridad del automóvil precedente. En este

sentido, el sistema monitorea la distancia y la velocidad del vehículo que se encuentra delante y, en caso de que esta distancia caiga por debajo de un umbral de seguridad, reduce la velocidad del automóvil. Por tanto, cuando no hay tráfico o el vehículo se halla a una distancia suficiente y adecuada respecto al vehículo delantero, el Sistema ACC mantiene la velocidad en el límite establecido por el conductor. Además, si el presente dispositivo se combina con una caja de cambios automática, el sistema puede frenar el vehículo hasta detenerlo por completo y toma el nombre de Sistema ACC, con parada y arranque automático.

Finalmente, se debe subrayar los esfuerzos que ha realizado la comunidad científica con el objeto de extender el presente Sistema ACC a los convoyes de camiones que circulan simultáneamente. En esta línea, se ha diseñado un dispositivo propio, todavía en fase de investigación y prueba, donde el último camión del pelotón adapta su velocidad a la celeridad del que va delante, basándose en la comunicación entre los dos camiones. Este sistema automatizado controla la aceleración y el frenado de tal manera que el camión posterior puede reducir notablemente la distancia de seguridad agilizando la circulación.

5.5 Dispositivos tecnológicos en fase de investigación y desarrollo

Según la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles¹², la industria automovilística europea invierte anualmente de media 41.500 millones de euros en investigación y desarrollo (I+D), lo que significa alrededor del 5% de su facturación total. No obstante, aunque esta cantidad se gasta en una variedad de programas de innovación y comprobación, es innegable que el desarrollo e implementación de sistemas automáticos avanzados representa uno de los principales intereses de los fabricantes de vehículos.

Estar a la vanguardia de la innovación tecnológica se considera un elemento esencial para garantizar una importante cuota de mercado en el futuro de la industria automovilística. En este sentido, el desarrollo de sistemas avanzados y automatizados

¹² Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA), Investigación e Innovación. Fuente disponible en: <http://www.acea.be/>

capaces de mejorar el confort y la seguridad en la conducción es, por tanto, un objetivo clave para los fabricantes de vehículos.

Teniendo esto en cuenta, está claro por qué los sistemas más avanzados, comparados con los de nivel 0 y nivel 1, están actualmente bajo estudio y prueba, y algunos ya están disponibles en el mercado.

5.5.1 Tecnología en el nivel 2

Los dispositivos automatizados que se incluyen en la presente categoría deben considerarse una evolución de los sistemas de nivel 1, ya que se activan en las mismas situaciones específicas (por ejemplo, estacionamiento), pero son capaces de ejecutar automáticamente aceleración/frenado y dirección. En esta línea, se encontraría el Sistema de Asistencia Automatizada para Estacionar, ya disponible en el mercado, capaz de controlar tanto la dirección como la aceleración/desaceleración del vehículo a la hora de aparcar.

La evolución de este sistema es el llamado Asistente Activo de Estacionamiento diseñado para completar autónomamente toda la maniobra de estacionamiento tras su activación remota por parte del conductor que puede ubicarse fuera del vehículo. Sin embargo, monitorear el proceso de estacionamiento e interrumpir la maniobra si es necesario, sigue siendo responsabilidad del conductor.

Asimismo, el Sistema de Asistencia en Atascos es un dispositivo autónomo de nivel 2 que puede considerarse como una extensión del Sistema ACC, con función de parada y arranque automatizado, ya que agrega la función de movimiento lateral a la capacidad de adaptar la velocidad según la distancia del vehículo precedente.

5.5.2 Tecnología en el nivel 3

En la presente categoría encontramos principalmente dos clases de sistemas autónomos que nacen de la evolución del Sistema de Asistencia en Atascos. Con el Sistema Traffic Jam Chauffeur, el vehículo puede circular de manera autónoma en carreteras rápidas (por ejemplo, autovías) a velocidades moderadas (por ejemplo, velocidades inferiores a 50 km/h) en situaciones de atasco. De otra parte, el Sistema Highway Chauffeur es una tecnología de control de crucero que permite al conductor

delegar la conducción en el vehículo durante largos viajes en la autovía, lo que podría ayudar a reducir la fatiga. Ahora bien, el conductor debe permanecer alerta por cuanto deberá hacerse cargo de la conducción y la toma de decisiones en ciertos supuestos.

Por tanto, estas tecnologías utilizan una dirección automatizada para mantener el vehículo en curso, un GPS de alta precisión para encontrar su ruta y una gama de sensores para permitir que el vehículo cambie de carril a la hora de adelantar o tomar un desvío.

En cuanto a los vehículos de transporte de mercancías, los niveles 2 y 3 están representados, por ejemplo, mediante la evolución del Sistema ACC Cooperativo para pelotones de camiones, ya mencionado anteriormente y conocido comúnmente como “platooning de camiones”. En este caso, dos o más camiones (un líder y un seguidor) cooperan de tal manera que el líder es conducido por un conductor humano, mientras que el siguiente funciona bajo maniobras longitudinales y laterales automatizadas, dirigidas por el líder a través de la utilización de un sistema de comunicación, vehículo a vehículo, instalado entre los dos. Esta tecnología, aunque todavía requiere la presencia de un conductor en cada camión, permite que el conductor del camión seguidor pueda emprender otras actividades durante el viaje.

5.5.3 Tecnología en los niveles 4 y 5¹³

La última etapa de la automatización de los vehículos consiste en la creación de automóviles altamente autónomos, que ya no están diseñados para asistir al conductor, sino para ejecutar y controlar todas las maniobras de la conducción autónomamente, sin necesidad de intervención humana bajo ningún supuesto.

Cómo se ha expuesto, la investigación en esta área comenzó en la década de 1980, gracias a los avances en Inteligencia Artificial (IA) y a la posibilidad de utilizar los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Durante la década de 1990, el Departamento de Defensa de los EEUU promovió el desarrollo de vehículos autónomos con fines militares financiando proyectos en

¹³ Las pruebas y los pilotos en esta área se están llevando a cabo con contribuciones de una variedad de organizaciones, incluidos los fabricantes de vehículos, las empresas de tecnología de la información y las autoridades públicas interesadas en la implementación de tecnologías completas de conducción autónoma.

universidades y compañías automovilísticas. De esta forma, como resultado del estímulo otorgado por estos estudios, desde la década de 2000 varios fabricantes de automóviles, incluidos General Motors, Mercedes Benz, Volkswagen, Audi, Nissan, Toyota y Volvo, comenzaron a diseñar y probar sus propios prototipos de vehículos sin conductor.

Cómo posteriormente se analizará, varias compañías automovilísticas y de las tecnologías de la información, tales como Toyota, Volvo y Google, están estudiando prototipos de vehículos automatizados que funcionan autónomamente en todo momento. Además, al mismo tiempo, los fabricantes de camiones (Scania, Volvo) están investigando sistemas altamente automatizados para sus vehículos y se han puesto en marcha varios proyectos relativos a sistemas autónomos de transporte público.

Por tanto, en cuanto a posibles dispositivos autónomos de nivel 4, se encuentra el Piloto Autónomo de Aparcamiento en Garaje, capaz de realizar todas las operaciones de estacionamiento en un garaje sin la necesidad de asistencia ni control humano para supervisar el proceso, que puede incluso iniciarse de forma remota. Otro sistema de nivel 4 sería el Piloto Autónomo en Autovía, capaz de ejecutar todas las maniobras de conducción en autovía sin necesidad de supervisión humana cuando el sistema se encuentra en su área operacional óptima.

Por último, los vehículos plenamente autónomos representan la etapa final de la automatización del vehículo¹⁴, horizonte hacia el que se espera avanzar progresivamente con el tiempo.

¹⁴ "Self-Driving" es solo el logro final de la automatización de los vehículos y, por el momento, la implementación de vehículos totalmente autónomos, capaces de conducir independientemente de las condiciones externas, aún requiere una cantidad considerable de investigación y avance tecnológico, así como de cambios legislativos que permitan su encuadre legal en la sociedad moderna actual.

Dispositivos tecnológicos	
Nivel 0	Sistema de Frenado Antibloqueo (ABS) Sistemas de Control de Tracción (TCS) Sistema de Control Electrónico de Estabilidad (ESC) Sistema Avanzado de Frenado de Emergencia (AEBS) Dispositivo de Control de Distancia de Estacionamiento (PDC) Asistente de Cambio de Carril (LCA) Dispositivo de Advertencia de Salida del Carril (LDW) Dispositivo de Advertencia de Colisión Frontal (FCW)
Nivel 1	Sistema para Aparcar (PA) Sistema de Mantenimiento de Carril (LKA) Sistema de Control de Crucero Adaptativo (ACC)
Nivel 2	Sistema de Asistencia Automatizada para Estacionar Asistente Activo de Estacionamiento Sistema de Asistencia en Atascos (ACC)
Nivel 3	Sistema Traffic Jam Chauffeur Sistema Highway Chauffeur Sistema ACC Cooperativo
Niveles 4 y 5	Piloto Autónomo de Aparcamiento en Garaje Piloto Autónomo en Autovía

Tabla 5.1 Dispositivos tecnológicos del Nivel 0 de autonomía al Nivel 5. Fuente: elaboración propia.

6. EL STATE-OF-THE-ART DE LA TECNOLOGÍA

En esta sección se incluyen una serie de proyectos y programas de investigación relativos a la creación de vehículos automatizados que han sido realizados en la Unión Europea (UE), así como en otras potencias económicas. De esta forma, con el objeto de obtener una idea más clara acerca del estado actual de la tecnología autómata en la industria automotriz, se han diferenciado tres categorías en función de la tipología de vehículo que representan, diferenciando entre automóviles privados, vehículos de carga y vehículos de movilidad urbana. Tal categorización responde a que cada conjunto está previsto para su implementación en un contexto determinado, caracterizándose por diversas peculiaridades en términos de tecnología, partes interesadas y vías de desarrollo.

6.1 Vehículos privados

A este respecto, en la categoría de automóviles privados, donde actualmente la investigación es más activa, podemos observar la existencia de dos tendencias. De una parte, se indican ejemplos de modelos representativos del llamado “enfoque evolutivo”, liderado por los fabricantes de automóviles, centrado en el desarrollo de sistemas cada vez más automatizados basados en la figura de asistencia al conductor. De otra parte, se presentan proyectos que pertenecen al nuevo paradigma de movilidad propuesto por las compañías de tecnologías de la información, conocido como “enfoque revolucionario”, por cuanto sus esfuerzos van dirigidos a crear directamente vehículos totalmente autónomos donde no existe la figura del conductor.

En este sentido, aunque el primer enfoque lo siguen tradicionalmente los fabricantes y proveedores de automóviles, existen ejemplos en los que se observa la tendencia de la industria automotriz a avanzar hacia una tendencia más revolucionaria.

Así las cosas, se puede afirmar que los automóviles privados son probablemente la aplicación de los sistemas automatizados más estudiada y desarrollada mundialmente.

6.1.1 Enfoque evolutivo

Los fabricantes de automóviles están interesados en desarrollar sistemas de asistencia a la conducción cada vez más automatizados para mejorar la seguridad y la comodidad.

La mayoría de los modelos de automóviles privados citados a continuación, con algunas excepciones, se centran en la introducción de un mayor nivel de automatización en la infraestructura seleccionada como las autovías, autopistas, rutas dedicadas, etc. Esto puede explicarse, en parte, por el hecho de que las industrias automotrices están interesadas en invertir en tecnologías que puedan superar las pruebas de seguridad y de inspección técnica, en el corto y mediano plazo, para venderlas en el mercado y recuperar su inversión prontamente. Además, consideran que sus avances técnicos responden inmediatamente a las necesidades de sus clientes como la reducción del esfuerzo y la fatiga mientras se conduce para viajes largos.

Una excepción notable es el proyecto Drive Me, dirigido por Volvo. En este supuesto, nos encontramos ante un proyecto liderado por un fabricante de automóviles que sigue un enfoque revolucionario, cuyo objeto es implementar vehículos altamente automatizados en zonas urbanas reales donde tenga que interactuar con automóviles convencionales en diferentes contextos, como se ilustra en la sección 6.3 dedicada a la movilidad urbana.

6.1.1.1 Tesla

En octubre de 2015, Tesla Motors lanzó una actualización de software para todos los vehículos Tesla modelo S adquiridos después de septiembre de 2014, lo que permite la conducción semiautónoma en condiciones adecuadas. Esta actualización es una extensión del Nivel 2 de semi-autonomía. De esta forma, el nuevo sistema combina el control automático de crucero, los sistemas de advertencia de colisión, la dirección automática y el cambio automático de carril mediante el uso de radar, cámaras, GPS y sensores ultrasónicos. El sistema actual todavía está en modo beta o de prueba y todavía quedan por resolver algunos problemas, como las velocidades excesivas del modo piloto, los giros bruscos y la confiabilidad en condiciones de lluvia.

También a principios de 2016, Consumer Report marcó un error de seguridad con la función "Summon" de Tesla, que permite a los usuarios operar el vehículo de forma remota a baja velocidad para tareas como estacionar o navegar por espacios reducidos. La aplicación original de presionar un botón para comenzar el movimiento y presionar nuevamente para detenerse preocupa por la posibilidad de que el control remoto colapse y el vehículo, en movimiento, se encuentre fuera del control del conductor. Como consecuencia del informe, Tesla actualizó la función para que funcionara como un "interruptor de hombre muerto", el cual requeriría la presión continua del botón por parte del piloto. La falla de seguridad, rápidamente enmendada, plantea inquietudes sobre la capacidad de los fabricantes autónomos de vehículos para colocar productos que representen un peligro para la seguridad en el mercado.

					
Modelo	Model S 75 D		Combustible Potencia Máxima Aceleración (0 a 100km/h) Vel. Máxima	Energía eléctrica 333 CV 5.4 s 225 km/h	Autonomía batería 406 km Tiempo de carga 40 min hasta 80% Capacidad de la batería 75 kW/h
Precio	93.000 €				
Nivel SAE	3				
Componentes inteligentes en ambos vehículos					
<ul style="list-style-type: none"> - Ocho cámaras que proporcionan una visión de 360 grados hasta a 250 metros de distancia. - Doce sensores de ultrasonidos para detectar toda clase de obstáculos. - Un preciso y avanzado radar frontal capaz incluso de 'ver' a través del vehículo que nos precede. 					
Características inteligentes en ambos vehículos					
Ambos modelos disponen de Autopilot , un paquete de ayudas a la conducción que es capaz de controlar la dirección, el acelerador, y los frenos, para tomar los mandos por completo en carretera. Las funciones del Autopilot son las siguientes:					
<p><i>Control de crucero adaptativo:</i> capaz de mantenerse en su carril, ya sea en carretera, o en atascos en ciudad, siguiendo a otros vehículos y manteniendo la distancia de seguridad con ellos.</p> <p><i>Asistente de adelantamiento y cambio de carril:</i> bastará con que se seleccione el indicador de dirección para que el Tesla efectúe el cambio de carril y/o adelantamiento con seguridad, automáticamente, y sin que tocar el volante.</p> <p><i>Asistente de aparcamiento:</i> también es capaz de encontrar una plaza de aparcamiento, avisarnos, y aparcar automáticamente.</p>					
Es cierto que el conductor puede delegar buena parte de la conducción en las funciones autónomas de su coche, pero tiene que estar disponible para tomar los mandos en cualquier momento y en ciertas maniobras que la tecnología aún no puede realizar.					

Tabla 6.1 Ficha técnica de los modelos de Tesla: Model S 75D y Model 3. Fuente: elaboración propia

6.1.1.2 Renault

El prototipo de automóvil automatizado de Renault, denominado NEXT TWO, está diseñado para poder funcionar de manera autónoma cuando el vehículo circula en carreteras protegidas (sin peatones ni ciclistas) y a bajas velocidades (que no excedan los 30 km/h). Debido a lo anterior, la aplicación óptima del piloto automático Renault sería, por lo tanto, en atascos en las autovías. Los prototipos ya han sido probados para rutas cortas. El modelo podría conectarse a redes Wi-Fi, 3G y 4G y está equipado con un sistema de estacionamiento autónomo.

		
Modelo Symbioz (prototipo)		
Año de comercialización	2030	
Nivel SAE	4	
Combustible	Energía eléctrica	Autonomía batería 500 km
Potencia Máxima	680 cv	Tiempo de carga 20 min para 80% batería
Par máximo	660 Nm	Capacidad de la batería 72 kW/h
Aceleración (0 a 100 km/h)	6 s	
Componentes inteligentes del vehículo		
En su interior se halla una pantalla OLED de 80 cm que hace las funciones de cuadro de mandos. Cuando el conductor conecta el modo de conducción autónoma, el volante se esconde, los pedales se retraen y los asientos delanteros se giran mirando hacia el centro del vehículo concirtiendo el interior del vehículo en una especie de sala de estar.		
Características inteligentes del vehículo		
Dispondrá de tres modos de conducción: <i>Classic, Dynamic y Autonomous Driving (AD)</i> . El primero para un estilo de conducción tradicional, el segundo para una conducción deportiva (tacto de motor, asientos más envolventes, dirección y chasis afinados) y el último en el que el vehículo asume las tareas de conducción.		
En el modo AD, el sistema se hace cargo de todo el control en las vías autorizadas para vehículos autónomos. Si ocurre un accidente por delante de la trayectoria del vehículo, es capaz de buscar un lugar seguro en el arcén.		
También realiza la maniobra del peaje en autopista de forma autónoma, algo que ya demostró Renault, utilizando un carril específico para vehículos autónomos y telepeaje, reduciendo la velocidad a 30 km/h y manteniendo la línea apropiada tanto de entrada como de salida.		

Tabla 6.2 Ficha técnica del Renault Symbioz. Fuente: elaboración propia

6.1.1.3 Valeo

En marzo de 2015, Valeo presentó su modelo de vehículo autónomo en colaboración con la empresa de seguridad y motores Safran. La prueba reprodujo una ruta en el área urbana. El vehículo circuló a baja velocidad (hasta 20 km/h) ante la presencia de peatones y obstáculos fijos. Este modelo podría clasificarse como un vehículo semiautónomo cuya principal capacidad consiste en reaccionar a situaciones intermitentes sin intervención humana.

En octubre de 2015, la compañía mostró su innovador modelo de sistema de control de crucero adaptativo Cruise4U en la autopista A630 de Burdeos, declarando que estaría disponible a la venta en un par de años. Este dispositivo, que está diseñado para instalarse en cualquier automóvil, permite el modo de conducción automática en atascos y colas de tráfico, así como en flujos homogéneos (autopistas). Además, es capaz de alcanzar una velocidad de hasta 210 km/h en un carril recto y 130 km/h en una autopista

ordinaria. Se supone que este sistema no funciona como un vehículo totalmente automatizado, sino que solo tiene como objetivo apoyar al conductor.

6.1.1.4 Peugeot Citroën

Peugeot Citroën desarrolló un modelo automatizado diseñado para conducir de forma autónoma en autopistas y carreteras principales extraurbanas. Este modelo es capaz de reconocer señales de tráfico y moderar la velocidad como consecuencia de las condiciones del tráfico. En octubre de 2015, Peugeot Citroën probó cuatro automóviles autónomos a lo largo de una ruta de 280 kilómetros desde París a Burdeos. Los vehículos comenzaron a funcionar en modo automático después de ingresar en la carretera principal; sin embargo, el conductor se mantuvo al volante en todo momento para cumplir con los requisitos legales.

6.1.1.5 Audi

En 2009, Audi fue el primer fabricante de automóviles en probar un vehículo totalmente automatizado en un desierto de Utah, Estados Unidos, alcanzando un récord de velocidad para una conducción autónoma de unos 210 km/h. En 2010, el vehículo desarrollado por Audi participó en el Pikes Peak Challenge (una competición anual de carreras de automóviles y motocicletas en Colorado, EE.UU.) completando el circuito de 20 km y 156 curvas en unos 27 minutos. En 2013, Audi fue el primer fabricante de automóviles en recibir un permiso especial del Departamento de Vehículos Motorizados de Nevada para probar vehículos autónomos.

			
Modelo A8 L-tron quattro			
Precio	desde 97.500€	Consumo Medio	0,7 l/100km
Nivel de autonomía	3	Autonomía batería	50 km
Combustible	Gasolina + Energía eléctrica		
Potencia Máxima	449 cv		
Par máximo	Nm		
Vel. Máx. (modo eléctrico)	135 km/h		
Componentes inteligentes del vehículo <ul style="list-style-type: none"> – 12 sensores ultrasónicos en el frontal, trasera y laterales – 4 cámaras de 360 grados en el frontal, trasera y los retrovisores exteriores – Una cámara en el borde superior del parabrisas – Cuatro radares de alcance medio en las esquinas del vehículo – Un radar de largo alcance en la parte frontal – Un escáner láser en la parte frontal – Una cámara infrarroja en la parte frontal 			
Características inteligentes del vehículo <p>El láser emite pulsos de luz que por medio de un espejo se proyectan a 80 metros en un haz de 145 grados. De esta manera, los objetos que están delante reflejan la luz y vuelve al coche, detectada por fotodiodos. Posteriormente, esta señal se utiliza para elaborar una imagen con detalle de los contornos. Este escáner láser funciona de forma conjunta con el radar de larga distancia (que tiene un alcance de 250 metros, incluso con lluvia y niebla) y la cámara. Todas las imágenes que se reciben por medio del escáner y la cámara se comparan con la base de datos que tiene el sistema para detectar objetos como automóviles, camiones, ciclistas y peatones. Además, el sistema puede aprender de forma autónoma al ir actualizándose constantemente.</p> <p><i>Audi AI traffic jam pilot.</i> Esta inteligencia artificial tomará el control total del coche en atascos hasta 60 km/h en autopistas, controlando el arranque, la parada, el acelerador, el freno y la dirección. Para conseguirlo, Audi ha desarrollado un controlador zFAS que chequea continuamente el entorno a través de la cámara frontal, los sensores de ultrasonidos, el radar y el escáner láser.</p> <p><i>Audi AI remote parking pilot</i> y el <i>Audi AI remote garage pilot</i> podrán aparcar o sacar el coche de una plaza de garaje sin que el conductor esté montado, simplemente supervisando la operación desde el smartphone manteniendo pulsado un botón mientras ofrece una visión de 360 grados generada por los sensores.</p>			

Tabla 6.3 Ficha técnica del Audi A8 L-tron quattro. Fuente: elaboración propia

		
Modelo Elaine Concept (prototipo)		
Año de comercialización	No estimado	
Nivel SAE	4	
Combustible	Energía eléctrica	Autonomía 500 km
Potencia Máxima	435 CV	Recarga de la batería el 80% en menos de 30 min
Par máximo	550 Nm	
Aceleración (0-100km/h)	4.5 s	
Componentes inteligentes del vehículo		
Dispone de un controlador zFAS más avanzado que el del A8. El procesador tiene una mayor capacidad de computación y unos sensores, con un alcance y una precisión superiores.		
Utiliza la tecnología Car-to-X. Ésta, que está basada en los infrarrojos, complementa a los radares, cámaras y ultrasonidos con la información obtenida a distancia y fuera del alcance del campo de visión del conductor. Es la comunicación en tiempo real entre los coches y las infraestructuras, y con ello ofrece mayor seguridad, confort y eficiencia. El vehículo reconoce las situaciones de peligro, incluso con anticipación, pudiendo evitar así accidentes.		
Características inteligentes del vehículo		
Evoluciona el Audi AI traffic jam pilot que utiliza el A8 en los atascos, y que permite la conducción autónoma a velocidades de entre 60 y 130 km/h (máxima velocidad permitida en la mayoría de los países).		
Cuando el sistema autopilotado para autopistas está activado, el Audi Elaine cambia de carril autónomamente; por tanto, puede adelantar y regresar a su carril original. Puede iniciar, realizar y completar estas acciones de forma autónoma, sin ninguna intervención de la persona sentada al volante. Si el conductor quiere intervenir, lo puede hacer de forma espontánea en cualquier momento.		
El Audi inteligente puede incluso localizar un espacio de aparcamiento sin señalizar y situarse con precisión en él. A la hora deseada, el vehículo regresa a la zona de entrega, listo para el siguiente recorrido. Los conductores pueden seguir		

Tabla 6.4 Ficha técnica del Audi Elaine Concept. Fuente: elaboración propia

		
Modelo Aicon (prototipo)		
Año de comercialización	no estimado	
Nivel SAE	5	
Combustible	Energía eléctrica	Autonomía entre 700 y 800 km
Potencia Máxima	354 CV	Recarga de la batería el 80% en menos de 30 min
Par máximo	550 Nm	
Componentes inteligentes del vehículo		
Un elemento que un futuro vehículo de conducción autónoma definitivamente ya no necesitará son los faros de largo alcance. El sistema de sensores láser y de radar del Audi Aicon también “ve” lo suficiente incluso en la oscuridad, puede encontrar la dirección correcta y detecta a tiempo posibles obstáculos. Mientras tanto, los pasajeros pueden usar los servicios suministrados por myAudi, o incluso cerrar los ojos durante un período de tiempo. Cuando los ocupantes salen del Audi Aicon en la oscuridad, una “luz de acompañamiento” se activa automáticamente, y un mini dron con linterna ilumina con seguridad el desplazamiento a pie del usuario.		
El vehículo dispondrá de pantallas LED exteriores para interactuar con los demás vehículos o peatones avisando de posibles peligros		
El sistema de piloto automático totalmente autónomo de Audi Aicon muestra una potente inteligencia matemática que combina la entrada de una amplia gama de sensores para navegar por las carreteras, detectar y evitar obstáculos.		

Tabla 6.5 Ficha técnica del Audi Aicon. Fuente: elaboración propia

6.1.1.6 Mercedes-Benz

Mercedes-Benz ya ofrece una conducción parcialmente autónoma en sus modelos más recientes E y S-Class gracias a los sistemas DISTROニック PLUS que son capaces de una dirección autónoma en situaciones de parada y marcha.

		
Modelo	E 200 d	
Precio	desde 48.200€	
Nivel SAE	2	
Combustible	Diesel	Consumo Urbano 4,3 l/100km
Potencia máxima	150 cv	Consumo Extraurbano 3,6 l/100km
Velocidad máxima	224 km/h	Consumo Medio 3,9 l/100km
Aceleración (0 a 100 km/h)	8,4 s	Emisiones Co2 102 gr/km
Componentes inteligentes del vehículo		
Cuenta con un sistema de cámaras estereoscópicas situadas en el retrovisor y un equipo de radar. Es capaz de "ver" hasta los 500 metros con una cámara, hasta los 250 metros con el radar y hasta 90 metros en tres dimensiones gracias a la		
Características inteligentes del vehículo		
<ul style="list-style-type: none"> -Tiene un sistema de ayuda a la conducción llamado "Drive Pilot" que es capaz de distinguir los bordes de la carretera (sin la necesidad de que estén las líneas pintadas) ya que se guía al detectar a los vehículos circundantes, guardarrailles, señales... -Puede circular a una velocidad establecida tomando las curvas y rectas reduciendo la velocidad automáticamente si se encuentra a otro coche o a un peatón. -Tiene una ayuda al adelantamiento. Si deseamos adelantar a un vehículo, solo tenemos que activar el intermitente de la izquierda. Si el vehículo percibe que no hay peligro, se incorporará al carril de adelantamiento por sí mismo hasta que volvamos a activar el intermitente derecho y así retornará al carril inicial (nuevamente solo realizará esta maniobra si es segura). Si hay raya continua el vehículo no realizará la maniobra. Si el coche ha realizado la maniobra de adelantamiento y viene un coche por la derecha, se mantendrá en su carril, se desactivará el intermitente y el conductor deberá activar nuevamente el intermitente cuando la situación esté solucionada. -Si percibe alguna situación comprometida (tráfico muy intenso, señalización extraña...), realiza varios avisos al conductor de que ponga las manos en el volante. Si el conductor no lo hace, el vehículo se para suavemente y con los "warning" activados. -Si se cruza un viandante o otro vehículo por delante, el sistema frena en seco el vehículo. También es capaz de calcular la velocidad transversal del otro vehículo determinando si es necesario frenar si va a haber o no colisión. - Detecta si se está circulando en sentido contrario a la marcha, avisa al conductor y enciende las luces de emergencia. - Aparcado automático y autónomo desde fuera del vehículo. 		

Tabla 6.6 Ficha técnica del Mercedes E 200 d. Fuente: elaboración propia

		
Modelo	F 015 Luxury in Motion (prototipo)	
Año de comercialización	2030 (estimación)	
Nivel SAE	5	
Combustible	Hidrógeno y Energía eléctrica	Autonomía
Potencia máxima	272 CV	200 km con batería de litio 900 km con hidrógeno
Velocidad máxima	200 km/h	Consumo
Aceleración (0 a 100 km/h)	6,7 s	0,6 kg de H ₂ /100km
Componentes inteligentes del vehículo		
Se comunica con su entorno tanto visual como acústicamente detectando en todo momento el tráfico y otros objetos que están a su alrededor. Dispone de grandes pantallas LED en la parte delantera y trasera, así como un sistema de proyección láser dirigido hacia el frente. Incluye tanto sonidos como instrucciones específicas habladas para añadir una capa extra de seguridad acústica. Cuenta con seis pantallas táctiles de alta resolución que permiten a los pasajeros usar sus manos, gestos o movimientos del ojo para navegar, buscar o ver qué sucede fuera del vehículo.		
Características inteligentes del vehículo		
Dispone de dos modos de conducción: semi autónomo (las pantallas LED del exterior se volverán blancas) y autónomo (luz azul). En el primer caso el conductor debe estar a las manos del volante por si el vehículo se encuentra en una situación comprometida y cede la responsabilidad de la decisión en la maniobra al conductor. En el segundo, el automóvil es completamente autónomo (nivel 5) y no se requiere de la atención del conductor por lo que el volante se retrae dentro del tablero frontal y el piloto (y copiloto) pueden girar sus asientos hacia el centro del coche para convertir el interior del vehículo para conversar cómodamente con los demás pasajeros.		
Bajo control del seudopiloto automático, el láser frontal proyecta una cebra en la calle para informar a los peatones que pueden cruzar sin peligro.		

Tabla 6.7 Ficha técnica del Mercedes F 015 Luxury in Motion. Fuente: elaboración propia

6.1.1.7 BMW

Hace aproximadamente un año, BMW e Intel (empresa puntera en microprocesadores) anunciaron su acuerdo de colaboración para trabajar juntos en el desarrollo de la conducción autónoma. Responsables de Intel han anunciado que el primer coche 100 % autónomo estará listo para salir al mercado en 2021. Para llegar a ese objetivo, durante el 2017, 40 unidades especiales del BMW Serie 7 ConnectedDrive están en fase de prueba. Este BMW cuenta con cuatro tipos de sensores: radares (detectan la presencia de obstáculos en carretera), cámaras (junto a los radares realizan una triangulación de la posición del coche a tiempo real), sensores de ultrasonido (ayudan en el proceso de captación del terreno y miden las distancias), y escáneres laser (completan todo el proceso de trazado virtual del recorrido para generar una visión de 360 grados).

	
Modelo	Vision Next 100 (prototipo)
Año de comercialización	2021 (estimación)
Nivel SAE	5
Componentes inteligentes del vehículo	
<p>El fabricante no especifica explícitamente los componentes que tiene el prototipo (se supone que será una evolución del ConnectedDrive) pero si que desvelan la línea de diseño denominada como "Geometría Viva", en la que se apuesta por una carrocería flexible en la cual se esconden las ruedas bajo unos llamativos carenados para lograr un bajo coeficiente aerodinámico ($C_x = 0,18$).</p>	
Características inteligentes del vehículo	
<p>El control de los distintos elementos se realizará mediante control gestual o por voz.</p> <p>Dispone del modo de conducción "Ease", que permitiría al coche tomar el mando por su cuenta (nivel 5 de autonomía). Mientras que el modo "Boost" nos permitiría a nosotros tomar el mando, eso sí, con un alto grado de automatización. Gracias a que todo el parabrisas delantero es un display interactivo, a simple vista se puede ver la trazada ideal, los puntos óptimos de frenado, contacto y salida de la curva y, además, la velocidad más apropiada en cada uno de esos puntos. A esto hay que añadir que por ejemplo si el conductor está circulando en condiciones climatológicas adversas como la niebla, la pantalla virtual genera una imagen digitalizada del entorno para que mejore su seguridad.</p> <p>También podrá aparcar autónomamente, pudiendo supervisar la maniobra desde un smartphone.</p>	

Tabla 6.8 Ficha técnica del BMW Vision Next 100. Fuente: elaboración propia

6.1.1.8 Smart

	
Modelo	Vision EQ (prototipo)
Año de comercialización	2025
Nivel SAE	5
Combustible	Energía eléctrica
	Capacidad de la batería
	30 kWh
Componentes inteligentes del vehículo	
<p>Integra la filosofía CASE: "conectado", "autónomo", "compartido" (shared) y "eléctrico". En el interior no hay volante ni pedales, por ello el vehículo es totalmente autónomo. Tan sólo una gran pantalla de 24 pulgadas que interacciona con el usuario o usuarios (el coche está pensado para ser un vehículo de alquiler compartido de trayectos cortos).</p> <p>En el exterior destacan: el Black Panel frontal de la parrilla del radiador, las proyecciones en las puertas batientes y los faros. Todos ellos se comunican con los usuarios, con los viandantes y con la ciudad.</p>	
Características inteligentes del vehículo	
<p>Si un usuario desea alquilar el coche, es el vehículo el que encuentra y recoge en el lugar deseado al usuario. Con ello se elimina el trayecto para llegar hasta el vehículo alquilado. Gracias a la inteligencia colectiva y a las previsiones de demanda que de ella resultan, el automóvil encontrará con toda probabilidad en las proximidades del demandante.</p> <p>Los vehículos, interconectados entre sí, están siempre en movimiento. Así se aumenta su grado de aprovechamiento y se reducen al mismo tiempo el volumen de tráfico y las zonas de aparcamiento en el entorno urbano.</p> <p>Cuando no esté en uso, se dirigirá automáticamente a la estación de carga más cercana para llenar sus 30 kWh de batería.</p>	

Tabla 6.9 Ficha técnica del Smart Vision EQ. Fuente: elaboración propia

6.1.1.9 AdaptIVe

AdaptIVe es un proyecto de investigación cofinanciado por la Comisión Europea como parte del Séptimo Programa Marco (14.3 millones de euros de un presupuesto total de 25 millones de €) destinado a mejorar la seguridad y eficiencia de los sistemas automatizados, adaptando dinámicamente el nivel de automatización a la situación y las condiciones del conductor. Adaptive estudia sistemas automatizados, que van desde el nivel 1 hasta el nivel 4 de la clasificación SAE, aplicados principalmente a automóviles privados, aunque también se investigarán vehículos pesados. El proyecto, que comenzó en 2014 y continuará hasta 2017, está dirigido por Volkswagen Group Research e incluye un total de 29 socios de 8 países (Francia, Alemania, Grecia, Italia, España, Suecia, Países Bajos y Reino Unido).

6.1.1.10 Toyota

En Japón, Toyota está desarrollando un GS Lexus modificado denominado Highway Teammate, que utiliza tecnología a bordo para evaluar las condiciones del tráfico y conducir de manera autónoma en las carreteras. Se han realizado pruebas en las autopistas Shuto de Tokio, que incluyen el ingreso y la salida de la autopista, el mantenimiento y el cambio de carril y la regulación de la velocidad y la distancia con respecto a otros vehículos.

6.1.1.11 Nissan

Nissan puso a punto su tecnología de coche autónomo en Londres a principios de 2017. En los ensayos utilizó un prototipo del Nissan Leaf equipado con el sistema ProPilot.

El recorrido, de unos 25 kilómetros y 20 minutos de duración, se desarrolló por los alrededores de la capital británica. El coche circuló sin intervención humana con el manager general de Tecnologías Avanzadas de Nissan, sentado en el puesto de conducción, aunque sin tocar el volante. El trayecto discurrió por avenidas de doble carril, rotundas, calles y un tramo de autopista sin presentar la menor incidencia.

			
Modelo		LEAF AD	
Precio	desde 31.800€	Autonomía batería	340 km
Nivel SAE	3	Tiempo de carga	40 min hasta 80%
Combustible	Energía eléctrica	Capacidad de la batería	40 kWh
Potencia Máxima	150 CV		
Par máximo	320 Nm		
Componentes inteligentes del vehículo			
<ul style="list-style-type: none"> - Escáneres láser - Cámaras de visión 360° - Radares. - Sistemas de actuadores e inteligencia artificial. 			
Características inteligentes del vehículo			
ProPILOT: Establece tu velocidad y el LEAF se mantendrá en su carril conservando la velocidad fijada y la distancia con el vehículo de delante hasta detenerse si es necesario.			
ProPILOT Park: Sin manos y sin pies; un modo más fácil de aparcar usando solo un dedo. El conductor es un mero espectador durante la maniobra de aparcamiento.			
Control de Crucero Inteligente: El sistema analiza el tráfico y regula la velocidad del vehículo según la situación particular.			
Control Inteligente de Cambio de Carril: Ayuda a mantener donde el piloto quiera. Activa el freno y correge el rumbo del coche si detecta que te estás desviando de tu carril involuntariamente.			
Faros Automáticos Inteligentes Full LED: Se encienden automáticamente al oscurecer y bajan la inclinación unos segundos al detectar tráfico de cara.			

Tabla 6.10 Ficha técnica del Nissan LEAD AD. Fuente: elaboración propia

6.1.1.12 General Motors

A principios de 2016, GM probó una pequeña flota de Chevrolet Bolts autopropulsados en su campus de Michigan. GM en una empresa conjunta con el fabricante chino de automóviles SAIC ha lanzado un concepto para Chevrolet-FNR, un vehículo eléctrico totalmente autónomo. La compañía cree que estos vehículos estarán disponibles en el mercado para el año 2030. La compañía está trabajando para mejorar la tecnología de sensores para operar en condiciones de mucha niebla y hielo, desarrollando mapas precisos para guiar a los automóviles. GM trabaja con Mobileye, un proveedor de chips de procesamiento visual y software que detecta posibles colisiones con peatones, vehículos u otros obstáculos, y procesa marcas viales, señales y semáforos. Esta tecnología ya existe en algunos vehículos de GM, como las advertencias de abandono del carril, y la compañía está considerando utilizar sus datos de cámara para crear mapas de carreteras altamente detallados y que se actualizan constantemente. Este uso de sensores podría permitir a los vehículos conocer su propia ubicación con un margen de error de 10 cm mejorando notablemente a los sistemas GPS actuales cuyo margen de error se mide

en metros. Además del desarrollo de sus tecnologías autónomas de vehículos, GM ha tomado medidas para invertir en el paradigma de la movilidad compartida. De esta forma, gracias a la unión empresarial de GM y la empresa de red de transporte Sidehill¹⁵, se puso en marcha un servicio para compartir vehículos llamado Maven que actualmente opera ya en alguna ciudad con la perspectiva de expandirse a nuevas. Asimismo, a principios del año 2016, GM se asoció con Lyft para crear una red nacional de automóviles sin conductor en el futuro.

	 CHEVROLET	
Modelo	Chevrolet Bolt EV	
Precio	Prototipo en pruebas	
Nivel SAE	4	
Combustible	Energía eléctrica	Autonomía batería 320 km
Potencia Máxima	200 CV	Tiempo de carga 14 horas a 120V, 9 horas a 240V
Aceleración (0 a 100km/h)	7 s	Capacidad de la batería 60 kWh
Vel. Máxima	146 km/h	
Características inteligentes del vehículo		
GM ha producido 130 unidades de Bolt EV para pruebas con la próxima generación de tecnología autónoma. El Bolt EV precisa de un conductor sentado tras el volante durante las pruebas, listo para asumir el control si es necesario (por ello todavía no alcanza el Nivel 5 sino que es más bien un nivel 4). El eléctrico se puede conducir en modo autónomo o manual. Los Chevrolet Bolt-EV autónomos incorporan la más reciente gama de equipamientos de GM, incluyendo sensores láser LIDAR que dan una visión 360 grados, cámaras y otros instrumentos proyectados para acelerar el desarrollo de un vehículo totalmente autónomo, seguro y confiable.		

Tabla 6.11 Ficha técnica del Chevrolet Bolt EV. Fuente: elaboración propia

6.1.1.13 Ford

Actualmente, Ford tiene una flota de 30 automóviles de conducción automatizada realizando pruebas en Michigan, Arizona, así como en carreteras públicas de California. De esta forma, Ford espera ofrecer un vehículo completamente autónomo dentro de 4 años. En 2015, la compañía estableció un laboratorio de investigación en Silicon Valley para ayudar a forjar asociaciones con nuevas empresas tecnológicas y grandes empresas. A principios de 2016, aparecieron informaciones de una asociación entre Ford y Google; sin embargo, aunque el anuncio de esta alianza se esperaba en el Consumer Electronics Show (CES), finalmente no se produjo. Ahora bien, es cierto que el presente fabricante de automóviles y el gigante tecnológico mantienen conexiones y una misma visión del

¹⁵ Sidehill es una empresa que proporciona una red de transporte privada a sus clientes, considerándose un competidor temprano en el sector, aunque menos exitoso que las conocidas Uber y Lyft. A este respecto cabe destacar que cuenta con una patente de 14 años a la que ahora puede acceder General Motors gracias a su unión empresarial.

futuro que depara a la automatización de los vehículos. De esta forma, ambos se guían por un enfoque revolucionario de tecnología autónoma en lugar de por un enfoque gradual de asistencia al conductor. De hecho, un antiguo empleado de Ford es quien encabeza el proyecto de automóviles autónomos de Google, siendo el exdirector ejecutivo de Ford uno de los miembros de la Junta directiva de Google.

A este respecto, cabe destacar que Google tiene el vehículo autónomo más avanzado hasta la fecha, con una flota de 57 automóviles y millones de millas registradas, mientras que Ford tiene la experiencia y los recursos para la fabricación de automóviles a gran escala; sin embargo, a la fecha de realización del presente proyecto no existen evidencias empíricas que nos permitan confirmar la existencia de una alianza empresarial entre ambos.

	
Modelo	Fusion Hybrid
Precio	desde 20.000 €
Nivel SAE	2
Combustible	Gasolina + energía eléctrica
Potencia máxima	188 CV
Características inteligentes del vehículo Ofrece una amplia variedad de tecnologías disponibles para mantenerte al tanto de tu entorno y de las condiciones cambiantes del tráfico. Una característica es la Asistencia para Evitar Colisiones con Detección de Peatón que te avisa si hay peatones o vehículos frente a tu vehículo. Además, también tiene otras características de asistencia al conductor que te ayudarán a detectar si hay vehículos en los puntos ciegos, a ajustar la velocidad mediante el control de velocidad, a mantenerte en el carril y a encontrar espacios para aparcar.	
	
Capacidad de la batería 7,6 kW/h	

Tabla 6.12 Ficha técnica del Ford Fusion Hybrid. Fuente: elaboración propia

6.1.1.14 Delphi

En 2015, el proyecto Delphi Drive condujo un vehículo altamente automatizado durante casi 5000 kilómetros desde San Francisco hasta Nueva York, realizándose el 99% del mismo autónomamente. En este sentido, el equipo de Delphi tomó un Audi SQ5 y lo adaptó con las tecnologías Delphi para hacer que el automóvil fuera altamente automatizado. Como proveedor de tecnología, el enfoque de Delphi es diseñar las tecnologías para venderlas a los fabricantes de automóviles interesados en producir vehículos autónomos, operando como proveedor y no como productor. En el CES de 2016, Delphi introdujo una interfaz de usuario enfocada en facilitar las transiciones entre conducción autónoma y humana.

Esta característica, aunque no sea esencial, es importante para aclimatar a los usuarios a la conducción autónoma, ya que les da seguridad al indicarles a través de una señal lo que el vehículo está viendo, pensando y planeando. Cabe destacar que el enfoque seguido por Delphi, centrado en integrar al usuario en la automatización del vehículo, es especialmente importante para altos niveles de automatización, pero no para el nivel 5 de plena autonomía.

6.1.2 Enfoque revolucionario

Como se expuso anteriormente, las empresas de las tecnologías de la información han dirigido principalmente sus esfuerzos a la inversión en vehículos completamente autónomos capaces de funcionar sin un controlador humano.

El “Google Driverless Car” es sin duda el proyecto más conocido y debatido sobre la automatización total del transporte terrestre a nivel mundial, convirtiéndose en el claro ejemplo de un prototipo construido desde cero para ser un vehículo sin conductor, ya que no incluye ni volante ni pedales, eliminando completamente la figura del conductor que pasa a convertirse en un pasajero más del automóvil. Además, cabe destacar que el diseño está plenamente orientado a la conducción autónoma ya que presenta formas redondeadas para optimizar la capacidad de los sensores.

A este respecto, se debe subrayar que en los EE. UU. no solo las grandes empresas dirigen el debate sobre la automatización de los vehículos por carretera, sino que otras medianas empresas, como Faraday Future, también están tomando un importante rol en la creación de aplicaciones para lograr la implementación de vehículos automatizados. En este sentido, Faraday se ha centrado en los deseos de los usuarios para impulsar el futuro diseño del vehículo. De hecho, la empresa presentó en el CES 2016 su concepto de automóvil automatizado, conocido como FFZERO1, cuya inteligencia no solo va dirigida hacia el exterior, sino que trata de aprender de los propios usuarios con el objeto de que la toma de decisiones se base en las preferencias de los pasajeros.

A principios de 2016, como ya se ha comentado anteriormente, surgió una importante alianza empresarial entre el grupo automovilístico General Motors (GM) y la compañía tecnológica Lyft cuyo objetivo era la creación de una red nacional de vehículos compartidos sin conductor. Para ello, GM invirtió 500 millones de dólares en la compañía

de tecnología, pasando con ello a formar parte de su Junta directiva. A este respecto, cabe destacar la importancia del paso dado por el grupo automovilístico por cuanto apostaron por el nuevo paradigma de movilidad compartida en lugar de invertir en el tradicional modelo de propiedad privada.

Asimismo, a principios de 2016, la compañía de redes de transporte Uber comenzó a experimentar con el uso de GPS, acelerómetros y girómetros en los teléfonos inteligentes para controlar la calidad de la conducción. De hecho, el uso de una tecnología generalizada, como lo es la telefonía inteligente, podría tener implicaciones en la recopilación de datos que informa el desarrollo de los sistemas automatizados en la industria automotriz.

A continuación, se detallan una serie de modelos automovilísticos que siguen un enfoque revolucionario centrado en la desaparición de la figura del controlador humano.

6.1.2.1 Google-Waymo

Google comenzó a trabajar en la conducción autónoma en 2009 con el llamado Google self-driving car Project. Inicialmente, se centró en la recopilación de datos y el mapeo a través de pruebas realizadas con Toyota Prius en las autopistas de California. Más adelante, en 2012, Google comenzó a trabajar con el Lexus RX450h y se focalizó en probarlo en zonas urbanas. A partir de entonces el “Google self-driving car Project” pasó a llamarse Waymo. La primera construcción real del automóvil sin conductor de Google data de diciembre de 2014 con una velocidad máxima de 25 mph y un diseño simple para dos pasajeros. El software adquiere experiencia por cada recorrido realizado, por lo que cuanto más circula cada uno de los vehículos, más inteligentes y experimentados se vuelven todos los demás.

Waymo¹⁶ ha empezado este mismo 2017 a implementar su sistema en varios monovolúmenes Chrysler Pacifica Hybrid de serie, convirtiéndose en el primer vehículo del mundo en circular con un nivel de autonomía 4.



Fig. 6.1 Monovolumen Chrysler Pacifica Hybrid con sistema Waymo

¹⁶ El vehículo autónomo de Google se ha convertido en el máximo exponente de la automatización de los vehículos por carretera. Fuente de consulta: <https://waymo.com/tech/>

A este respecto, señalar que las pruebas con público se llevan a cabo en la ciudad de Phoenix, la única que las ha autorizado en su casco urbano y red viaria, y para las que Google ha contratado un seguro astronómico cuya cuantía mantiene en estricta confidencialidad.

Desde 2009, los vehículos de Google han experimentado 14 accidentes en seis años de manejo y alrededor de 1.9 millones de millas de prueba, los cuales han sido atribuidos a un error humano.

6.1.2.2 Apple

Se rumorea que Apple está desarrollando su propio modelo de automóvil eléctrico autónomo, llamado Proyecto Titan. Parece que la compañía de TI va a probar sus vehículos en la abandonada GoMentum Station en el área de la Bahía de San Francisco, que actualmente está cerrada al público, para mantener sus planes en secreto.

6.1.2.3 Robot Taxi

Desde 2016, en Japón, Robot Taxi está probando un servicio de taxi completamente automatizado. Las personas seleccionadas reservan el taxi a través del teléfono móvil y el vehículo autónomo los conduce a los centros comerciales seleccionados. El proyecto también estudia las características y el comportamiento de los usuarios del servicio autodirigido.



Fig. 6.2 Robot Taxi

6.1.2.4 Zoox

El innovador taxi autónomo "L4", diseñado por la empresa australiana Zoox, posee el cuarto nivel de automatización, según la clasificación de NHTSA. El vehículo no está equipado ni con volante, ni con pedales, y está diseñado para conducir en cualquier dirección debido a su forma sin frente, ni parte trasera. A este respecto, Zoox tiene previsto instalar cuatro motores independientes, con sendos equipos automáticos, en cada esquina del vehículo para permitir que los modelos futuros funcionen en cualquier dirección. Se espera que el presente modelo esté listo para su prueba en las vías públicas en el año 2019. De hecho, Zoox ha establecido como objetivo la prestación de un servicio de taxi en ciudades con condiciones climáticas favorables, como Las Vegas, para el 2020.



Fig. 6.3 Taxi Zoox L4

6.2 Vehículos de carga

La aplicación más estudiada de los sistemas autónomos en el transporte de mercancías por carretera es el rodaje de camiones de forma conjunta, conocido en lo sucesivo como “platooning”, consistente en una serie de camiones interconectados a través de sistemas de comunicación V2V¹⁷ que circulan a una distancia muy corta.

La importancia de esta investigación es su potencial para reducir el consumo de combustible, las emisiones, así como la distancia entre camiones contribuyendo a minorar la congestión del tráfico rodado. Además, supondría un importante ahorro de costes para la industria logística por cuanto en un futuro podría llegar a prescindirse de la mano de obra gracias al piloto automático, con el ahorro en salarios que ello implicaría.

¹⁷ La comunicación V2V consiste en el intercambio de información entre dos vehículos, mientras que la comunicación V2I es comprensiva de la interacción entre el vehículo y la infraestructura.

A continuación, se detallan los principales proyectos evaluados en el sector del transporte terrestre de mercancías, si bien existen otros importantes programas en esta área liderados por los fabricantes de camiones Mercedes-Benz, Volvo y Freightliner¹⁸.

6.2.1 COMPANION

El proyecto de investigación europeo 2013-2017 COMPANION está estudiando la aplicación del platooning de camiones en el transporte de mercancías con el objeto de mejorar la eficiencia global de los vehículos pesados y, de esta forma, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero¹⁹.



Fig. 6.4 Platooning de SCANIA

El objetivo de este proyecto es crear pelotones dinámicos de camiones, mediante la fusión de vehículos que comparten partes de su ruta, sugiriendo normas para permitir que los camiones recorran distancias más cortas en la UE. En los últimos dos años, el fabricante sueco de vehículos pesados SCANIA ha llevado a cabo experimentos sobre el concepto de platooning, demostrando que se puede lograr un ahorro de combustible de hasta el 5% gracias a la menor resistencia aerodinámica.

El presupuesto de COMPANION es de 5,4 millones de euros, de los cuales 3,4 millones son financiados por el 7º Programa Marco²⁰. El proyecto está dirigido por SCANIA y también involucra a participantes de Alemania (Volkswagen Group Research y Oldenburger Institut für Informatik), Suecia (Real Instituto de Tecnología de Estocolmo), España (Applus + IDIADA²¹ y Transportes Cerezuela) y Países Bajos (Ciencia y Tecnología).

¹⁸ Freightliner es una conocida empresa de transporte que a partir de 1942 comenzó a fabricar sus propios camiones, caracterizados por su ligereza y potencia.

¹⁹ Las emisiones de gases de efecto invernadero emitidas por los vehículos pesados representan el 17% de las emisiones totales de CO₂.

²⁰ El programa Marco es la principal iniciativa comunitaria de fomento y apoyo a la I+D+I en la Unión Europea.

²¹ Applus+ IDIADA. Es una compañía líder especializada en diseño, ingeniería, ensayos y servicios de homologación para la industria del automóvil internacional.

Como parte de este proyecto, Scania probó pelotones de camiones a lo largo de la ruta de 520 kilómetros entre las ciudades suecas de Södertälje y Helsingborg. Estas pruebas, respaldadas por el Instituto Sueco de Investigación de Carreteras y Transporte (VTI), se llevaron a cabo en autopistas de dos carriles y adoptaron únicamente sistemas de Control de Crucero Adaptativo, que controlan la velocidad del siguiente vehículo en función de la velocidad del vehículo que le precede. El tiempo mínimo entre camión y camión variaba de 2 a 3 segundos y la compañía está dispuesta a reducirla durante las próximas pruebas.

6.2.2 EcoTwins

En marzo de 2015, la empresa de fabricación de camiones DAF Trucks NV y la Organización Neerlandesa de Investigación Científica Aplicada (TNO) se unieron para realizar un proyecto de Platooning, conocido como EcoTwins. La demostración consistió en un convoy de dos camiones que conducían a corta distancia, con el segundo vehículo capaz de acelerar, frenar y maniobrar de forma autónoma gracias a los sistemas de Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC). En un futuro próximo EcoTwins debería realizar pruebas en la zona portuaria de Rotterdam, ya que tanto la autoridad comercial del puerto de Rotterdam como la organización comercial Transport en Logistiek Nederland (TLN) están involucradas en el proyecto. En 2016, los Países Bajos iniciaron un desafío de platooning de camiones europeos con el objetivo de alentar a los fabricantes de camiones, proveedores de servicios de logística, institutos de investigación y gobiernos a asociarse y compartir sus conocimientos y experiencias sobre el platooning de camiones.

6.3 Movilidad urbana y transporte público

En esta área se están llevando a cabo varios proyectos, que generalmente involucran a un gran número de partes interesadas provenientes de diferentes sectores, para desarrollar sistemas de transporte automatizados en áreas urbanas y de uso mixto.

Algunos de ellos se centran en soluciones de transporte público; otros, como muchos de los que cuentan con el apoyo del gobierno del Reino Unido, están investigando una gama más amplia de opciones técnicas, así como las implicaciones de las

interacciones entre diferentes tipos de vehículos y usuarios de las carreteras, sentando las bases para futuras investigaciones en esta área.

De hecho, ya existen prototipos de sistemas de transporte altamente automatizados que funcionan a baja velocidad en entornos protegidos (hospitales, aeropuertos, universidades, etc.) y el principal desafío es introducir progresivamente estos vehículos a mayor velocidad en áreas menos protegidas.

6.3.1 CityMobil.

El proyecto CityMobil fue un proyecto de investigación y desarrollo que se desarrolló entre mayo de 2006 y diciembre de 2011 en la UE. Éste, aborda la integración de sistemas de transporte automatizados en áreas urbanas. El presupuesto total fue de 40 millones de euros y el proyecto fue cofinanciado por el Sexto Programa Marco de la Comisión Europea. Incluyó tres implementaciones a gran escala de conducción automática en el aeropuerto de Heathrow (Londres), Castellón y Roma, cinco exhibiciones en ciudades europeas y una demostración durante 3 meses en La Rochelle (Francia). También se investigaron las perspectivas futuras, los desafíos tecnológicos y los problemas operativos relacionados con la automatización de vehículos.

6.3.2 CityMobil2

Nueve meses más tarde de la finalización del proyecto CityMobil, concretamente en septiembre de 2012, surgió un nuevo proyecto a raíz de los avances de su predecesor, llamado CityMobil2. El proyecto se centró en la implementación de sistemas de transporte sin conductor (principalmente autobuses pequeños) en áreas de baja o dispersa demanda y así complementar las principales redes de transporte público ya existentes. Involucró a 45 socios, autoridades públicas (principalmente ayuntamientos), proveedores de sistemas, instituciones académicas y organizaciones de redes.

El proveedor de vehículos autónomos para este proyecto fue EasyMile²². Su modelo EZ10 es una lanzadera sin conductor con una capacidad de 10 pasajeros y una velocidad máxima de 25 km/h capaz de detectar obstáculos y moverse autónomamente gracias a sus sensores y cámaras. El modelo también permite la comunicación V2V y V2I²³.



Fig. 6.5 Lanzadera CityMobil2

Las demostraciones se llevaron a cabo en siete localizaciones europeas: La Rochelle, Lausana (EPFL), Trikala (Grecia), Oristano (Italia), Vantaa (Finlandia), Niza y San Sebastián. Recorriendo más de 25.000 kilómetros y transportando a más de 60.000 pasajeros²⁴.

6.3.3 Mobuno

Este proyecto, que está ideado por el estudio alemán de diseño y arquitectura XOIO (también cuenta con el apoyo del Instituto de Movilidad Urbana de Alemania), busca acabar con el problema de aparcamiento en las grandes ciudades. Mobuno²⁵ es un coche eléctrico totalmente autónomo (Nivel 5 SAE) capaz de comunicarse con otros coches de este mismo modelo para aparcar en una zona pequeña, donde estarían unidos unos a otros ocupando el menor espacio posible. XOIO asegura que en una zona destinada a ocho coches medianos cabrían hasta veinte Mobunos. Cada Mobuno tendría capacidad para hasta cuatro pasajeros y operaría bajo un sistema de movilidad compartida. Además, se



Fig. 6.6 Recreación del Mobuno

²² EasyMile es una Startup dedicada al desarrollo de microbuses eléctricos y autónomos.

²³ Comunicación Vehículo-Infraestructura

²⁴ Resultados del proyecto https://www.youtube.com/watch?time_continue=90&v=PUr8ljfb2Cg

²⁵ <https://www.yankodesign.com/2017/11/08/planes-trains-and-autonomous-mobility/>

podrían unir entre sí (hasta un máximo de cuatro) para crear un vehículo de mayor capacidad para recorrer distancias largas si fuese necesario.

6.3.4 Drive Me

Volvo Car Group lidera actualmente el proyecto más innovador en Suecia relacionado con los vehículos autónomos, conocido como "Drive Me²⁶: Self-driving cars for sustainable mobility". El proyecto tiene el ambicioso propósito de introducir vehículos con altos niveles de automatización en un contexto urbano real, interactuando con otros automóviles convencionales y enfrentándose a situaciones reales de tráfico. Drive Me ha surgido este 2017 y se está llevando a cabo en Gotemburgo. El proyecto involucrará a 100 automóviles que circularán autónomamente utilizando aproximadamente 50 kilómetros de carreteras seleccionadas.

²⁶ Página web del proyecto <https://www.volvocars.com/intl/about/our-innovation-brands/intellisafe/autonomous-driving/>

7. MARCO LEGISLATIVO

Cuando la tecnología se ha revelado capaz de crear auténticos automóviles autónomos se ha planteado la disyuntiva de desarrollar un amplio marco legislativo que traduzca dichas obras de la ingeniería en innovaciones reales que inunden las vías de todo el mundo.

La obsoleta concepción del tráfico rodado ha impedido durante muchos años la introducción en el mercado de esta nueva tipología de vehículos, bien por la reticencia social que tradicionalmente ha existido, bien por los problemas que podía acarrear un accidente con respecto a las aseguradoras y el concepto de responsabilidad civil y penal; sin embargo, existe una nueva corriente que ha ganado un gran peso en los últimos tiempos, gracias en gran parte a los hercúleos esfuerzos por demostrar la gran seguridad y ventajas que aportaba la naturaleza autónoma en los dispositivos rodados.

En este sentido, las diversas regiones y potencias económicas están trabajado con vigor para adaptar su marco legislativo a los nuevos avances que reclama la sociedad moderna. Por lo que, actualmente, ya se puede afirmar que buena parte de las potencias económicas están tramitando una normativa que dé cobertura legal para que en el medio plazo sea lícita la conducción rodada de automóviles autónomos al menos de nivel 3.

No obstante, al debatir sobre el marco legislativo de los vehículos automatizados, debe establecerse una clara distinción entre la normativa reguladora de pruebas a gran escala de vehículos autónomos -en las que, como regla general, cada país individualmente puede definir su propio contexto normativo como excepción a las normas internacionales de tráfico- y la legislación para la incorporación al mercado y tráfico rodado de vehículos cada vez más automatizados, para lo que es necesario alcanzar un consenso interno y, por supuesto, internacional (dado que se deberían aprobar numerosas disposiciones normativas internacionales, europeas y nacionales sobre seguridad vial, así como modificar la legislación relativa a los vehículos, el comportamiento del conductor, la responsabilidad civil, etc.).

Esta sección ilustra, en primer lugar, las principales disposiciones normativas sobre legislación de vehículos y responsabilidad civil del conductor que son de interés

para la integración de los vehículos automatizados en el mercado, y concluye analizando el marco legislativo diseñado en diferentes países para permitir las pruebas en carretera de este tipo de vehículos, así como, en ciertas naciones, los proyectos normativos para su libre circulación rodada y lanzamiento en el mercado. Ahora bien, cabe destacar que el presente trabajo se ha centrado en analizar el desarrollo normativo existente en la Unión Europea por cuanto permite obtener una visión comparativa más amplia respecto a otras potencias económicas internacionales y acerca de las diferencias existentes entre los propios países miembros.

A este tenor, cabe destacar que las cuestiones relativas a la legislación sobre seguros de automóviles, responsabilidad civil por productos defectuosos, ética robótica o protección y seguridad de datos, que también son relevantes para la circulación de vehículos automatizados y conectados en vías públicas, se tratarán como parte del debate sobre las principales implicaciones de la propagación de los vehículos automatizados, discutido en epígrafes posteriores.

7.1 Aspectos técnicos: legislación del vehículo

A nivel de la Unión Europea, la Directiva 2007/46/CE²⁷ regula cómo deberían funcionar y diseñarse los nuevos vehículos. En este sentido, el objeto del citado texto normativo es establecer un marco legislativo plenamente armonizado para la aprobación de vehículos a motor en toda la Unión Europea, creando así un mercado interior capaz de asegurar un alto nivel de seguridad vial, la protección de la salud y el medioambiente, la eficiencia energética, así como la no utilización de tecnologías no autorizadas; sin embargo, las disposiciones técnicas más detalladas han sido principalmente promulgadas por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE)²⁸, organizadora del Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (WP 29)²⁹.

²⁷ Fuente disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2007-81851> [consulta:01-10-2017]

²⁸ La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, CEPE (UNECE o ECE en inglés) se estableció en 1947 para promocionar la cooperación económica entre sus Estados Miembros. Es una de las cinco comisiones regionales bajo la dirección administrativa de las sedes de las Naciones Unidas.

²⁹ El Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (WP 29) es un grupo permanente de trabajo en el marco institucional del Comité de Transporte de la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa (CEPE). Funciona como un foro global permitiendo la discusión continua de la reglamentación sobre los vehículos a motor y se encuentra abierto a todos los Estados miembros de las Naciones Unidas, así como a las organizaciones regionales de integración económica, otorgándose además una capacidad consultiva a las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.

En este sentido, la propia legislación de la Unión Europea se remite a los reglamentos de la citada comisión dado su elevado valor técnico y normativo.

De otra parte, a nivel nacional, existe un cierto margen normativo para garantizar requisitos nacionales alternativos, así como, para permitir excepciones a la legislación internacional con el objeto de desarrollar operaciones de prueba de los vehículos autónomos. De hecho, como se analizará más adelante, en la actualidad, diferentes países han introducido medidas para facilitar las pruebas en sus carreteras o han aclarado el contexto normativo para permitir los ensayos; sin embargo, hasta el momento, ni en la Unión Europea, ni en los EEUU, existe todavía una normativa común que coordine la legislación producida por los diferentes gobiernos.

Si bien esta cuestión podría ser de menor relevancia en los ensayos y la fase experimental, plantea importantes desafíos para el desarrollo futuro de los vehículos automatizados, ya que tanto ellos como las tecnologías deberán cumplir requisitos internacionales y armonizados para lanzarse al mercado.

En esta línea, con miras de salvar el obstáculo, se están desarrollando varios proyectos para apoyar un enfoque armonizado de la regulación a través de la modificación de las disposiciones internacionales, evitando así la fragmentación de la legislación. A este tenor, la iniciativa más notable ha sido la puesta en marcha por la ya citada Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, artífice del Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos que está evaluando propuestas capaces de ejecutar funciones de conducción semi-automatizadas (sistemas de piloto automático que se utilizarán en atascos de tráfico, funciones de estacionamiento automático y pilotos automáticos en autovías), lo que finalmente allanará el camino para vehículos más altamente automáticos.

Un claro ejemplo de los desafíos que implica la cuestión legislativa, se refleja en la necesidad de enmendar normativas como el Reglamento número 79 de la ONU³⁰ que actualmente solo permite la ejecución autónoma de funciones de dirección hasta los 10 km/h, mientras que más allá de 10 km/h sólo se autoriza la función de dirección

³⁰ Reglamento número 79 de la ONU (UN R79), de disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos con respecto a los dispositivos de dirección. Se emitió en 1988 para establecer disposiciones uniformes sobre el diseño y el funcionamiento de los dispositivos de dirección instalados en los vehículos utilizados en la carretera.

correctiva. Por tanto, ello implica que algunos sistemas de nivel 2, 3, 4 y 5 no están permitidos con el marco legislativo actual, necesitándose una actualización normativa capaz de acompañar el desarrollo de los sistemas automatizados.

De otra parte, en la CEPE, también se está deliberando acerca de la idoneidad de modificar el Reglamento número 13 de la ONU³¹, sobre sistemas de frenado, de manera que se incluya el Sistema de Frenado Automático; sin embargo, se ha dictaminado la necesidad de requerir mayores exámenes y ensayos para confirmar su idoneidad. Por tanto, vemos como el trabajo de la CEPE en este ámbito es fundamental para evitar que existan barreras legislativas que limiten la introducción en el mercado de dispositivos escasamente automatizados ya completamente aptos para ser utilizados en el corto plazo, allanando así el camino hacia un mercado del automóvil con mayor nivel de automatización.

Asimismo, también es necesario reconsiderar el enfoque utilizado hasta ahora para regular los sistemas de los vehículos, un tema recientemente planteado en un informe emitido por la Agencia de Transporte de Suecia³². Tradicionalmente, la regulación de vehículos se ha basado en la demostración de que cumplen con todos los requisitos exigidos para cada sistema por separado. Por tanto, ello implica que existen unos mínimos claramente definidos y unas metodologías de prueba que pueden ser utilizadas por cualquier organismo para comprobar si se cumplen; sin embargo, los complejos sistemas automatizados de seguridad necesarios en la conducción autónoma requieren un enfoque que no considere únicamente cómo se gestionan los diferentes sistemas de forma individual, sino también, y más importante, cómo interactúan entre sí.

Actualmente, no existen exigencias, ni obligaciones legislativas, que garanticen la seguridad de las funciones de conducción autónoma de un vehículo. Por consiguiente, el informe sugiere la necesidad de diseñar un marco legislativo internacional capaz de garantizar un nivel adecuado de seguridad vial para los vehículos de nivel 3 o superior, a fin de no retrasar su lanzamiento al mercado por cuestiones burocráticas y no técnicas.

De esta forma, deberían actualizarse los estándares promulgados por la Unión Europea en su Directiva 2007/46/CE sobre aprobación de vehículos, discutida

³¹ Fuente disponible en: <http://www.boe.es/doue/2015/335/L00001-00084.pdf> [consulta:02-10-2017]

³² Agencia de Transporte de Suecia, Informe acerca de la Conducción Autónoma. Estudio Piloto, agosto 2014.

anteriormente, y la Directiva de Tránsito de la UE (Directiva 2014/45/UE)³³, que proporciona una base para verificar que los vehículos en toda la Unión Europea se encuentran en condiciones de circular y cumplen con los mismos estándares de seguridad que cuando se registraron por primera vez. En este sentido, cabe destacar que la Comisión Europea parece estar considerando tomar medidas en este ámbito, ante la necesidad de intervenir en ambas Directivas para dar cobertura legal a las nuevas tecnologías y capacidades de los vehículos autónomos, impulsando su producción en masa en la UE, como así se señaló en enero de 2016 en el documento de debate sobre Vehículos Altamente Autónomos presentado por la Comisión Europea como parte de la iniciativa GEAR 2030³⁴.

7.2 La responsabilidad del conductor

Uno de los problemas centrales que se plantea en relación al fenómeno de los vehículos autónomos es el relativo a la responsabilidad del conductor. En la mayoría de países, el comportamiento del conductor está regulado por normas de tráfico, el derecho civil y penal, con el objeto de garantizar la seguridad vial.

La regulación actual se basa en la suposición de que cuando se utiliza un vehículo en las carreteras existe una persona física a bordo, el conductor, que se considera responsable de la conducción segura del vehículo mientras está en la vía pública. La tecnología de automatización está destinada a reemplazar parcial o completamente al conductor; por tanto, se dibuja la necesidad de un nuevo marco legislativo donde las exigencias normativas para los sistemas autónomos se superpongan a las reglas conductuales del conductor.

Ello implica la necesidad de una estrecha coordinación entre dos áreas legislativas, que tradicionalmente se han mantenido separadas: de una parte, la normativa relativa a los aspectos técnicos del vehículo y, de otra parte, las disposiciones reguladoras de la conducta del conductor. Asimismo, será preceptiva la actualización de las normas de

³³ Fuente disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-80849> [consulta:10-10-2017]

³⁴ GEAR 2030 hace referencia al grupo de trabajo creado por la Comisión Europea con el objeto de impulsar la competitividad y crecimiento del sector de la automoción europeo, así como para abordar los desafíos de la globalización.

tráficos de los diferentes países de manera que tengan en cuenta el uso de vehículos altamente automatizados en las carreteras.

En esta línea, se debe subrayar la existencia a nivel internacional de dos acuerdos marco, actualmente vigentes, con implicaciones para la conducción automatizada: el Convenio Internacional de Ginebra, de 19 de septiembre de 1949, sobre la circulación vial y el Convenio Internacional de Viena, de 8 de noviembre 1968 sobre señalización vial.

De esta forma, el Convenio de Ginebra es un acuerdo internacional, aceptado por 95 estados (Suiza lo firmó, pero no lo ratificó), que estableció normas uniformes para promover la seguridad vial a nivel internacional. El tratado requiere que: i) cada vehículo o combinación de vehículos que constituyan una unidad tenga un conductor; y ii) los conductores deberán en todo momento controlar sus vehículos.

El Convenio de Viena sobre el tráfico rodado es un tratado internacional que establece normas internacionales de tráfico estándar, habiendo sido ratificado por 73 países hasta la fecha. Todos los Estados miembros de la UE son signatarios de la Convención de Viena a excepción del Reino Unido y España que no lo han ratificado; los signatarios no pertenecientes a la UE incluyen a México, Chile, Brasil y Rusia, pero no a los Estados Unidos, Japón ni China.

Debe subrayarse que uno de los principios fundamentales de este tratado se establece en el artículo 8, que requiere que cada vehículo, o combinación de vehículos, tenga un conductor, el cual debe, en todo momento, controlar su vehículo, así como estar en plenas facultades físicas y psíquicas para conducir. Además, en el año 2006, se incluyó un sexto párrafo al citado precepto señalándose que el conductor de un vehículo deberá en todo momento reducir al mínimo cualquier actividad que no sea la conducción. Con este objeto dictamina que las legislaciones nacionales deben prohibir el uso de teléfonos móviles en automóviles y ciclomotores que se encuentre en movimiento.

En 2014, el Grupo de Trabajo sobre Seguridad Vial (WP1) de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) propuso enmiendas al artículo 8 y 39 de la Convención de Viena de 1968 con el objeto de garantizar que las normas de seguridad no obstaculizasen el avance de las nuevas tecnologías destinadas a mejorar la seguridad vial. Según la enmienda, "los sistemas que influyen en la conducción de los vehículos", así como otros sistemas que pueden ser anulados o desactivados por el

conductor, se consideran conformes al artículo 8 de la Convención de Viena. La enmienda adoptada por la ONU el 23 de septiembre de 2015 entró en vigor el 23 de marzo de 2016 y se espera que facilite el lanzamiento al mercado de niveles más altos de automatización una vez que la tecnología esté lista para ser producida a mayor escala. La enmienda fue presentada por los gobiernos de Alemania, Italia, Francia, Alemania, Bélgica y Austria, lo que demuestra hasta qué punto la nueva tecnología es importante para Europa y el resto de potencias económicas del mundo.

No obstante, la Convención modificada todavía exige que cada vehículo tenga un conductor. Es decir, que exista una persona disponible en todo momento para hacerse cargo de las funciones de conducción, pudiendo anular el sistema, encenderlo y apagarlo. En este sentido, mientras que los sistemas con automatización condicional (es decir, vehículos automatizados hasta el nivel 3) podrían funcionar de acuerdo con el Convenio, los sistemas con automatización alta o completa (es decir, sistemas de nivel 4 y 5) siguen siendo incompatibles con el sistema de Viena. Por lo tanto, sería necesario un nuevo proceso de enmienda para permitir la circulación de vehículos totalmente sin conductor.

Paralelamente a las actividades de la Convención de Viena de 1968, el Grupo de Trabajo sobre Seguridad Vial decidió alinear el texto del Convenio de Ginebra de 1949 sobre Circulación Vial con el texto acordado de la enmienda al Artículo 8 de la Convención de Viena.

Un punto crítico adicional es el hecho de que las leyes nacionales de tráfico también pueden contener especificaciones legislativas que impiden la adopción de un nivel de automatización superior al nivel 2 en sus carreteras, creando así una barrera adicional para el desarrollo de estas tecnologías. Por otro lado, sin embargo, hay países que no han ratificado ninguno de los dos convenios internacionales mencionados anteriormente y que, por lo tanto, pueden actuar con mayor autonomía para establecer el marco regulatorio.

A la luz de las dificultades que incluso el nivel 3 de la automatización podría enfrentar en algunos países, y con diferentes sistemas regulatorios emergentes en todo el mundo, varias partes interesadas -incluida la Federación Internacional del Automóvil- solicitan nuevas medidas en este ámbito y la exploración de sinergias entre las disposiciones que tratan con aspectos de comportamiento y aquellas relacionados con la regulación y aspectos tecnológicos del vehículo.

El pasado mes de mayo de 2017, la Comisión Europea publicó un informe en el que se señalaban las directrices generales para el desarrollo de los nuevos sistemas de transporte, entre los que se otorgaba especial atención a la automatización de los vehículos.

En primer lugar, se hace referencia a la necesidad de coordinar la normativa y reglamentación existente en cada país para lograr el impulso común. Además, se señala la necesidad de dedicar mayores inversiones a la investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras que pueden facilitar el lanzamiento de los vehículos automatizados. Como ejemplo de ello encontramos las redes de internet 5-G capaces de transmitir y recibir órdenes a una velocidad mayor teniendo cuantiosas implicaciones en la puesta a punto de los automóviles autónomos.

No obstante, el primer objetivo de la Comisión Europea para el año 2019 es posibilitar el lanzamiento al mercado de vehículos conectados cooperativos, capaces de comunicarse entre ellos y con la infraestructura de su entorno con el objeto de incrementar la eficiencia y seguridad vial.

7.3 Comparativa de marcos legislativos nacionales

En primer lugar, se debe destacar la voluntad existente en la mayoría de países para regular un contexto normativo que permita la práctica de pruebas y ensayos de vehículos altamente automatizados en las vías públicas, fuera de los laboratorios tecnológicos. Ahora bien, los enfoques adoptados a nivel nacional por cada Estado difieren mucho entre sí, dado que mientras algunos países otorgan la autorización caso por caso, otros han centrado sus esfuerzos en modificar la normativa nacional para facilitar la práctica de ensayos en su territorio.

7.3.1 España

Cabe destacar que, si bien los españoles toman una postura proactiva en relación a la automatización de los vehículos autónomo, situándose entre los europeos más favorables a la adopción de políticas que favorezcan su lanzamiento³⁵, todavía quedan enmiendas legislativas por hacer. De hecho, actualmente, el propio Código de Tráfico y

³⁵ Fuente: BIPE – El Observatorio Cetelem Auto 2016.

Seguridad Vial español³⁶ todavía contiene una declaración relativa al hecho de que los conductores deben estar en todo momento en condiciones de controlar sus vehículos, lo que podría implicar limitaciones a la eventual introducción de automóviles cada vez más automatizados.

No obstante, siguiendo la estela de buena parte de las potencias europeas, en el año 2015 la Dirección General de Tráfico aprobó el primer marco normativo estable para autorizar la práctica de ensayos y pruebas pilotos en el territorio nacional. En tal sentido, ello supuso un avance sin precedentes para impulsar el desarrollo de las tecnologías de la automoción con miras de hacerlas más seguras y fiables. Además, ello suponía dar carta blanca a los fabricantes de vehículos, a las empresas de las tecnologías de la información y a la comunidad científica potenciando la inversión en investigación, así como el fomento de la industria del motor en España.

Con tal objeto, el Gobierno español ha invertido en la creación de una pista de prueba al aire libre para probar las tecnologías de conducción más avanzadas y ha apoyado un proyecto de prueba en el que un vehículo plenamente autónomo circuló por la carretera sin requerir la participación de un conductor humano.

Además, España fue anfitriona del proyecto SARTRE FP7³⁷, el cual se celebró en Castellón, León y San Sebastián, teniendo por objeto la demostración de la conducción autónoma de vehículos de transporte en el entorno exterior.

Por su parte, cabe destacar que la compañía Scania se encuentra inmersa en proyectos comunes con el laboratorio español IDIADA, desarrollando conjuntamente el sistema de platooning para su prueba en carreteras españolas desde otoño del 2016.

Además, se debe resaltar que la ciudad de Barcelona desea convertirse en una de las principales ciudades pioneras en la conducción autónoma urbana, para lo cual cuentan con el apoyo institucional del Ayuntamiento de la ciudad. Con este objetivo, hace unos años, se formó la Junta de Cooperación y Automatización de Barcelona que tiene como

³⁶Fuente disponible en:
https://www.boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=020_Codigo_de_Trafico_y_Seguridad_Vial&mod_0=1 [consulta:04-10-2017]

³⁷ SARTRE FP7 es una iniciativa de la Comisión Europea la cual versa sobre el desarrollo de una conducción segura y ecológica a partir de una marcha totalmente autónoma en autovías y autopistas, sin cambios en las actuales infraestructuras y con sólo pequeñas modificaciones en los coches actuales de avanzada tecnología.

fin crear un entorno infraestructural de apoyo a las pruebas de las innovadoras tecnologías automatizadas. Para ello, han elegido el parque de la Ciudadela como una especie de laboratorio urbano para la prueba al aire libre de vehículos autónomos.

En esta línea, el Real Club del Automóvil de Cataluña (RACC) participa en una iniciativa de la ciudad de Barcelona destinada a probar automóviles con funcionalidades automatizadas en condiciones de tráfico real. La función del RACC es obtener la información procedente de los usuarios privados, validar los resultados, la satisfacción y aceptación del usuario final, así como el impacto social de la conducción automatizada; sin embargo, todavía no existe documentación disponible acerca de las conclusiones extraídas.

Además de ello la compañía Tesla ha decidido abrir un nuevo concesionario en L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona), así como dos más en la ciudad de Madrid y Barcelona, con lo que se espera que se incremente la inversión en investigación de la tecnología automatizada en el sector automovilístico³⁸.

Por tanto, para que los niveles de autonomía más avanzados sean una realidad en España, sería necesario, en primer lugar, modificar la legislación vigente y, en segundo lugar, hacer una importante inversión en infraestructuras ya que la automatización vehicular requiere una comunicación fluida con los elementos del entorno.

A este respecto, la Dirección General de Tráfico viene trabajando en los últimos tiempos en la reforma de la Ley del Tráfico y del Reglamento General de Vehículos para permitir la conducción autónoma en España en sus distintos grados. De esta forma, se pretende primar la seguridad y el rigor tecnológico, mientras que al mismo tiempo se optará por adoptar un sistema flexible y de mejora continua que demanda la era tecnológica actual.

Finalmente, destacar que en España no existe el proyecto de promulgar un código ético específico relativo a la conducción autónoma, de manera que la mayoría de países vienen fijándose con carácter general en el aprobado por Alemania en agosto de 2017.

³⁸ Fuente disponible en: <http://www.lavanguardia.com/economia/20170919/431406426967/tesla-tienda-hospitalet-espana.html> [consulta:19-10-2017]

7.3.2 Estados Unidos

En los EEUU, los Estados de California, Florida y Nevada, así como el Distrito de Columbia, ya han aprobado leyes que permiten y regulan las condiciones para la prueba de vehículos altamente autónomos. Además, once de los restantes Estados están considerando la idea de promulgar una legislación capaz de diseñar un contexto legal para la prueba de vehículos autónomos.

Lo más característico de la regulación de los cuatro Estados norteamericanos es que han aprobado una legislación relativa a los vehículos autónomos que permite el uso de esos vehículos altamente automatizados, sin que necesariamente hayan sido previamente objeto de ensayo en el laboratorio; sin embargo, en el caso de Michigan, el conductor debe ser obligatoriamente un representante del fabricante.

Ahora bien, los Estados de California, Nevada y Florida exigen una serie de condiciones como que los vehículos cumplan con las normas federales de seguridad de vehículos de motor. Por su parte, California, Nevada y el distrito de Columbia requieren vehículos autónomos que tengan un dispositivo capaz de desconectar el sistema autónomo, fácil de accionar, y un sistema de alerta para fallos del sistema. Tanto California como Nevada exigen que los vehículos sean capaces de almacenar los datos procedentes de los sensores desde 30 segundos antes de una colisión. Nevada restringe las pruebas a contextos geográficos específicos y California se reserva el derecho de hacerlo; sin embargo, ni Florida, ni el Distrito de Columbia imponen restricciones geográficas. Por su parte, Nevada solo expide permisos de registro explícitamente para las pruebas, mientras que Michigan solo emite certificados de registro a los fabricantes.

Por su parte, la NHTSA, ya mencionada anteriormente, se ha pronunciado en diversas ocasiones para otorgar luz al fenómeno del vehículo autónomo. De esta forma, además de facilitar una ordenación de los distintos niveles de autonomía existentes, ha tratado de aclarar diversos términos técnicos como el de “controlador”, a raíz de una solicitud promovida por Google para interpretar varias disposiciones de los Estándares Federales de Seguridad de Vehículos a Motor que se aplican al diseño creado por Google para vehículos automatizados, el cual están desarrollando y probando.

La NHTSA afirmó que el ordenador a bordo que Google creó para que sus automóviles circularán sin conductor puede considerarse, según la ley federal, un “conductor”. En este sentido, el citado organismo explicó que, en este caso, debía

interpretarse el concepto 'conductor' como el sistema de conducción autónoma que sustituye a la figura del tradicional conductor humano encargado de las funciones de conducción.

Por tanto, la NHTSA acordó que el "conductor" del vehículo autónomo de Google no sería un "conductor" humano, como tradicionalmente había venido siendo desde la aparición de la industria automovilística. Esta legitimación de la inteligencia artificial como alternativa a la conducción humana es una victoria significativa para los productores autónomos de vehículos y los futuros usuarios. De tal forma, se considera que la afirmación de la capacidad de esta tecnología por parte de la NHTSA puede agilizar significativamente el proceso de implementación, aunque aún queda mucho por hacer para que estos vehículos puedan comercializarse con plenas garantías. Finalmente, cabe destacar que la NHTSA también indicó claramente la necesidad de que empresas como Google desarrollaran un método de normas y certificación para sistemas de auto conducción.

No obstante, a pesar del progreso logrado a nivel federal, todavía hay importantes cuestiones legales que se plantean en torno al mundo de los vehículos autónomos en los Estados Unidos. El Departamento de Vehículos Motorizados de California (CA DMV) recientemente propuso regulaciones para que todos los vehículos autónomos tuvieran dispositivos de control manual de manera que un conductor humano pudiera recuperar el control del vehículo en situaciones de emergencia. Tal regulación sería un gran revés para los desarrolladores de dispositivos autómatas que intentan eliminar por completo el controlador humano de la ecuación. Por su parte, Google expone argumentos en contra de la citada propuesta señalando los peligros de un control manual que podría tentar a los pasajeros a anular las decisiones del sistema de conducción autónoma, reintroduciendo el peligro de error humano que es responsable del 93% de los accidentes en los EE. UU.

En definitiva, EEUU ha decidido liderar el cambio hacia el modelo de vehículo plenamente autómata y con tal objeto el Departamento de Transporte de los EEUU ha impulsado en los últimos tiempos nuevas políticas federales sobre vehículos autónomos que tienen por objeto permitir la práctica de pruebas armonizadas en todo el territorio americano.

De esta forma, en septiembre del año 2016, el citado organismo promulgó una serie de directrices para los fabricantes y desarrolladores de vehículos autónomos con el objeto de armonizar la regulación existente y abogar por una estricta política de seguridad.

Para ello se definía un método de evaluación de seguridad basado en 15 puntos aplicable al diseño, desarrollo, pruebas y despliegue de los vehículos autónomos, señalándose los objetivos y metodologías para la detección de objetos y eventos, la respuesta ante los mismos, la seguridad vial, así como la reacción del automóvil en caso de fallo del sistema automatizado. Además, se cubrían los requisitos para probar, validar y verificar un vehículo altamente automatizado, así como las pautas para registrar y compartir datos, el comportamiento en caso de accidente y la ciberseguridad del vehículo.

Por su parte, el pasado octubre de 2017, EEUU hizo historia y se convirtió en el primer país del mundo en dotar de una regulación completa a la conducción autónoma. Esta Ley permitirá la fabricación, así como la comercialización de 15.000 vehículos automatizados por cada marca en su primer año de vigencia. De hecho, de validarse su efecto positivo sobre la seguridad vial, se ampliaría el cupo hasta un máximo de 80.000 vehículos anuales más, por un periodo de tres años.

Cabe destacar que en esta decisión legislativa ha tenido un peso encomiable el lobbying³⁹ ejercido por las grandes potencias de la industria automotriz y del sector de las TI, como Tesla, General Motors, Ford, Volkswagen, entre otras. Asimismo, su promulgación se debe al reconocimiento de una realidad palpable en los EEUU por cuanto compañías como Lyft y Uber ya han lanzado vehículos de semi conducción autónoma en ciudades San Francisco, Pittsburgh, Phoenix y Sacramento.

No obstante, a este respecto cabe destacar que la actual legislación no permite la fabricación de vehículos autómatas de mercancías para su lanzamiento al mercado, por motivos de seguridad.

En definitiva, EEUU se ha convertido en la primera potencia mundial en abrir las pruebas de conducción autónoma a través de una regulación que le está reportando cuantiosos beneficios en forma de licencias e inversión.

³⁹ El lobbying, persuasión o la representación de intereses, es el acto de intentar influir en las acciones, políticas o decisiones de los funcionarios en su vida diaria, en la mayoría de los casos legisladores o miembros de agencias reguladoras.

7.3.3 Reino Unido

Como el Reino Unido nunca ratificó la Convención de Viena de 1968, su marco legislativo no requiere cambios normativos importantes que le permitan probar vehículos automatizados en las vías públicas; sin embargo, el gobierno británico consideró que era conveniente dotar de un entorno legislativo específico a la automoción autónoma.

En este sentido, su primera acción fue llevar a cabo un informe, titulado “El camino hacia los coches sin conductor”⁴⁰, que revisaba las regulaciones y legislación vigente para examinar su compatibilidad con los sistemas tecnológicos automatizados de los vehículos. Cabe subrayar el énfasis del gobierno británico por resaltar que el marco regulatorio, todavía no introducido, será lo suficientemente flexible para garantizar que los fabricantes y proveedores puedan probar y desarrollar fácilmente vehículos autónomos. Aunque el objetivo era promulgar la nueva normativa para el verano de 2017, ésta todavía no ha sido aprobada, aunque se espera hacerlo próximamente.

Mientras tanto, el Departamento de Transporte británico ha publicado un Código de Práctica⁴¹, no legal, que se espera que sigan las organizaciones testadoras de vehículos autónomos en el Reino Unido. Éste se encarga de proporcionar pautas y recomendaciones para la adopción de medidas preventivas que permitan mantener la seguridad durante las pruebas. Además, en julio de 2015, el gobierno del Reino Unido lanzó un fondo competitivo de 20 millones de libras para la investigación y el desarrollo de sistemas autónomos en la industria automotriz.

7.3.4 Suecia

En Suecia, coexisten la Convención de Viena y la Ordenanza de Tráfico Sueca, como normativas principales, a lo que se debe añadir los reglamentos de desarrollo incorporados por las autoridades suecas a la legislación nacional.

De esta forma, por el momento, la Ordenanza considera la presencia de un conductor dentro del vehículo, capaz de intervenir en todo momento, como obligatoria. En este sentido, el Departamento de Tráfico Sueco ha mostrado la necesidad de que exista

⁴⁰ Departamento de Transporte, El camino hacia los coches sin conductor: Informe y plan de acción, 2015.

⁴¹ Departamento de Transporte, El camino hacia los coches sin conductor: Código de práctica para la prueba de vehículos autónomos, 2015.

un sujeto responsable legal de la conducción en todo momento; sin embargo, la legislación sueca no prohíbe categóricamente la utilización de sistemas de conducción autónomos avanzados para apoyar las labores del conductor, aunque si señala algunas limitaciones.

Debido a lo expuesto, los fabricantes de automóviles deberán demostrar que sus sistemas automatizados no afectan a las tareas básicas de conducción y permiten al conductor mantener siempre el control del vehículo. De acuerdo con la Ordenanza, las autoridades locales y los municipios están autorizados para emitir leyes especiales de tránsito y definir regulaciones, independientemente de las directivas nacionales. No obstante, en cualquier caso, dichas autorizaciones especiales solo pueden concederse para situaciones que garanticen la seguridad vial en todo momento.

Finalmente, cabe destacar que la regulación de transporte sueca permite a las autoridades tomar decisiones rápidas, sin seguir los trámites burocráticos pre establecidos, con fines innovadores como las pruebas de auto conducción donde destaca el programa Drive Me, ya detallado en el epígrafe anterior.

7.3.5 Japón

El caso de Japón es característico porque a pesar de no haber firmado el Convenio de Viena cuenta con varias restricciones legales para probar vehículos autónomos en el país. En este sentido, las empresas privadas están presionando al gobierno para que colabore con otros Estados de las Naciones Unidas a fin de modificar la legislación internacional vigente.

Actualmente, las autoridades otorgan permisos de prueba caso por caso y la presencia de un conductor es legalmente requerida en todo momento. El primer permiso oficial para probar vehículos autónomos en Japón se obtuvo en 2013 por el fabricante de automóviles Nissan, que obtuvo autorización para probar sus vehículos en la prefectura de Kanagawa. La prefectura de Kanagawa, debido a su condición de zona estratégica nacional, permite una mayor flexibilidad regulatoria en comparación con el resto del país, habiendo recibido un permiso especial para comenzar a probar el taxi autónomo Robot Taxi a partir de marzo de 2016.

7.3.6 Francia

Aunque Francia también firmó la Convención de Viena de 1968, en octubre de 2014, la Asamblea Nacional francesa autorizó vehículos automatizados con fines de prueba. En esta línea, se puede afirmar que Francia mantiene una postura proactiva en cuanto a la expansión y promoción de vehículos plenamente automatizados.

De esta forma, el Gobierno Francés ha definido cinco zonas geográficas donde actualmente se permiten pruebas señalando que próximamente introducirá nuevas áreas que ayuden al desarrollo de la automatización en el país. En cuanto a la legislación, las autoridades francesas esperan promulgar la normativa oficial para las pruebas en el año 2020. Cabe destacar que Peugeot Citroën fue la primera compañía automotriz en obtener la autorización para realizar pruebas en carreteras francesas, otorgándose permisos para cuatro vehículos en 2015 y para otros 15 en el año 2016.

7.3.7 Alemania

La legislación alemana contiene obligaciones legales para los conductores en relación con el control del vehículo, así como la monitorización de la carretera y el tráfico. El concepto legal de control del vehículo forma parte de la Convención de Viena y también se incluyó en el párrafo tercero del Código de Tráfico y Seguridad Vial alemán, mientras que el párrafo primero del citado texto legal requiere que el usuario de la carretera actúe con diligencia y precaución.

Por lo tanto, las pruebas de vehículos altamente automatizados en vías públicas solo están permitidas bajo el control de un conductor que tiene plena responsabilidad legal de la conducción. Mientras tanto, la mesa redonda creada para la conducción autónoma por el Ministerio Federal Alemán de Transporte e Infraestructura anunció en el año 2015 que próximamente publicaría una hoja de ruta para el desarrollo legal de la normativa relativa a la conducción automatizada.

El país germano ha sido el primero en dar solución a las cuestiones relativas a la responsabilidad y ética que surgían en la sociedad como consecuencia de la eventual expansión del fenómeno autónomo en la industria automotriz.

De esta manera, Alemania aprobó en agosto del año 2017 el primer Código Ético⁴² del mundo para la fabricación y utilización de vehículos automatizados, como una fase previa a la futura legislación viaria que se espera promulgar en un futuro cercano.

En este sentido, cabe destacar que el citado proyecto ha sido el resultado de un trabajo común entre diversas ramas de la ciencia social y científica, sentando las directrices éticas sobre las que se basará la futura regulación del régimen de responsabilidades en caso de accidente. Es por ello que la conducción autónoma parte de la premisa de que su legitimación depende de su capacidad para incrementar la seguridad vial y causar menos accidentes de tráfico que la conducción a manos de un humano.

De esta forma, haciendo un pequeño resumen de lo dispuesto en el mismo puede afirmarse que el principio universal es la protección de la vida humana por encima de las cosas materiales. Por ello en situaciones de peligro, el sistema automatizado debe ser programado de tal forma que salvaguarde la protección de las personas, aunque sea a costa de ocasionar daños materiales.

En tal sentido, se establece la necesidad de promulgar una legislación que establezca de antemano a quien corresponde la responsabilidad en caso de accidente. Para ello se propone la incorporación en los vehículos de una caja negra donde queden registrados todos los datos relativos a la conducción, facilitando de esta forma la imputación de la responsabilidad; sin embargo, resulta cierto que se plantea cierto debate en cuanto a quién podría tener acceso a dicha información.

7.3.8 Bélgica

La legislación belga permite probar prototipos autónomos en las carreteras bajo la responsabilidad de los fabricantes de automóviles; sin embargo, estos test están sujetos a los permisos de las autoridades regionales, como propietarias de las infraestructuras, y de la administración federal, que debe aprobar la tecnología instalada en el vehículo.

A este tenor, desde que Bélgica ratificó la Convención de Viena de 1968, los permisos se otorgan bajo la condición de que un conductor debe estar presente en el vehículo y listo para intervenir; sin embargo, tan pronto como se modifique el articulado

⁴² Fuente disponible en: http://www.abc.es/sociedad/abci-berlin-aprueba-primer-codigo-etico-mundo-para-vehiculos-autonomos-201708231457_noticia.html [consulta:20-10-2017]

del Convenio de Viena relativo a los vehículos autónomos, podrían comenzar las pruebas en carretera de los sistemas automatizados sin conductor.

7.3.9 Países Bajos

Los Países Bajos firmaron en efecto la Convención de Viena de 1968; sin embargo, en 2015, el Consejo de Ministros holandés aprobó una enmienda a las reglamentaciones nacionales que autorizaba a la Agencia Nacional de Tráfico Rodado a otorgar una exención para las pruebas a gran escala de automóviles y camiones sin conductor en la vía pública. Por tanto, Holanda es uno de los países europeos más comprometidos con la industria automotriz y tiene como objetivo construir un marco normativo que regule la prueba de vehículos autónomos en su territorio.

Como conclusión de lo anteriormente analizado, podemos afirmar que existen importantes proyectos legislativos en curso a lo largo de gran parte de los países del mundo que tienen por objeto dotar de seguridad jurídica a la industria automotriz autónoma para lograr su promoción y expansión en el corto y medio plazo.

En este sentido, hemos visto como gran parte de los países europeos está tomando medidas importantes para estar a la vanguardia de la investigación en este sector. Otros países de la OCDE, como Estados Unidos y Japón, acogen empresas de la tecnología de la información como Uber, Google y Robot Taxi, que están realizando importantes inversiones en la investigación y prueba de la automatización de sus vehículos.

En cuanto al actual liderazgo, debemos diferenciar entre investigación privada y pública; sin lugar a dudas el fenómeno del vehículo autónomo encuentra su máximo exponente en los EEUU donde importantes empresas de la tecnología de la información, como Google, Apple y Uber, están desembolsando cantidades ingentes para desarrollar y poner en marcha sus prototipos. El fenómeno Silicon Valley y el “lobbying” ejercido por las importantes multinacionales ha favorecido el desarrollo de un marco legislativo en los últimos tiempos que ha impulsado exponencialmente el desarrollo de vehículos cada vez más automatizados convirtiendo su uso en una realidad cada vez más próxima.

Por su parte, cabe destacar la gran inversión pública que ha realizado el gobierno británico, convirtiéndose en el ente público líder en investigación relativa a la conducción

automatizada. Aparte, de tomar medidas para promulgar un marco regulatorio capaz de facilitar la prueba de tecnología automatizada en el país, está financiando varios proyectos de investigación con el objetivo de posicionar al Reino Unido como centro de excelencia para la prueba y desarrollo de la automatización de vehículos, garantizando la vitalidad de la industria automotriz británica a corto, medio y largo plazo.

Además, aunque, los gobiernos de Francia, Alemania y Suecia también participan activamente en el desarrollo de la automatización de vehículos, en estos países, la investigación está impulsada principalmente por las industrias automotrices. En Francia, Peugeot Citroën y Renault, junto con los proveedores de automóviles Valeo, están desarrollando sistemas autónomos avanzados para automóviles de pasajeros. En Alemania, Volkswagen, Mercedes Benz, BMW y Audi están probando sistemas de asistencia de conducción avanzada capaces de realizar autónomamente una serie de tareas de conducción, si bien en condiciones específicas. Por su parte, en Suecia, el grupo Volvo estudia aplicaciones avanzadas de automatización de la conducción en un contexto urbano (proyecto Drive Me), mientras que Scania, que ya ha probado secciones de camiones en Suecia, ahora está participando en el proyecto europeo COMPANION, ya referido anteriormente.

De otra parte, los Países Bajos han mostrado un gran interés por la automatización de conjuntos de camiones que circulan simultáneamente, lo que se conoce como platooning de camiones. Esta inclinación se debe a su potencial para reducir el costo de la distribución de mercancías. En esta línea, en el año 2016 Holanda inició el desafío europeo de desarrollar un proyecto para dinamizar el platooning de camiones. Asimismo, es anfitriona del proyecto “WE pod” debiendo probar autobuses pequeños que conducirán autónomamente en la ruta que existe entre el campus de la Universidad de Wageningen y la ciudad de Ede.

Por tanto, llegados a este punto, se encuentra un hallazgo muy relevante y es que mientras los fabricantes de automóviles están desarrollando principalmente sistemas cada vez más automatizados con un enfoque centrado en el conductor (enfoque evolutivo), las compañías de tecnología generalmente están probando vehículos auto dirigidos, sin conductor, cuya expansión revolucionaría el paradigma de movilidad actual (enfoque revolucionario); sin embargo, es cierto que existen algunas excepciones en las compañías de las tecnologías de la información, como Baidu o Here, que se asocian con fabricantes alemanes para el desarrollo de sistemas autónomos y de asistencia al conductor.

Dicho todo lo anterior, se ha observado la relevancia e impacto que tiene el contexto legislativo el cual es capaz de promover o bloquear la expansión de un fenómeno como el que se nos presenta. En este sentido, las disposiciones legislativas nacionales e internacionales establecen las condiciones técnicas que deben cumplirse para permitir la circulación de vehículos en las vías públicas y definir la responsabilidad de los conductores. En la UE, la Directiva 2007/46/CE regula cómo deben operar y diseñarse los vehículos nuevos; sin embargo, las disposiciones técnicas más detalladas están contenidas, como ya se ha señalado, en los reglamentos de la CEPE a los que hace referencia la legislación de la UE.

Por su parte, se ha visto que existen dos convenciones internacionales las cuales determinan en gran medida la responsabilidad y el comportamiento del conductor, aunque existen diferencias en la forma en que los países las aplican: algunos no las han ratificado o, por el contrario, han implementado reglas más estrictas. Además, los actuales marcos nacionales adoptados para regular las pruebas de vehículos altamente automatizados varían de un país a otro. Por otra parte, dentro de las reglas vigentes, existen importantes barreras a la introducción en el mercado global de vehículos con niveles de autonomía 3, 4 y 5. Incluso, en algunos casos, las disposiciones nacionales también podrían desafiar la implementación del nivel 2.

Por tanto, resulta fundamental para lograr el impulso y expansión de la industria automotriz autónoma la creación de un contexto legislativo y jurídico común, internacional y transfronterizo, capaz de crear sinergias y acuerdos entre la regulación de las tecnologías del automóvil y los aspectos conductuales del conductor.

8. GESTIÓN DE LAS DECISIONES EN LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

En este capítulo se va a abordar el tema de la ética robótica en los vehículos autónomos. Los robots ya no sólo los encontramos en las novelas o en las películas de ciencia ficción, sino que forman parte de nuestras vidas cotidianas. Por ello es necesario responder a numerosas preguntas que aún se encuentran sin respuesta.

Como se ha indicado en secciones anteriores, la existencia y fabricación de vehículos autónomos requiere de un profundo replanteamiento sobre multitud de cuestiones antes de su lanzamiento, no sólo tecnológicas, ambientales, sociales o legales, sino también éticas y morales. Por ello, con objeto de aportar una completa visión del contexto en el que se daría la eventual entrada de estas nuevas obras de la ingeniería en nuestro día a día, resulta imprescindible detenerse a analizar estas disyuntivas, que, si bien pueden ser extensibles a todo tipo de usos de la robótica, en este ámbito de seguridad viaria y vidas humanas, pueden tener una mayor relevancia.

A este respecto, se plantea una reflexión que reviste especial interés:

8.1 ¿Cómo debería programarse un vehículo sobre el modo de reaccionar en caso de accidente?

De forma adicional a la programación reglamentaria que el fabricante debe introducir con respecto al cumplimiento de la normativa de circulación, resulta necesario indicar al vehículo, a través de su previa programación, las instrucciones que debe seguir en caso de verse envuelto en una situación conflictiva, en la cual pueden verse afectados derechos fundamentales tan importantes como el derecho a la vida. De esta forma, tal programación será la responsable de cómo actuará el sistema autómata en una situación límite.

En vista de ello, es importante señalar las tres leyes de la robótica de Asimov⁴³, el cual, ya en el año 1942 había previsto esta cuestión en sus novelas, señalando las tres normas base que un robot debería seguir, en cualquier caso:

1. Un robot no hará daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la 1º ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la 1º o la 2º ley.

Estas tres leyes, ejemplificadas al supuesto concreto de los vehículos autónomos podrían resultar en lo siguiente:

1. El vehículo deberá conducir de tal manera que evite cualquier daño dirigido a las personas, por tanto, en caso de una supuesta colisión, debería reaccionar evitando la colisión, a costa quizás de producir otros daños materiales. El mismo ejemplo sería en cuanto a los ocupantes que pudieran encontrarse en el vehículo.
2. El vehículo debería obedecer a las órdenes dictadas en su programación y, en caso de que se tratase de un vehículo mixto que permita tanto la conducción manual como la conducción autónoma, si la persona tomara los mandos para actuar deliberadamente de manera maliciosa, el vehículo debería recuperar inmediatamente el control. Del mismo modo, en base a esta ley debería establecerse un sistema de seguridad que impidiera una manipulación malintencionada procurando el anterior objetivo.
3. Por último, el vehículo debería evitar a toda costa la autodestrucción; sin embargo, si surgiera por ejemplo el conflicto de encontrarse frente a un peatón al que no debe atropellar, pero no le queda otra opción que lanzarse contra la mediana aun cuando puede suponer su propia destrucción, se debería decantar por esta última opción. Pero, ¿qué ocurre si dentro de dicho vehículo también existe una o varias personas que pueden perder su vida?

⁴³ Tres Leyes de la robótica. Wikipedia. Disponible en:
https://es.wikipedia.org/wiki/Tres_leyes_de_la_rob%C3%B3tica [consulta:07-10-2017]

8.2 Intentando programar la moral

Esta última cuestión lleva a plantearse la delicada pregunta de: ¿Podría decantarse el vehículo por arriesgar la propia vida de su ocupante en favor de las vidas de cuatro menores que podrían tener “mayor valor”? La cuestión es sin duda controvertida.

Es cierto que existen numerosas situaciones para las cuales ni siquiera el ser humano es capaz de vislumbrar una respuesta adecuada, pensemos en el ejemplo comúnmente conocido del tranvía⁴⁴. A tenor de ello, ¿cómo va a pedirse una acción correcta a una máquina cuando ni siquiera el ser humano sabría cómo reaccionar? Es más, la máquina no tiene posibilidad de acción siempre que no haya sido previamente programada, por lo que será el ser humano quien deba buscar una respuesta a este tipo de dilemas.

Existe por otro lado una diferencia sustancial y es que, mientras que la reacción de una persona en una situación de conflicto suele ser una reacción rápida y aleatoria, sin casi tiempo para pensar y razonar cuál sería la solución menos perjudicial, un vehículo autónomo sin embargo reaccionará en función de la programación previamente instalada en su sistema operativo. Y esta programación es el resultado de un análisis detenido y razonado, en el que sí que se han podido analizar pros y contras, por lo que el nivel moral y ético de la respuesta debe ser evidentemente mayor, y por tanto sería lógico exigir una mayor diligencia.

A raíz de lo anterior, Patrick Lin, director del grupo Ethics + Emerging Sciences de la California Polytechnic State University dijo lo siguiente:

“Si condujéramos el automóvil en modo manual, de cualquier forma, que quisiéramos reaccionar [en caso de un choque inminente, con posible escapatoria hacia derecha o

⁴⁴ The Trolley problem es un problema moral planteado en numerosas ocasiones en el mundo de la informática en el cual se plantea una seria disyuntiva de difícil solución para todo ser humano. Un tranvía circula a gran velocidad por una vía. Más adelante en la misma vía se encuentra un grupo de cuatro personas atadas en ella las cuales van a morir atropelladas si el tranvía continúa por su camino. Éste no puede frenar, pero hay una persona que desde fuera puede accionar una palanca que haría que el tranvía se bifurcara por una vía diferente, salvando por tanto la vida de esas cuatro personas. Pero en esa segunda vía también hay una persona atada que puede ser arrollada. El problema se plantea para quien tiene el poder de cambiar el destino del tranvía y accionar la palanca, ¿debería no hacer nada? O en cambio ¿accionar la palanca para salvar la vida de esas cuatro personas en perjuicio de esa otra, porque es una sola? ¿debería poner en peligro a alguien que antes no lo estaba para salvar cuatro vidas en lugar de una?

izquierda] se entendería sólo como eso, una reacción y no una decisión deliberada. Sería un movimiento de pánico instintivo sin premeditación o malicia.

Pero si un programador tuviera que asignar al vehículo hacer un movimiento, dadas las condiciones que pueden presentarse en el futuro, bueno, eso se parece más a homicidio premeditado, porque los accidentes pueden suceder y sucederán, y cuando sucedan, los resultados pueden determinarse con meses o años de antelación por programadores.”

8.3 Posible solución: moral consensuada

La solución, según algunos investigadores, podría estar en consensuar una moral para las máquinas a partir de las preferencias de la sociedad, de las decisiones éticas que tomarían millones de personas en todo el mundo ante determinadas circunstancias.

En concreto, un grupo de investigadores del Media Lab del Massachusetts Institut of Technology (MIT) y del departamento de Machine Learning de la Universidad Carnegie Mellon (CMU) han propuesto que los algoritmos de los coches autónomos aprendan los principios éticos por los que deben guiarse a través de las opiniones mayoritarias de la gente, de una moral “consensuada” a partir de una amplia votación.

Para conseguir esta base formal de principios éticos proponen, en primer lugar, realizar una especie de encuesta entre el mayor número de personas posible preguntándoles a quién verían más ético atropellar en determinadas situaciones en función de vectores como el número de víctimas afectadas, su género, su edad, su salud, su actividad económica o incluso la especie a que pertenecen, así como si han cometido o no alguna infracción de tráfico.

El segundo paso que plantean es crear modelos de preferencia de cada uno de los votantes para, en una tercera fase, crear un modelo único basado en las preferencias generales, de modo que en cada una de las situaciones planteadas se elegiría la opción más votada como “la más ética” por consenso social. El último paso, según la propuesta elaborada por los investigadores del MIT y de la CMU, sería agregar a los algoritmos de los coches autónomos todas esas preferencias éticas para que cuando al vehículo se le plantee un dilema moral similar actúe según lo que ha decidido la mayoría de los ciudadanos votantes.

El sistema no está exento de polémica. El hecho mismo de automatizar las respuestas a situaciones complejas ya causa controversia, puesto que no todo el mundo está de acuerdo en que la reacción del coche no dependa de la opinión de quien viaja dentro. Pero, además, en cuestiones de moral uno puede no compartir la preferencia ética de la mayoría sobre si ha de anteponerse la vida de las personas o la de los animales, de los jóvenes o de los ancianos, de una embarazada o de un indigente, del inocente o del culpable.

Para evaluar la viabilidad de su teoría y estudiar cómo automatizar el proceso de encuestas para obtener un resultado claro para cada situación, los investigadores han creado un sitio web denominado “Máquina Moral”⁴⁵, disponible en diez idiomas, donde los usuarios pueden votar qué debería hacer el coche autónomo ante determinados dilemas morales o incluso diseñar nuevos escenarios o situaciones conflictivas que creen que podrían presentarse y sobre los que habría que reflexionar y recoger opiniones del máximo número de individuos.

“Este sitio pretende profundizar en la discusión –sobre la ética que debe regir a las máquinas inteligentes– proporcionando una plataforma para construir una imagen multitudinaria de la opinión de los humanos sobre cómo las máquinas deben tomar decisiones cuando se enfrentan a dilemas morales”, explican sus autores.

En la web se presenta a los votantes una serie de situaciones complejas en las que deben decidir cuál es el mal menor. En unos casos se trata de decidir si el vehículo autónomo debería esquivar un obstáculo para que los pasajeros no sufran daño, aunque ello suponga atropellar a unos animales.

En otros, el dilema obliga a posicionarse sobre si valen más las vidas de unas mujeres o las de unos hombres, la de unas personas atléticas o de la de unas no atléticas, la de un niño o la de un anciano, la de un ejecutivo o un médico que la de unos ladrones o unos indigentes, la de dos perros o la de un perro y un gato... Y también a ponderar la variable “culpabilidad”, pues en algunas circunstancias algunos de los afectados se han saltado una señal de tráfico o un semáforo en rojo. La encuesta está abierta y cualquier persona puede votar. Y el sistema muestra luego los resultados: qué personajes salva y

⁴⁵ Página web que incluye el test sobre dilemas morales en las decisiones del vehículo autónomo. Disponible en: <http://moralmachine.mit.edu/hl/es> [consulta: 07-10-2017]

cuáles sacrifica con más frecuencia el usuario, si es proclive o no al cumplimiento de la ley, así como su posicionamiento respecto a la media votada por los otros usuarios.

En el anexo II se detallan algunos de los dilemas que propone el test “Máquina Moral” y, finalmente muestra los resultados personales obtenidos.

9. EXPANSIÓN A CORTO, MEDIO Y LARGO PLAZO DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO

En el presente epígrafe se analizarán las principales previsiones para la expansión y propagación del vehículo autónomo en función de sus diferentes niveles de automatización. Para ello, se han planteado diversos escenarios a través de los cuales podría producirse la penetración de los vehículos automatizados en el mercado, diferenciando entre distintos lapsos temporales: el corto, medio y largo plazo.

De esta forma, a largo plazo, se prevén posibles escenarios capaces de crear sinergias donde los niveles más altos de automatización del vehículo están estrechamente vinculados con unas tecnologías punteras de conectividad y comunicación entre los propios vehículos y, asimismo, entre vehículos e infraestructura.

Como se discute más adelante, la escala y probabilidad de los impactos estimados dependen estrictamente del grado de diseminación de los vehículos autónomos en los próximos años, así como del grado en que su introducción se encuentre acompañada de una tendencia hacia un modelo de movilidad conectada y de tecnologías automotrices limpias.

De esta forma, este epígrafe es el resultado de un intenso trabajo de recopilación y análisis que parte de la evidencia existente, así como de la información recopilada hasta la fecha por otros estudios; sin embargo, a pesar de los esfuerzos efectuados, se reconoce que se trata de un área que requiere una investigación continua dada la rapidez con la que evolucionan las tecnologías y se incorporan al mercado.

9.1 Vías futuras para la implementación de vehículos autónomos

Como ya se ha referido anteriormente, en primer lugar, resulta clave discernir cuáles son las alternativas más idóneas para propiciar la expansión de la automatización en los vehículos de pasajeros, de carga, así como en el transporte público y de movilidad urbana.

Para ello, se ha tenido en cuenta los informes vertidos por organizaciones públicas internacionales y europeas como el Foro Internacional de Transporte de la OCDE⁴⁶, el Consejo Asesor Europeo de Investigación sobre el Transporte por Carretera⁴⁷ y la Plataforma Tecnológica Europea⁴⁸ sobre Integración de Sistemas Inteligentes. Además, también se han incluido las opiniones de otros actores públicos y privados, como la Organización Neerlandesa de Investigación Científica Aplicada⁴⁹ -particularmente útil para conocer la evolución del transporte de mercancías- y los actores de la industria, principalmente fabricantes de vehículos y empresas tecnológicas, con el fin de informar un análisis coherente y fiable.

En este sentido, cabe destacar que las diferentes partes interesadas plantean diversos puntos de vista sobre la escala de tiempo necesaria para la colocación y el crecimiento de vehículos automatizados en el mercado global; sin embargo, más allá de las vías establecidas, existen muchas incertidumbres que podrían influir en los plazos de implementación, así como potencialmente bloquear su introducción y/o difusión real.

Estos desafíos abarcan nuevos avances tecnológicos y una revisión adecuada de las reglamentaciones pertinentes que permitan la implementación segura y legal de sistemas automatizados, así como la seguridad de los datos procesados y las cuestiones relativas a la responsabilidad que a su vez determinarán la aceptación pública de estas tecnologías y, en consecuencia, su difusión generalizada.

9.1.1 Vehículo de pasajeros

Como ya se anticipó en el epígrafe número 6, se espera que el desarrollo de vehículos de pasajeros automatizados en las próximas décadas sea liderado por dos enfoques diferentes: evolutivo y revolucionario.

⁴⁶ *Perspectivas del Transporte 2017 ITF*. Disponible en: <http://www.oecd-ilibrary.org/sites/8aee2017-es/index.html?itemId=/content/summary/8aee2017-es> [consulta: 08-10-2017]

⁴⁷ *El transporte por carretera: normas de tráfico y de seguridad*. Disponible en: http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.6.5.html [consulta: 08-10-2017]

⁴⁸ Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Plataforma_Tecnol%C3%B3gica_Europea [consulta: 08-10-2017]

⁴⁹ PowerPoint sobre la organización http://dcsch.xoc.uam.mx/produccioneconomica/publicaciones/11_TNO_ecoinnovacion_Mexico.pdf

Generalmente, los fabricantes de automóviles siguen el enfoque evolutivo centrado en el conductor. Es decir, tratan de mejorar la experiencia de conducción aumentando progresivamente el nivel de automatización del vehículo (desde asistencia en la conducción hasta automatización parcial y alta), así como ampliando el contexto de la aplicación de sistemas automatizados.

De otra parte, redes de transporte, como Uber, y compañías tecnológicas, como Google y Apple, han optado directamente por el estudio y prueba de vehículos totalmente autónomos. Es decir, su enfoque es revolucionario y, por tanto, no muestran interés por los niveles intermedios de automatización, ya que su objetivo es convertir al conductor en un mero pasajero capaz de hacer otras cosas mientras viaja. En este sentido, cabe destacar que estas compañías esperan obtener ganancias vendiendo su software y servicios de tecnologías de la información y comunicación tanto para la industria del transporte como para los usuarios de las carreteras.

Por tanto, en resumen, lo que está claro es que la automatización de los vehículos para pasajeros será en el futuro una realidad fáctica, esperándose que los dos enfoques se ejecuten en paralelo. De esta forma, el enfoque evolutivo probablemente conduzca a la implementación de sistemas cada vez más automatizados (niveles 2 a 4) en el corto plazo (próximos 5-10 años) y en el mediano plazo (10-20 años). Además, se espera que el enfoque revolucionario sea factible a gran escala en un horizonte de tiempo más lejano (más de 20 años) ya que la automatización completa requiere sistemas tecnológicos más avanzados, así como una profunda modificación de los marcos normativos internacionales y nacionales vigentes.

A continuación, se señalará en profundidad los pasos evolutivos de los vehículos automatizados para pasajeros en los diferentes lapsos temporales.

A corto plazo

En los próximos años, se espera que los sistemas automatizados, ya legales y disponibles en el mercado, aumenten su penetración. Estos sistemas pertenecen principalmente al Nivel 0 y al Nivel 1 de la clasificación de la SAE.

Como ya se mencionó en el epígrafe relativo al marco legislativo, los sistemas de nivel 2 -capaces de ejecutar y controlar funciones de conducción tanto longitudinales

como laterales, bajo supervisión del conductor- requerirán la enmienda del Reglamento número 79 de la ONU para aplicarse en situaciones distintas al estacionamiento.

A medio plazo

Por su parte, se espera que los sistemas de nivel 3 sean la próxima implementación, en forma de Traffic Jam y Highway Chauffeurs, que representan una evolución de nivel 2, pudiendo ejecutar control longitudinal y lateral bajo ciertas condiciones sin la necesidad de un monitoreo constante por parte del conductor; sin embargo, de nuevo se observa que la aplicación de estos sistemas de nivel 3 probablemente se limitará a autopistas, autovías o infraestructuras con características similares.

Los sistemas de estacionamiento de nivel 4 altamente automatizados, que permiten un estacionamiento autónomo sin necesidad de supervisión del conductor, podrían estar disponibles a medio plazo, al menos en algunas situaciones protegidas; sin embargo, la implementación de estos sistemas requiere enmiendas legislativas de la actual normativa vigente. Ello implica que los obstáculos reglamentarios podrían retrasar su implementación real, aunque técnicamente sean factibles.

A largo plazo

Debido a la complejidad tecnológica de las interacciones entre los diferentes usuarios de la vía pública, así como a las mayores preocupaciones existentes en torno a su seguridad y aceptación, se espera que la aplicación de los sistemas de nivel 4 en áreas suburbanas y urbanas tenga lugar en un horizonte más lejano.

Además, aún no está claro quién será el primero en implementar vehículos de nivel 4 capaces de funcionar de manera segura en áreas de uso mixto. Estos sistemas podrían ser desarrollados por los fabricantes de vehículos, o, por el contrario, las empresas de tecnología/redes de transporte podrían adelantarse a ellos, implementando sistemas de nivel 4 antes de lanzar al mercado automóviles totalmente automatizados.

Los vehículos totalmente automatizados de nivel 5 capaces de conducir autónomamente desde el origen hasta el destino, sin necesidad de un conductor, y con

una adaptación limitada de la infraestructura física existente, representan la aplicación más avanzada, compleja y, por lo tanto, más lejana de la automatización de vehículos. En este sentido, aunque se espera que las empresas de tecnología y redes de transporte alcancen primero la implementación, los fabricantes de vehículos podrían verse obligados a seguirlos o incluso a adelantarse en el largo plazo.

Finalmente, cabe destacar que este nivel de automatización viene acompañado de altos niveles de conexión e integración entre vehículos y entre el vehículo y las infraestructuras viales, lo que plantea preguntas que aún deben resolverse sobre las características que dicho sistema conectado debería tener, así como sobre sus costes y las partes que serían responsables en caso de accidente.

9.1.2 Vehículo de mercancías

Como ya se ha expuesto, el platooning de camiones representa la aplicación más investigada de la automatización y conexión de vehículos pesados, debido a su potencial para optimizar la cadena logística de suministro al reducir el consumo de combustible y el costo de mano de obra. Es importante subrayar que los sistemas autónomos presentados para automóviles también podrían aplicarse a vehículos pesados; sin embargo, dado que el calendario de implementación de estos sistemas ya se ha discutido anteriormente y a la luz del mayor interés que representa el platooning, en el actual apartado centraremos nuestra atención en esta segunda aplicación.

Se espera que el platooning de camiones siga una evolución incremental consistente en la reducción progresiva de las responsabilidades de los conductores de los vehículos siguientes al líder, hasta que ocurra el reemplazo total. Cuando esté disponible la automatización completa, será posible crear pelotones de camiones autónomos, lo que reducirá significativamente el costo de la mano de obra dentro de la cadena logística de suministro.

A corto plazo

Inicialmente, el platooning de camiones implicará la presencia de un conductor en cada vehículo del pelotón. De esta forma, dichos conductores serán responsables de supervisar el pelotón y tomar el control del vehículo en caso de situaciones de tráfico

complejas (por ejemplo, rotundas). Por tanto, los camiones llevarán integrados sistemas automatizados de nivel 2, de acuerdo con las clasificaciones de la SAE, esperándose que las aplicaciones iniciales de estos sistemas sean programadas por los planificadores de transporte como ocurre actualmente para el transporte de carga convencional.

Las pruebas a gran escala de estos pelotones tendrán que llevarse a cabo en los próximos años para verificar la seguridad y medir los beneficios de estos sistemas, así como para obtener la aceptación pública y la comprensión por parte de los conductores de camiones.

A medio plazo

A medio plazo y tras la modificación de las legislaciones pertinentes, incluida la normativa europea relativa al tiempo de conducción y los períodos de descanso (Reglamento CE 561/2006)⁵⁰ y el tacógrafo digital (Reglamento CEE 3821/85)⁵¹, se espera la implementación de tecnologías automatizadas de nivel 3 en los camiones de mercancías.

Esto significa que no se requerirá que los conductores de los camiones seguidores monitorean el pelotón, teniendo la oportunidad de descansar o realizar tareas que no sean de manejo del vehículo. La presencia de un conductor en los siguientes vehículos facilitará las operaciones de última milla, incluido el acoplamiento, la carga y la descarga.

Además, una vez que la penetración en el mercado del platooning de camiones haya despegado, podría ser posible el uso de un pelotón sobre la marcha. Esto significa que los camiones que tuvieran partes del viaje en común podrían conectarse dinámicamente entre sí a través del uso de los proveedores de servicios platooning, que administrarán y controlarán la formación y la desconexión de pelotones.

⁵⁰ <https://www.boe.es/DOUE/2006/102/L00001-00013.pdf> [consulta: 26-10-2017]

⁵¹ Ministerio de Fomento. Disponible en:

[https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/IGT/TACDIG/LEGDOC/Documentos.htm](https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES GENERALES/TRANSPORTE_TERRESTRE/IGT/TACDIG/LEGDOC/Documentos.htm) [consulta: 26-10-2017]

A largo plazo

A largo plazo y tras la modificación, entre otras cosas, de la normativa internacional y nacional que exige la presencia de un conductor dentro del vehículo, podrían implementarse camiones sin conductor, con reducciones significativas en los costos de mano de obra. Estos sistemas requerirán que uno o más conductores (en el caso de pelotones de más de dos camiones) tomen el control de los vehículos para las operaciones de la última milla.

El último paso de la automatización de camiones consiste en el rodaje de camiones totalmente automatizados, dependientes de sistemas tecnológicos altamente conectados, que no requerirán la presencia de ningún controlador.

9.1.3 Vehículos para la movilidad urbana y transporte público

La movilidad urbana y el transporte público posiblemente sigan una ruta diferente hacia la automatización total en comparación con los automóviles y camiones. De hecho, aunque es probable que los vehículos privados y el transporte de mercancías vean el desarrollo y la implementación de sistemas cada vez más automatizados y conectados en el corto y medio plazo, se espera que los sistemas automatizados en entornos urbanos sigan el llamado enfoque de "todo en alguna parte". Es decir, se optará por el desarrollo de vehículos altamente automatizados cuya aplicación se limitará inicialmente a entornos específicos (por ejemplo, aeropuertos, campus, centros de exposiciones, etc.) y luego se abrirá gradualmente a circunstancias menos protegidas.

Este característico enfoque se debe principalmente a los diferentes objetivos de los interesados en los sistemas urbanos (por ejemplo, las ciudades) en comparación con las entidades privadas que lideran el desarrollo de automóviles y camiones automáticos. De esta forma, las entidades locales, a cargo de la planificación del transporte, están interesadas en estos sistemas para ayudar a mejorar el acceso al transporte y generar beneficios ambientales. Por ejemplo, los vehículos autónomos podrían utilizarse para proporcionar servicios de transporte en áreas dispersas, o en secciones seleccionadas de áreas urbanas, mientras que los servicios de taxi sin conductor pueden mejorar el acceso y reducir la propiedad de automóviles, la necesidad de estacionamiento, las emisiones de gases nocivos etc.

Por tanto, las aplicaciones en esta área apuntan a ser limpias, compartidas y seguras, combinando la automatización con soluciones basadas en tecnologías de la información avanzadas, la conexión de datos y en el uso de vehículos eléctricos.

A corto plazo

Actualmente, ya existen vehículos totalmente automatizados capaces de conducir sin necesidad de un controlador en sitios privados, como el modelo NAVYA ARMA. Éstos son vehículos eléctricos que funcionan a baja velocidad (máximo 45 km/h), con capacidades generalmente de 10-15 pasajeros. En esta línea, a corto plazo, se espera una mayor implementación de estos vehículos en sitios industriales, aeropuertos, parques recreativos, hospitales, complejos turísticos y centros de convenciones.

Al mismo tiempo, se desarrollarán una serie de proyectos que involucran dichos sistemas, así como vehículos más pequeños sin conductor, en los próximos 3-5 años. Las aplicaciones abarcarán desde áreas de demanda dispersa hasta entornos de espacio compartido para mejorar la conexión y gestión de vehículos, comprender mejor la interacción de estos sistemas con otros usuarios de la carretera y los potenciales puntos críticos asociados con dichas tecnologías. Paralelamente, será importante abordar la seguridad y las barreras legales que impiden la implementación de tales tecnologías en las vías públicas. En este sentido, estos aspectos serán cruciales para las próximas fases de desarrollo de dichos sistemas.

A medio plazo

Una vez que se modifiquen las reglamentaciones nacionales y, en su caso, internacionales, para permitir la circulación de sistemas de transporte sin conductor, al menos en áreas y carreteras seleccionadas, se espera que comiencen las primeras implementaciones de sistemas de transporte urbano en las vías públicas. Inicialmente, estos podrían involucrar pequeños vehículos automatizados de pasajeros (incluidos transbordadores) para soluciones de última milla, que operen a bajas velocidades en áreas específicas y con infraestructura apropiadas.

Las implementaciones alternativas podrían consistir en autobuses autónomos con carriles de conducción propios, es decir, con infraestructuras propias exclusivas. La

principal ventaja de tales aplicaciones sería la eliminación de interacciones con otros usuarios de la carretera, junto con las bajas velocidades a las que estos sistemas serían operados inicialmente. Estas características deberían limitar tanto la complejidad de la tecnología necesaria para implementar sistemas automatizados como los problemas de seguridad y protección.

No obstante, después de que estos sistemas hayan demostrado ser seguros y ofrezcan beneficios en cuanto a accesibilidad, rentabilidad y reducción de emisiones, es probable que aparezcan nuevas aplicaciones en entornos menos protegidos. Las infraestructuras exclusivas para vehículos colectivos y transbordadores podrían reemplazarse por una infraestructura adaptada; de manera similar, los carriles de autobuses segregados podrían ser sustituidos o complementados por carriles de autobuses dedicados e infraestructura de soporte, con todos los sistemas capaces de funcionar a velocidades más altas.

Por tanto, aunque hay una serie de incertidumbres en torno a estos sistemas de transporte urbano, los proyectos de investigación actuales sugieren que las primeras aplicaciones incluirán transbordadores y pequeños autobuses en áreas de baja demanda, debido a las menores interacciones y, por lo tanto, a la menor complejidad de dichos entornos.

A largo plazo

Las aplicaciones a largo plazo en áreas urbanas incluyen sistemas sin conductor capaces de conducir autónomamente en una infraestructura compartida, dentro de áreas de uso mixto. En general, se espera que estos sistemas complementen el transporte público tradicional, en lugar de reemplazarlo por completo, y que se basen en conexiones fuertes que permitan la coordinación y cooperación eficiente de la red de transporte.

Dichos sistemas totalmente automatizados, posiblemente en forma de pequeños vehículos o lanzaderas, podrían proporcionar servicios individuales e interactuar con sistemas de tránsito masivo más grandes a fin de mejorar el acceso al transporte público y permitir la eliminación de la congestión vial.

Los sistemas de transporte urbano que incorporen vehículos totalmente automatizados requerirán un sistema de gestión central para recopilar y procesar datos de

los vehículos y la infraestructura. Ello es fundamental si se tiene como objeto la coordinación de los vehículos para satisfacer la demanda, proporcionando una transferencia eficiente entre los diferentes sistemas de tránsito y los vehículos vacíos. Por otra parte, el tráfico también podría ser coordinado por el sistema de gestión con el fin de optimizar sus flujos y la capacidad de la carretera.

Tal escenario de autonomía y conexión de la movilidad urbana representa la aplicación más compleja de la automatización de los vehículos, ya que requeriría, además de avances tecnológicos y legislativos significativos, un análisis en profundidad de cuestiones relativas a la ciberseguridad, la seguridad vial, la privacidad y la seguridad de datos. Sin olvidar, la aceptación pública necesaria para su penetración en el mercado.

10. IMPACTO Y CONSECUENCIAS DE LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS VEHÍCULOS.

Se espera que el aumento de la automatización de los vehículos conlleve importantes beneficios en una serie de aspectos relacionados con el transporte, como la seguridad vial, la congestión del tráfico, las emisiones de los vehículos, la remodelación de la infraestructura y la planificación espacial; sin embargo, el impacto positivo de estos efectos depende estrictamente de la medida en que la automatización del vehículo vaya acompañada de una expansión de los sistemas de comunicación V2V, consistente en el intercambio de información entre dos vehículos con el fin de mejorar el tráfico y evitar accidentes, y la comunicación V2I, comprensiva de la interacción entre el vehículo y la infraestructura. Por tanto, se pretende crear vehículos plenamente conectados con su entorno capaces de obtener en todo momento la información necesaria.

Además, cabe destacar que la expansión del fenómeno autónomo en la industria automotriz implica una serie de desafíos relacionados con las peculiaridades de la automatización, que van desde la privacidad y la protección de datos, hasta cuestiones relativas a la responsabilidad, la ética robótica, la aceptación pública y las implicaciones socioeconómicas.

10.1 Seguridad Vial

10.1.1 Situación actual en la UE y EEUU

En la UE la seguridad vial se controla a través de la elaboración de informes sobre accidentes de tráfico, muertes y lesiones ocasionados en las carreteras de la región europea. De esta forma, se ha establecido un proceso común de recopilación de datos entre los Estados miembros de la UE y se publican estadísticas estandarizadas en la base de datos CARE⁵².

⁵² CARE es una base de datos comunitaria sobre el número de accidentes de tráfico que ocasionan muertes o lesiones, capaz de proporcionar la base para el análisis presentado en esta sección. Fuente disponible: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-93-1064_es.htm

En esta línea, los informes europeos muestran el cambio de tendencia en el número de accidentes mortales entre 1995 y 2016, siguiendo el objeto marcado por la política de la UE para 2020. A este tenor, cabe destacar que fue entre el año 2007 y 2010 cuando las muertes en carretera disminuyeron significativamente, en torno al 8,7% por año, produciéndose el momento culmen en el año 2010, periodo en el que se redujeron a la mitad el número de accidentes mortales en la totalidad de la Unión Europea. Finalmente, cabe destacar que la citada caída es muy representativa por cuanto en el mismo lapso temporal se ha producido un crecimiento general de la demanda de transporte de pasajeros por carretera.

Por su parte, en cuanto al porcentaje de defunciones según el tipo de usuario de la carretera, se debe subrayar que en 2013 los usuarios de automóviles representaron la mayor proporción de muertes, concretamente el 46%. De hecho, los conductores fallecidos fueron más de dos tercios de las muertes producidas en los vehículos de pasajeros, mientras que el resto de defunciones se atribuía a los pasajeros. Siguiendo esta línea, en segundo lugar, encontrábamos a los peatones que representaron alrededor del 22% de las muertes, seguidos por los motociclistas (18%), los ciclistas (8%) y los conductores de vehículos pesados (6%).

En cuanto a los lugares más proclives a albergar accidentes, los peatones resultan ser los más expuestos en las áreas urbanas, donde representan el 40% de todas las muertes, además de ser los que tienen el mayor riesgo de muerte cuando se ven involucrados en un accidente de tráfico.

No obstante, como ya se ha adelantado, los datos son esperanzadores por cuanto entre los años 2005 y 2013, el número de muertes ha disminuido a un ritmo constante para los automóviles (-49% durante el período), así como para vehículos pesados (-47%), motocicletas (-37%), ciclistas (-34%) y peatones (-33%).

Por tanto, en líneas generales, el número de víctimas mortales por billón de pasajeros-km ha disminuido en la UE del 13,9 en 1995 al 4,9 en 2013. Además, el número de lesiones ocasionadas por accidentes de tráfico por billón de pasajeros-km ha disminuido de 286 a 180 en el mismo período; sin embargo, en 2014 se registraron resultados insatisfactorios en la UE: las muertes disminuyeron en un 0,6% (en comparación con la disminución del 6,7% necesaria para alcanzar el objetivo para 2020) y el número de heridos graves creció en casi un 3%.

Una tendencia similar en muertes y lesiones en la carretera se ha registrado durante el mismo período en los Estados Unidos. De acuerdo con la Oficina de Estadísticas de Transporte de EE.UU.⁵³, los accidentes de tráfico mortales han disminuido a una tasa promedio anual del 2,1% entre 1990 y 2012, mientras que las lesiones han disminuido a una tasa más rápida del 2,9%. De esta forma, los datos reflejan que las víctimas mortales de tráfico en EEUU disminuyeron de 50,6 a 11,4 por mil millones entre 1960 y 2012.

Una vez señalada la prometedora evolución actual, resulta clave averiguar cuáles son las razones subyacentes a las importantes mejoras logradas en la seguridad vial en los últimos tiempos. De esta forma, entre sus causas se pueden destacar: las mejoras en la red de infraestructuras, mediante la adopción de principios de diseño seguro, gestión de vías e interacción entre conductores; las positivas reformas legislativas en la aplicación de la normativa de tráfico, mediante la introducción de medidas efectivas para influir en el comportamiento de los conductores (por ejemplo, limitar el exceso de velocidad), y, finalmente, la mejora en la calidad de los vehículos, mediante la introducción de dispositivos cada vez más inteligentes capaces de aumentar significativamente el nivel de resistencia al choque y la protección del usuario.

10.1.2 Contribución de los sistemas inteligentes de transporte a la seguridad vial

Como ya se ha adelantado en el epígrafe anterior, los dispositivos tecnológicos y las aplicaciones de sistemas inteligentes de transporte (ITS) han desempeñado un papel cada vez más importante en el apoyo a la ejecución de la política de seguridad vial de la UE. De 2001 a 2010, la UE adoptó varias soluciones ITS para apoyar la seguridad vial, por ejemplo:

- Reglamento (CE) nº 68/2009⁵⁴ - adaptación del Reglamento (CEE) nº 3821/85 - sobre el uso de los equipos de grabación para conductores profesionales en el transporte por carretera (el tacógrafo digital).

⁵³ Fuente disponible: <https://www.usa.gov/statistics>

⁵⁴ Fuente disponible: <https://www.boe.es/doue/2009/021/L00003-00009.pdf>

- Directiva 2002/85/CE⁵⁵ - modificación de la Directiva 92/6/CEE del Consejo - relativa a la instalación y utilización de dispositivos de limitación de velocidad para categorías específicas de vehículos a motor.
- Recomendación COM (2003) 2657⁵⁶, sobre el desarrollo de servicios de llamada de emergencia con ubicación mejorada.
- Reglamento (CE) 661/2009⁵⁷ sobre la introducción de un sistema avanzado de frenado de emergencia como requisito previo para vehículos nuevos en ciertas categorías de pasajeros y mercancías de cuatro ruedas (es decir, camiones y autobuses). En febrero de 2015, el Reglamento (CE) nº 661/2009 se completó y modificó mediante el Reglamento (UE) 2015/66 de la Comisión Europea.

Las soluciones de seguridad de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) se conocen comúnmente como "eSafety"; esto incluye todos los sistemas de seguridad inteligentes basados en vehículos que mejoran la seguridad vial a través de la prevención de choques, la reducción de lesiones y la asistencia posterior al choque. Por ejemplo, recordatorios de abrocharse los cinturones de seguridad, control de estabilidad electrónico, adaptación de velocidad inteligente, registradores de datos de eventos y viajes y enclavamientos de alcohol para reincidentes y conductores de flotas.

En este sentido, se debe subrayar que los citados sistemas ITS pueden brindar soporte en cuantiosas áreas, tales como: notificar a los conductores de las condiciones de la carretera, la congestión del tráfico y el estado del vehículo en tiempo real, lo que conduce a mejoras en el comportamiento de conducción; hacer cumplir las leyes de tráfico a través de una mejor supervisión y control del comportamiento del conductor. Habilitar la ayuda de emergencia después de un accidente, así como proporcionar datos para la investigación de accidentes con el objeto de determinar las causas y ayudar a la instigación de acciones de mitigación.

⁵⁵ Fuente disponible: <https://www.boe.es/doue/2002/327/L00008-00009.pdf>

⁵⁶ Fuente disponible:
http://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/normativa_contenido/es_def/adjuntos/Recomendacion%20de%202025%20de%20julio%20de%202003.pdf

⁵⁷ Fuente disponible: <https://www.boe.es/doue/2009/200/L00001-00024.pdf>

En definitiva, los efectos positivos de seguridad de estos sistemas son palpables, como por ejemplo los resultados de la introducción de sistemas antibloqueo de frenos (ABS) en los automóviles. En esta línea, los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor (Sistemas ADAS) están contribuyendo significativamente a reducir el número y la gravedad de los accidentes. Un ejemplo de ello es el Dispositivo de Frenada de Emergencia Autónoma (Sistema AEB) que se ha equipado en vehículos convencionales desde 2008 y será obligatorio para vehículos nuevos a partir de 2020.

Por su parte, en los EEUU, los airbags frontales modernos se introdujeron en 1984, los frenos antibloqueo en 1985, el control de estabilidad electrónico en 1995, los airbags laterales en 1998 y la advertencia de colisión frontal en el año 2000. Esta adopción gradual de tecnologías de la seguridad ha demostrado contribuir a la mejora de la seguridad vial.

10.1.3 Potencial contribución de los sistemas autónomos a la seguridad vial

A pesar de este progreso, todavía hay un largo camino por recorrer para alcanzar estándares de seguridad satisfactorios en torno al transporte por carretera. En este sentido, el potencial para mejorar la seguridad vial a través de la automatización de los vehículos parece evidente al analizar las causas de los accidentes de tráfico.

En los últimos diez años, la UE se ha esforzado por mejorar la comprensión de las circunstancias que conducen a accidentes fatales mediante la realización de dos estudios:

- **El desarrollo y análisis de la base de datos de accidentes fatales**, informe que proporciona información útil sobre los principales accidentes, incluyendo el tipo de carretera, las especificaciones del vehículo, las características del conductor, el clima y las condiciones de iluminación. Ello ha reflejado que el 41% de las muertes se debe a la conducta errónea por parte del conductor en su papel de ejecutor y controlador del manejo de la conducción; sin embargo, los datos recopilados no han permitido un análisis más detallado de las causas detrás de cada accidente.
- **La base de datos exhaustiva sobre la causalidad de los accidentes de tráfico, junto con su informe de análisis adjunto**, proporcionaron un análisis en profundidad de la causalidad del accidente. El análisis de las causas mostró que la

meteorología fue el evento común más crítico, representando el 61.9% de los casos analizados. En esta línea, cabe destacar que el 92% de los accidentes de tráfico fueron causados por factores humanos y no por fallos técnicos del vehículo, ni por las condiciones de las infraestructuras.

Del mismo modo, en EEUU más del 90% de los 5,5 millones de accidentes anuales informados, se han atribuido principalmente a factores humanos, y más del 40% de los accidentes fatales implican alcohol, distracción, drogas y fatiga.

Por tanto, los dispositivos de seguridad electrónica que vienen acompañados de una mayor automatización del vehículo pueden sin duda desempeñar un papel primordial en la lucha contra los accidentes de tráfico. En este sentido, la Asociación de Aseguradoras Británicas (ABI) espera que la introducción de vehículos conectados y autónomos ahorre más de 2.500 vidas y evite más de 25.000 accidentes graves en el Reino Unido para 2030.

De hecho, las consultas revelan que las compañías de seguros creen que la penetración de vehículos automatizados reducirá significativamente los riesgos de accidente y conducirá a una disminución del coste de las primas de seguro, si bien es cierto que aparecerían nuevos riesgos que serán analizados más adelante.

Este punto es respaldado por un estudio realizado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) que evalúa la factibilidad de introducir vehículos plenamente automatizados sin conductor, en relación a la seguridad vial. De esta forma, su informe señala que esta tecnología es capaz de responder a situaciones peligrosas, en promedio, mil veces más rápido que los humanos. Por lo tanto, queda empíricamente probado que los vehículos autónomos tienen el potencial no solo de disminuir exponencialmente la frecuencia de estas incidencias, sino también de hacer que se conviertan en supuestos aislados.

10.1.4 Desafíos de la automatización automotriz en relación a la seguridad vial

Si bien es cierto que la automatización de los vehículos permitiría evitar todos aquellos accidentes de tráfico causados por un error humano, no es menor cierto que la plena seguridad efectiva de los sistemas automatizados todavía no se ha demostrado.

En este sentido, existen desafíos técnicos relativos a la verdadera capacidad de los sistemas altamente automatizados para funcionar correctamente en condiciones meteorológicas o de visibilidad adversas por cuanto en ciertas condiciones son incapaces de reconocer correctamente los obstáculos y de comprender los elementos de la infraestructura. Además, en la actualidad, las pruebas en curso de los vehículos totalmente automatizados muestran que los sistemas necesitan ser probados y procesados para garantizar que estos vehículos puedan interactuar de forma segura con otros usuarios de la carretera⁵⁸.

Por otra parte, se plantean desafíos en relación a la forma en que los vehículos autónomos reaccionarían en un entorno de uso mixto. De esta forma, la tecnología debería adaptarse a la automatización progresiva de los diferentes vehículos que componen la circulación, de manera que se maximicen los beneficios de seguridad y congestión. Además, en la actualidad, es difícil encontrar pruebas sobre los riesgos potenciales que implica el cambio entre el control autónomo y manual de la conducción. Por lo tanto, será importante investigar formas efectivas y transparentes de verificar la seguridad de los vehículos automatizados, tanto antes como durante su implementación en las vías públicas.

A pesar de todo lo expuesto, cabe destacar que los sistemas altamente automatizados han demostrado su seguridad en la carretera, debiendo ser competitivos con respecto a los vehículos tradicionales para lograr la efectividad esperada; sin embargo, su lenta penetración en el mercado es un obstáculo significativo para el progreso de las nuevas tecnologías de seguridad que les dotarían de una mayor aceptación pública e institucional.

A este respecto, el Instituto de Seguros para la Seguridad en Carreteras (IIHS) analizó, en el año 2012, la integración de sistemas de advertencia de colisiones en los vehículos, estimando que, a la tasa actual de adopción, podría llevar 50 años que dicha tecnología se incorporase en el 95% de los vehículos de la flota. En esta línea, reiterando el plus de seguridad de los vehículos automatizados, el mismo estudio indicó que si todos los vehículos tenían advertencia de colisión frontal, advertencia de salida de carril,

⁵⁸ ⁵⁸ *El dueño de un Tesla, primer muerto en un coche con piloto automático*. El País. 14 de Julio de 2016. Disponible en: https://elpais.com/tecnologia/2016/07/01/actualidad/1467337732_779288.html [consulta: 28-10-2017]

asistencia de vista lateral y faros adaptativos, casi un tercio de todos los choques podrían evitarse.

Debido a lo anterior, lo más probable es que los accidentes viales disminuyan progresivamente de acuerdo con los crecientes sistemas automatizados disponibles en el mercado y con su paulatina incorporación a la flota total de vehículos en funcionamiento; sin embargo, por el momento es difícil pronosticar el grado y la velocidad a la que esto se logrará ya que muchas tecnologías existentes todavía se encuentran en una etapa de prueba y los marcos legislativos todavía no son los más idóneos.

10.2 Congestión vial

Si bien las partes interesadas generalmente están de acuerdo sobre los posibles efectos positivos de la automatización de los vehículos en la seguridad vial, el impacto de la expansión de sistemas de conducción cada vez más automatizados y conectados en la congestión vial es mucho más debatido; de hecho, se espera que la conexión y la automatización de los vehículos afecten tanto a la capacidad de la carretera como al tráfico, con un efecto neto incierto sobre la congestión.

10.2.1 Aumento de capacidad de la red existente

Se espera que el aumento de la automatización y conectividad de los automóviles, permita a los vehículos hacer un uso más eficiente de la infraestructura vial existente. De esta forma, se conseguiría un aumento de la capacidad efectiva de la red a pesar de existir la misma proporción de tráfico.

Ello es porque los vehículos altamente automatizados y conectados son capaces de conducir con mayor precisión que los humanos, al poder obtener y procesar datos en tiempo real que les permiten disminuir drásticamente los tiempos de reacción ante cualquier eventualidad. De esta forma, un beneficio directo derivado de la eficiencia viaria sería la posibilidad de que el tráfico de las autopistas se acelerara mediante una conducción coordinada y eficaz, con menos espacio entre los vehículos y menos incidencias, tanto de frenadas innecesarias como de accidentes que contribuyen a la congestión.

El logro de este aumento potencial de la capacidad dependerá en gran medida de la implementación de dispositivos tecnológicos que permitan la comunicación vehículo a vehículo, así como vehículo-infraestructura, lo que posibilitaría una elección de ruta más eficiente, mayor capacidad de carretera y una capacidad de intersección mejorada.

En este sentido, diversas investigaciones⁵⁹ indican que el platooning de camiones permitiría aumentar un 500% la capacidad por hora del carril; sin embargo, para lograr unos mayores beneficios en términos de mayor capacidad, será necesario conseguir una penetración significativa de los vehículos automatizados y conectados. Como ejemplo, se ha estimado que la capacidad real de los carriles aumenta alrededor del 1%, 21% y 80%, en caso de integración de sistemas cooperativos de control de crucero adaptativo (Sistemas CACC) en un 10%, 50% y 90% del total de vehículos en circulación⁶⁰.

Alternativamente, un efecto más a corto plazo de la automatización de los vehículos en el aumento de la capacidad de red está asociado con la reducción de retrasos causados por incidentes de tráfico, tales como vehículos discapacitados, colisiones, accidentes de tráfico, etc. que representan alrededor del 25% de las demoras totales causantes de la congestión vehicular, según señala la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA)⁶¹. Como ya se mencionó, se espera que los vehículos autónomos mejoren la seguridad vial con una posible reducción de los accidentes viales (que representan una parte importante de los incidentes de tránsito), lo que a su vez resulta en un aumento de la capacidad de red efectiva.

Como resultado de estos factores, si el volumen de vehículos que circulan en un momento dado permanece constante, se espera que la congestión se reduzca significativamente gracias al aumento del efecto de capacidad debido a las tecnologías que mejoran las conexiones entre vehículos y entre vehículos e infraestructura. Hasta ahora, el efecto de la automatización y conexión del vehículo está ampliamente aceptado; sin embargo, la incertidumbre viene en la forma del efecto desconocido que, una mayor capacidad viaria y una mayor predisposición a movilizarse en automóvil, puede tener en la demanda agregada de viajes en automóvil.

⁵⁹ Autonomous Vehicle Technology – A guide for Policymakers, 2014.

⁶⁰ Preparing a Nation for Autonomous Vehicle: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations, 2010

⁶¹ Autonomous Vehicle Technology – A guide for Policymakers, 2014.

10.2.2 Impacto en el tráfico total

De esta forma, analizando todo lo expuesto hasta ahora y partiendo de la evidencia empírica, algunos expertos señalan el impacto insignificante que ha tenido el ensanchamiento de carreteras en la reducción de la congestión. La teoría en estos casos es que, al aumentar la capacidad de la carretera, se reducirá la congestión vehicular; sin embargo, tales investigadores señalan que lo que ocurre en la práctica es que la disminución de la congestión, hace tales vías más convenientes para aquellos que normalmente no conducirían por ellas. De esta forma, la capacidad adicional se saturará muy poco después del incremento de eficiencia viaria.

Por tanto, siguiendo tal postura doctrinal, la reducción de la congestión de los vehículos automatizados también podría ser víctima de este efecto, especialmente cuando la conducción se vuelve menos exigente para el conductor, dado que al ser más confortable los viajeros pueden experimentar una mayor tolerancia a los desplazamientos durante más tiempo y distancias.

En este sentido, la automatización de los vehículos podría llevar a un aumento del tráfico rodado también a la luz de la posible reducción de los costes de viaje asociados al uso de vehículos privados. Estos incluyen la reducción del coste de oportunidad del tiempo pasado en el vehículo, ya que el usuario puede reemplazar la conducción por otras actividades, así como los menores costes de combustible, debido a la conducción más eficiente permitida por la automatización del vehículo. Además, se puede esperar que el coste del estacionamiento disminuya, ya que los vehículos autónomos pueden conducir a parques menos costosos tras dejar al usuario. Asimismo, la prima del seguro también podría reducirse debido a la menor frecuencia esperada de los accidentes automovilísticos. Finalmente, la conducción autónoma permitiría el uso de automóviles a personas que actualmente no pueden conducir como, por ejemplo, discapacitados y personas mayores, lo que podría llevar a un aumento del tráfico vehicular en general.

Por su parte, la conducción autónoma también puede aumentar la competitividad de los servicios de redes de transporte y taxis como Uber al eliminar el coste asociado al conductor. Esto a su vez podría reducir el tráfico total de las carreteras, ya que dado su menor coste las personas que anteriormente usaban modos de viaje alternativos podrían optar por esta modalidad de movilidad compartida disminuyendo el tráfico rodado en pro de la eficiencia vehicular.

Debido a todo lo anterior, el efecto general de la automatización de vehículos sobre el tráfico total es difícil de predecir, aunque los argumentos para un aumento final del tráfico de vehículos privados podrían superar a los que están a favor de una reducción. Sobre este punto, tendrá una gran implicación hacia donde nos dirija la penetración de los vehículos automatizados en el mercado. Es decir, si se decantará por una movilidad compartida o mantendrá el paradigma de movilidad privada que actualmente domina nuestras elecciones de comportamiento en el transporte.

10.2.3 Efecto neto en la congestión vehicular

La congestión se refiere a la situación en la que el tráfico que intenta usar una red de transporte es igual o superior a la capacidad de la red. Por tanto, cuando el flujo de tránsito es mayor a la capacidad de la red viaria se dan situaciones de reducción significativa de la velocidad de viaje con las consiguientes demoras para los usuarios de la red, lo que genera externalidades negativas en términos de coste social y ambiental.

Como se discutió anteriormente, se espera que los sistemas automatizados avanzados aumenten la capacidad de la red al permitir que los vehículos hagan un uso más eficiente de la red de carreteras y reduzcan los retrasos asociados con los accidentes de tránsito; sin embargo, muchos argumentan que la conducción autónoma puede probablemente aumentar el tráfico vial, ya que nuevos segmentos de la sociedad podrían viajar en automóvil, como los jóvenes, ancianos y discapacitados. Además, los conductores actuales podrían incrementar al uso del automóvil automatizado dada la reducción en costes ya señalada en el epígrafe anterior. No obstante, este efecto podría mitigarse recurriendo a soluciones de movilidad compartidas, si bien es cierto que ello requeriría un cambio importante en las pautas de comportamiento de la sociedad para compensar el aumento en el volumen de tráfico.

Debido a estos efectos contradictorios, es difícil establecer cuál será el efecto neto de impulsar la automatización en la congestión vial.

10.2.4 Coste externo de la congestión vial

Independientemente de la incertidumbre sobre el efecto neto de la automatización de los vehículos en la congestión del tráfico, es innegable que la conducción autónoma

reduciría el coste de oportunidad del tiempo de viaje y, como tal, el coste social de la congestión, permitiendo a los usuarios del vehículo dedicarse a otras actividades mientras viaja.

La congestión en la UE cuesta casi € 100 mil millones por año, alrededor del 1% del PIB de la UE. Un estudio de 2012 sobre automóviles sin conductor realizado por KPMG y CAR (Centro de Investigación Automotriz) estima que aproximadamente el 80% de los trabajadores estadounidenses pierden alrededor de 50 minutos cada día conduciendo hacia su trabajo⁶². En esta misma línea, el Instituto de Transporte de Texas (TTI) estimó que en 2011 la congestión del tráfico en los EEUU resultó en alrededor de 5.5 mil millones de horas de retraso con respecto a la hora prevista de llegada⁶³.

El coste social de la congestión vial generalmente se calcula multiplicando el tiempo de viaje de los usuarios de la carretera por sus "costes de oportunidad. Es decir, representa el coste soportado por los usuarios de la carretera y la sociedad por quedarse atrapados en el tráfico en lugar de hacer otras cosas más productivas o entretenidas. En este sentido, tal coste podría reducirse significativamente con vehículos altamente autónomos ya que las personas podrían emprender otras actividades mientras conducen, como escribir correos electrónicos, trabajar o ver películas.

De hecho, la posibilidad de utilizar el tiempo de conducción para otras tareas productivas o agradables aparece como una de las motivaciones clave que también podría llevar a los usuarios a comprar vehículos automatizados y apoyar la penetración en el mercado de estas tecnologías

10.3 Impacto Ambiental: emisiones

El transporte por carretera es la segunda fuente más importante de emisiones de gases de efecto invernadero en la UE, después de la generación de energía. Según la Comisión Europea, la circulación rodada contribuye aproximadamente a la cuarta parte de las emisiones totales de dióxido de carbono (CO₂) de la UE, representando solo los turismos alrededor del 12%⁶⁴.

⁶² Autonomous Vehicle Technology – A guide for Policymakers, 2014.

⁶³ Autonomous Vehicle Technology – A guide for Policymakers, 2014.

⁶⁴ Fuente disponible: https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_es

En esta línea cabe destacar que las emisiones del transporte por carretera han aumentado rápidamente en los últimos 20 años; la única excepción fue el período de 2008 a 2010, cuando las emisiones de CO₂ por actividad de transporte se redujeron debido a la crisis económica, aunque durante el período de 1990 a 2010 las emisiones del transporte por carretera aumentaron en un 22,6%.

Finalmente señalar que el Libro Blanco sobre Transporte de la Comisión Europea⁶⁵ establece el ambicioso objetivo de reducir las emisiones del transporte por carretera en un 60% para el año 2050, en comparación con los niveles de 1990. Se necesitarán acciones firmes para alcanzar este objetivo, ya que las cifras recientes de emisiones indican que esto requeriría una reducción del 67% con respecto a los niveles de 2012.

10.3.1 Conducción eficiente

Volviendo al impacto positivo que tendría la automatización de los vehículos sobre el medio ambiente, cabe destacar que la conducción autónoma contribuirá a mejorar el ahorro de combustible y, en consecuencia, las emisiones de los vehículos a través del rendimiento optimizado del tráfico. De esta forma, gracias a los dispositivos tecnológicos que permiten la comunicación de vehículos conectados entre sí y con la infraestructura, el espacio entre los automóviles puede disminuir, la aceleración y la desaceleración pueden optimizarse y las velocidades máximas disminuir, mientras que la velocidad efectiva aumenta, mejorando el ahorro de combustible y acortando el tiempo de viaje.

Investigaciones y pruebas anteriores proporcionaron evidencias claras sobre el menor consumo de combustible logrando una reducción que iba del 8% al 3%, según las diferentes características técnicas de los vehículos. Por tanto, puede afirmarse que esta reducción en el uso de combustible daría lugar a beneficios ambientales significativos considerando una emisión promedio de CO₂ de 2,6 km por litro de diésel⁶⁶.

⁶⁵ Fuente disponible: <http://www.ccoo.es/62459d95630c9aa43435fe02013cfec0000001.pdf>

⁶⁶ Truck Platooning – El futuro del transporte terrestre, 2015.

10.3.2 Vehículos más ligeros

Otra posible consecuencia positiva de la automatización de los vehículos en las emisiones deriva de los avances ya descritos en seguridad vial, que deberían permitir la producción de automóviles mucho más ligeros a largo plazo. Cabe destacar que en la actualidad las regulaciones existentes exigen que los automóviles tengan ciertos pesos como medida para mejorar la seguridad de los ocupantes.

Por tanto, como la tecnología automatizada automotriz es capaz de reducir la tasa de accidentes, esta medida prevista por la legislación vigente ya no sería necesaria. A este respecto se debe señalizar que, a menor peso, mayor ahorro de combustible y, por tanto, menores emisiones de gases nocivos para el medio ambiente.

No obstante, el camino hacia la consecución de automóviles más ligeros se podría ver obstaculizado por el hecho de que la introducción de vehículos automatizados se producirá progresivamente, con automóviles preexistentes, pesados y manejados por humanos, lo que puede representar una amenaza para la seguridad de quienes optan por vehículos autónomos más ligeros. En este sentido, existen sectores que todavía muestran ciertas reticencias a modificar la normativa para que se permitan estructuras más livianas dado que podría entrañar el peligro latente de ocasionar mayores accidentes mortales mientras subsistan vehículos no plenamente autónomos bajo el control humano.

10.3.3 Tipo de combustible

El vehículo autónomo representa una oportunidad para la transición del petróleo al uso de combustibles alternativos. Actualmente, más del 90% del transporte funciona con petróleo en la UE y en los EEUU⁶⁷. Por tanto, una prioridad política principal para ambas regiones económicas ha sido identificar fuentes viables de energía alternativas que permitan reducir el consumo de combustibles fósiles. De esta forma, puede afirmarse que por el momento la principal alternativa ha venido de la mano de los vehículos eléctricos y las tecnologías limpias con el medio ambiente.

No obstante, cambiar el citado paradigma significa un completo reto dadas las barreras existentes en relación a esa transición hacia el transporte ecológico. De esta

⁶⁷ Fuente disponible: https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_es

forma, los límites actuales incluyen la falta de una infraestructura de carga extendida, tiempos de carga prolongados y, aunque la electricidad en sí es más barata que el petróleo, almacenarla es costoso, siendo la batería utilizada pesada; sin embargo, también es cierto que la introducción de vehículos automatizados más livianos hace que alimentar automóviles a través de la electricidad sea cada vez más viable, ya que los vehículos más ligeros obtendrán un mejor kilometraje y pueden usar baterías más pequeñas, ligeras y menos costosas.

Por tanto, el potencial para desarrollar la carga remota también aumenta la viabilidad de esta fuente de combustible, ya que los vehículos autónomos podrían potencialmente cargarse después de dejar a los pasajeros en su destino.

10.3.4 Incremento del tráfico vial

Llegados a este punto, se debe resaltar el posible impacto ambiental de los vehículos plenamente autónomos, sin conductor, en el tráfico vial como resultado de la incorporación de la citada tecnología. Tal como se describe en la sección de congestión vehicular, el efecto final de los vehículos automatizados sobre la distancia recorrida total es difícil de predecir, aunque es probable que una movilidad mejorada induzca nuevos viajes y aumente la circulación rodada por carretera, con carácter general.

10.3.5 Efecto neto

Dados estos diversos efectos, como en el caso de la congestión vial, el impacto general de la automatización de los vehículos sobre las emisiones sigue siendo difícil de predecir. No obstante, si puede afirmarse con carácter general que la automatización contribuirá a la reducción de las emisiones medias de los vehículos por kilómetro, aunque la incertidumbre sobre la distancia recorrida total plantea dudas sobre el efecto exacto.

En este sentido, un estudio reciente del año 2016, liderado por los científicos Wadud, MacKenzie y Leiby⁶⁸, investiga los efectos positivos y negativos que los vehículos automatizados podrían tener en las emisiones de los vehículos, señalando que la difusión de automóviles totalmente autónomos podría, en determinadas circunstancias,

⁶⁸ Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles, 2016.

provocar un aumento neto de los niveles de emisiones de carbono, principalmente como consecuencia de un mayor uso del automóvil causado por la reducción de los costes de tiempo de viaje.

No obstante, la tendencia actual gira en torno a la incorporación de tecnologías ecológicas respetuosas con el medio ambiente, capaces de reducir las emisiones nocivas, integrándose sin lugar a dudas en los actuales y futuros coches automatizados.

10.4 Adaptación de la infraestructura de transporte

Un aspecto crítico sobre los vehículos autónomos es la capacidad de los sistemas automatizados para interactuar de forma efectiva y segura con la infraestructura de transporte en las diferentes situaciones de conducción, independientemente de las condiciones externas como condiciones meteorológicas adversas, oscuridad, etc.

Con este fin, se pueden seguir dos enfoques diferentes; el primero de ellos consiste en diseñar vehículos basados en sensores que hagan uso de la infraestructura física existente junto con una infraestructura digital mejorada que incluya mapas satelitales y GPS. El segundo enfoque se basa en la cooperación y la comunicación del vehículo, requiriendo que la infraestructura de transporte esté conectada y se comunique con los vehículos automatizados.

Los dos enfoques están bajo estudio y prueba, y es probable que ambos se implementen en el futuro, convergiendo posiblemente hacia una tecnología combinada.

10.4.1 Enfoque autónomo

Varias partes interesadas, incluida Google, están desarrollando vehículos autónomos capaces de conducir sin la necesidad de actualizar o mejorar las actuales infraestructuras. A este respecto, cabe destacar que esta tipología de vehículo ya ha operado en la infraestructura vial existente, en fase de prueba.

De esta forma, debido al desarrollo y la base automatizada de estos dispositivos, su tecnología inteligencia les permite aprender y adaptarse a la infraestructura actual, en lugar de tener que adaptarse la infraestructura a ella.

Dicho esto, a pesar de que la citada tecnología está en fase de desarrollo y mejora, tratando de superar posibles obstáculos, es cierto que persisten ciertas deficiencias en la infraestructura que todavía plantean desafíos a esta tecnología. En este sentido, los baches y la falta de señalización constituyen importantes barreras a la introducción de esta tipología de vehículos plenamente autónomos, por cuanto la tecnología autónoma del vehículo basa su funcionamiento en el aprendizaje de las reglas que rigen para un área específica.

A la luz de esto, en lugar de implementar nueva infraestructura, este enfoque requiere asegurar la ubicación adecuada, la visibilidad y el estado de reparación de la infraestructura existente, así como su mantenimiento en el futuro.

10.4.2 Conexión del vehículo

Los vehículos conectados dependen de la tecnología inalámbrica para comunicarse entre sí (V2V) y con la infraestructura de transporte (V2I). Las actividades actuales de investigación y prueba de estas tecnologías se relacionan principalmente con el platooning de camiones, aunque se espera que las comunicaciones V2V y V2I en el futuro permitan una gama más amplia de aplicaciones; estas pueden incluir enrutamiento dinámico basado en información de tráfico en tiempo real, detección de puntos de estacionamiento y, en última instancia, coordinación y gestión del tráfico completo en áreas urbanas.

La comunicación V2I requeriría equipar la infraestructura existente con transceptores capaces de comunicarse con la tecnología instalada en el vehículo. Actualmente, el sistema principal adoptado para la comunicación V2V es la Comunicación Dedicada de Corto Alcance (DSRC) que usa ondas de radio, proporcionando una rápida adquisición de red, baja latencia y comunicación altamente fiable; sin embargo, el costo de equipar grandes porciones de red de carreteras con transceptores DSRC podría representar un obstáculo para la implementación de la comunicación V2I, por lo que se están estudiando soluciones diferentes o complementarias, incluida la implementación de tecnología celular para comunicaciones de largo alcance. A este respecto, cabe destacar que las conexiones V2V y V2I pueden beneficiarse enormemente de las reglas que reducen los costes de las transmisiones de datos, como la legislación de itinerancia.

Uno de los desafíos más delicados relacionados con la automatización de vehículos se refiere a la gestión eficaz y segura de la gran cantidad de datos necesarios para permitir la conducción autónoma y la comunicación del vehículo. Este aspecto es particularmente importante para garantizar la aceptación social y la consiguiente penetración en el mercado de los sistemas automatizados.

10.5 Datos y seguridad cibernética

La seguridad de los datos incluye la capacidad de procesar, almacenar y permitir el acceso futuro a una gran cantidad de información, así como garantizar una comunicación estable y segura de vehículo a vehículo y de vehículo a infraestructura con el fin de garantizar una coordinación eficiente y segura con fines cooperativos.

La difusión de vehículos automatizados y conectados implicaría un aumento progresivo de la cantidad de datos generados y grabados. Se recopilaría una amplia gama de diferentes conjuntos de datos capaces de proporcionar información sobre cómo y dónde se condujo el vehículo. Los terceros actores, como el proveedor de servicios de tecnologías de la información o la administración de tráfico, pueden estar interesados en tener acceso a ciertos datos que no están limitados a un corto período de tiempos antes de una colisión. Esta es un área que merecería mayor atención e investigación, también mediante pruebas y experimentos piloto, para respaldar la identificación del tipo de datos que podrían procesarse, así como las medidas que permitirían a los usuarios desactivar y controlar el sistema.

El marco legislativo relativo a la propiedad y gestión de los datos debería revisarse para acompañar el desarrollo tecnológico de los sistemas automatizados, a fin de evitar el riesgo del uso inadecuado de los datos o las demoras en la ejecución. A este respecto, el Plan de acción ITS encargado por la Comisión Europea en 2012 evaluó posibles medidas para garantizar la protección de datos y la privacidad de los mismos en sistemas inteligentes de transporte.

En este sentido, una cuestión relevante son las amenazas a la seguridad cibernética, incluyendo el pirateo informático y los ataques terroristas. El acceso irrestricto a los datos del vehículo por parte de terceros amenaza a la seguridad del vehículo, a los ocupantes y al resto de usuarios de la carretera. De hecho, los problemas de seguridad cibernética relacionados con los automóviles conectados son uno de los

principales obstáculos a la automatización del vehículo por cuanto se teme que los dispositivos autónomos del vehículo sean pirateados con éxito y controlados de forma remota por otro ente.

De hecho, “los hackers de sombrero blanco”, que trabajan con el grupo automovilístico Fiat Chrysler Automobile (FCA), fueron capaces de tomar el control y enviar comandos a funciones esenciales del Jeep Cherokee, lo que obligó a la compañía a retirar 1,4 millones de vehículos del mercado; también los vehículos BMW, Mini y Rolls-Royce han experimentado problemas de piratería, incluido el desbloqueo remoto, mientras que Tesla tuvo que reparar seis vulnerabilidades encontradas por expertos en seguridad informática en su software⁶⁹.

Estos ejemplos demuestran que la ciberseguridad requiere más trabajo y validación para evitar ataques cuyo impacto sería crítico en situaciones de amplia cooperación y coordinación de vehículos. En ese sentido, la industria del automóvil ha adoptado recientemente iniciativas en apoyo de la ciberseguridad. En julio de 2014, la Alianza de Fabricantes de Automóviles (Auto – ISAC) constituyó un centro voluntario de intercambio de información y análisis para combatir la amenaza de los hackers. Además, la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA) ha acordado los principios de protección de datos en relación con los vehículos conectados.

10.5.1 Protección de datos personales

Una de las innovaciones clave del proyecto de automóviles plenamente autónomos de Google es la aglomeración masiva de datos. En este sentido, los diferentes automóviles de Google basan su potencial en el aprendizaje continuado a través de la experiencia. De esta forma, toda la experiencia acumulada por su tecnología contribuye a la capacidad central del sistema que controla el automóvil, permitiendo que la tecnología siempre aprenda y actualice en tiempo real.

Las implicaciones que tal tecnología podría tener en un futuro cuando se produjera la expansión y distribución a gran escala de tales vehículos serían múltiples. De una parte, se trata de una tecnología capaz de reinventarse y avanzar continuamente, de tal manera

⁶⁹ Competing for the connected customer – perspectives on the opportunities created by car connectivity and automation, 2015.

que el sistema se basa en un paradigma donde la conducción de cada usuario ayuda a mejorar la conducción del resto; sin embargo, la presente ventaja de mejora continua plantea una serie de interrogantes en cuanto a la protección de los datos personales.

De esta forma, al crearse el citado beneficio mediante la recopilación de datos de cada viaje, los detalles relativos a los viajes de un individuo en teoría ya no son privados, con el objeto de mejorar la conducción del resto de usuarios. Por tanto, existe preocupación sobre la posibilidad de explotar estos datos y los impactos negativos que pueden experimentar los usuarios de datos automatizados.

En este sentido, como se señala en la hoja de ruta sobre vehículos altamente automatizados preparada por la Comisión Europea⁷⁰, actualmente se establecen normas de protección de datos personales en la Directiva 95/46/CE sobre datos personales y la Directiva 2002/58/CE sobre el tratamiento y la protección de datos personales privados en el sector de la comunicación electrónica.

Por tanto, este proceso ayudará al lanzamiento de vehículos automatizados en la UE, ya que los fabricantes y otras partes ya no tendrán que garantizar el cumplimiento de las diferentes leyes nacionales de protección de datos, debiéndose adherir a la citada normativa europea. Notoriamente, el citado Reglamento General de Protección de Datos requerirá el cumplimiento de los principios de privacidad por diseño y privacidad por defecto, lo que requiere que la protección de datos esté incorporada en el desarrollo de procesos comerciales para productos y servicios. Esto debería contribuir a garantizar la seguridad de los sistemas y ayudar a prevenir las amenazas a la seguridad cibernetica también en el caso de los vehículos automatizados.

El tema del intercambio de datos no personales también es importante, pero no está regulado por el momento, con excepción de las normas sobre reparación y mantenimiento. En varias circunstancias, los datos producidos por los sensores en un vehículo automatizado pueden clasificarse como datos no personales, en la medida en que no se relacionan con una persona identificable, por lo que no están cubiertos por la legislación de protección de datos.

⁷⁰ Fuente disponible: <https://circabc.europa.eu/sd/a/a68ddba0-996e-4795-b207-8da58b4ca83e/Discussion%20Paper%20A0-%20Roadmap%20on%20Highly%20Automated%20Vehicles%202008-01-2016.pdf>

Por todo ello, debe subrayarse que resolver los problemas de privacidad relacionados con el seguimiento en tiempo real del vehículo, la divulgación de datos del vehículo y el uso indebido, entre otros, será necesario para desarrollar sistemas avanzados de automatización e incluso más conexión y cooperación entre vehículos y entre vehículos e infraestructura.

10.6. Implicaciones socioeconómicas

Se espera que la automatización de los vehículos tenga implicaciones socioeconómicas significativas no solo en la industria automotriz, sino también en sectores que ya están o estarán conectados a la movilidad, incluida las nuevas tecnologías, las telecomunicaciones, los seguros, el transporte y la logística, etc.

En este sentido, la escala de dichas implicaciones probablemente dependa del nivel de automatización y conexión de los sistemas que se comercializarán en el futuro, con un mayor impacto disruptivo a una más alta y completa automatización del vehículo, así como de los futuros modelos de propiedad de los automóviles privados que son todavía inciertos.

10.6.1 Producción de la industria automotriz

La difusión exitosa de vehículos cada vez más automatizados y conectados requerirá que los fabricantes amplíen sus habilidades de desarrollo de software. Según una encuesta de McKinsey de 2015 sobre directivos de la industria del automóvil⁷¹, el 57% de los encuestados anticipa que colaborarán con terceros o compañías de software externas para el desarrollo de su interfaz de programación de aplicaciones, es decir, para el diseño del software API. En este sentido, aunque es cierto que Tesla desarrolla su propio software internamente, varios fabricantes subcontratan partes importantes de su desarrollo o adquieren empresas de software externamente.

Por otra parte, según el informe elaborado por SMMT y KPMG sobre las oportunidades de conexión y automatización de los vehículos para el Reino Unido⁷², se

⁷¹ McKinsey Global Institute, Un futuro que funciona: automatización, empleo y productividad, 2017.

⁷² Autonomous Vehicle Technology – A guide for Policymakers, 2014.

espera que la producción de automóviles en dicha potencia siga creciendo principalmente debido a la demanda de los mercados fusionados; sin embargo, hay poca certeza sobre los futuros modelos de propiedad de los vehículos privados, con algunas hipótesis que indican que, en los próximos años, la propiedad de vehículos privados dará paso a planes basados en la movilidad por la cual el usuario accederá a un vehículo de la flota, en vez de a su propio automóvil. En este momento, no está claro cómo afectaría este suceso a las ventas de vehículos, ni si los fabricantes de automóviles podrían de hecho convertirse en proveedores de dichas flotas.

10.6.2 Impacto en el transporte de mercancías

Es probable que el transporte de mercancías obtenga beneficios particulares del platooning de camiones. En este sentido, se espera que las aplicaciones iniciales de esta tecnología requieran la presencia de un controlador humano tanto en el vehículo líder como en el seguidor; en este caso, los efectos positivos incluirían la reducción en el consumo de combustible de los camiones⁷³ y en el tiempo de descanso necesario⁷⁴ para el conductor del vehículo seguidor.

Siguiendo esta estela, el objetivo a largo plazo es eliminar la presencia de un conductor humano del vehículo seguidor, lo que permitiría un mayor ahorro en el tiempo de trabajo que oscilaría entre el 15% y 25% según la Organización holandesa TNO, dependiendo de la cuantía de tiempo conduciendo por las carreteras⁷⁵.

A este respecto, debe ponerse de relieve la importancia del sector de transporte de mercancías a larga distancia por cuanto portea alrededor del 68,5% de todos los bienes enviados en los Estados Unidos, representando los salarios de los conductores el 30% de sus costes totales⁷⁶. Además, deben tenerse en cuenta las ventajas que tendría la conducción autónoma de los camiones por cuanto sus conductores únicamente pueden conducir legalmente 11 horas al día, lo que provoca retrasos en el transporte de mercancías.

⁷³ Un 10% en promedio según la Organización holandesa de investigación científica aplicada, conocida como TNO.

⁷⁴ Un ahorro del 8% en promedio según TNO.

⁷⁵ Truck Platooning – El futuro del transporte terrestre, 2015.

⁷⁶ Ídem.

Por otra parte, existe el potencial de mejorar la economía de combustible ⁷⁷de los camiones y reducir las emisiones mediante el diseño de camiones autónomos, donde los vehículos se siguen de cerca para reducir la resistencia del aire, de una manera que no es seguro hacerlo con conductores humanos.

10.6.3 Responsabilidad en caso de accidente y costes del seguro

La responsabilidad en caso de accidente es otra cuestión relevante que debe abordarse oportunamente para garantizar la aceptación pública y evitar futuros conflictos. Si bien para las pruebas actuales la responsabilidad recae únicamente en los fabricantes, es más difícil decir quién será responsable cuando se permita que los vehículos autónomos circulen en la infraestructura pública.

En este sentido, las partes interesadas han brindado respuestas diferentes cuando se les ha preguntado sobre la responsabilidad de sus sistemas autónomos: Volvo declaró que asumirá toda la responsabilidad por los accidentes causados por sus vehículos automatizados, mientras que Tesla señaló que el conductor sería responsable en caso de accidentes ocurridos con el piloto autónomo en funcionamiento.

No obstante, cabe destacar que las propias aseguradoras se han pronunciado al respecto, recalando la evolución en la imputabilidad de la responsabilidad a medida que estas nuevas tecnologías progresen. En este sentido, resulta evidente pensar que la legislación nacional siempre tendrá que identificar al sujeto responsable en caso de accidente de tráfico, pero dada la era tecnológica hacia la que avanzamos imparablemente, en escenarios de autonomía plena del vehículo, no es descabellado pensar que el sujeto responsable pasara a ser el fabricante automotriz, por cuanto ya no existe la figura del conductor.

Esto a su vez podría conducir a una reducción en las primas de seguro pagadas por los ciudadanos y a un incremento de la demanda de cobertura de seguros de responsabilidad civil por parte de los fabricantes de automóviles, pero no sería un cambio revolucionario en ningún caso. En este sentido, como ya sucede en la industria automotriz y en otros sectores, los usuarios de automóviles siempre podrían ser considerados

⁷⁷ De acuerdo con Freightliner, el platooning de camiones podría reducir, en promedio, el combustible utilizado por los camiones entre el 5,3%, en pelotones de 3 camiones, y el 6%, en pelotones de 5 camiones.

responsables de los accidentes causados por sus errores (por ejemplo, negligencia en el mantenimiento del vehículo), mientras que los fabricantes de automóviles tendrían que asumir responsabilidades por fallos tecnológicos. Ello implicaría que, en caso de litigio entre los dos, siempre será un tribunal el que establezca las diferentes responsabilidades imputables.

Obviamente, la responsabilidad dependerá en gran medida del grado de automatización del vehículo: cuanto mayor sea el nivel de autonomía, mayor será la responsabilidad transferida de los conductores a los fabricantes. Es decir, se trata de diseñar un sistema de responsabilidad con unos límites claros en función de los diferentes niveles de autonomía y teniendo en cuenta el papel de ambos agentes en la conducción del vehículo. Por tanto, lo que está claro es que los órganos legislativos deben ser capaces de elaborar una normativa que proporcione una guía clara capaz de identificar al responsable en caso accidente, evitando así acudir a la vía judicial.

Por su parte, desde la perspectiva del sector de seguros, si bien es cierto que, en el corto plazo, se espera la caída de las primas dada la mayor incorporación de dispositivos automatizados en el vehículo capaces de incrementar la seguridad vial, ello podría compensarse con la necesidad de proteger a los interesados de otros riesgos como el cibernético o de asegurar vehículos más caros. Por ello será particularmente relevante para este segmento la evaluación del impacto de los diferentes sistemas automatizados sobre la frecuencia y severidad de los accidentes de tráfico, a fin de permitir una cuantificación adecuada de las primas de seguros.

De otra parte, a largo plazo, cuando se logre la introducción en el mercado de vehículos plenamente automatizados, transfiriéndose la responsabilidad en caso de accidente del conductor al fabricante, éstos últimos deberán incurrir en mayores costes en concepto de seguros, si bien en última instancia podrían repercutirlos al consumidor final a través del precio de sus productos y servicios.

A este respecto cabe destacar que, al final, lo más probable es que ocurra un cambio en el tipo de riesgos que requerirán protección, con la expectativa de que las primas de seguro personales se reduzcan significativamente y surjan otras nuevas, como la prima de riesgo cibernético, acompañadas por una distribución diferente de la responsabilidad por contingencias que se transferirá progresivamente del conductor físico humano a los fabricantes de automóviles.

El grado en que esto afectará al equilibrio de las compañías de seguros, la industria automotriz y los usuarios de automóviles dependerá de la escala del impacto que podría generar una mayor penetración en el mercado de los vehículos autónomos sobre la reducción de las tasas de accidentes de tráfico, así como de la forma en que los diferentes costes se repercutan a los interesados.

Ciertamente, el sector de seguros tendrá que ser ágil para responder a estos cambios y desafíos, por lo que varias aseguradoras participan activamente en la comprensión de los mercados de vehículos automatizados, sus capacidades y las implicaciones para sus servicios.

10.6.4 Sector de las TICs

Como ya se mencionó anteriormente, importantes empresas del sector de las tecnologías de la información han tomado un papel fundamental en el desarrollo de los vehículos automatizados. De esta forma, se han convertido en partes emergentes interesadas en la evolución del sector del transporte por carretera por cuanto consideran que les puede repercutir cuantiosos beneficios y ayudar a la evolución de la sociedad moderna.

Importantes multinacionales como Google, Apple y Uber participan activamente en la comprensión e implementación de los vehículos autónomos, de manera que se espera que el aumento progresivo de la automatización y conexión de los vehículos genere oportunidades significativas para las empresas de innovadoras tecnologías, telecomunicaciones y redes de transporte que pueden aprovechar sus habilidades tecnológicas para ingresar o aumentar su presencia en el mercado del transporte de pasajeros.

En efecto, el potencial para un mayor negocio en estas áreas parece alto. De hecho, un estudio reciente de AllixPartners⁷⁸ señalaba que, en los próximos cuatro años, el volumen del mercado mundial de servicios de conectividad y hardware en el sector automotriz se duplicará de un estimado de 20 mil millones de \$ a 40 mil millones de \$, siendo más de la mitad del valor relativo a servicios y aplicaciones. Asimismo, el citado informe señala datos del Connected Car Forum (CCF) que muestra que más del 50% de

⁷⁸ AllixPartners, The Worldwide Automotive Growth Is Slowing Down, Particularly in the BRICS, 2015.

los vehículos vendidos en todo el mundo en el año 2015 están conectados, ya sea a través de dispositivos integrados, conectados o de los teléfonos inteligentes, proporcionando pronósticos que indican una alta probabilidad de que para el año 2025 todos los nuevos automóviles estén conectados por múltiples formas.

10.6.5 Mercado laboral

En cuanto a las implicaciones para el mercado laboral, según el ya referido informe elaborado por SMMT y KPMG para el Reino Unido⁷⁹, la conexión y automatización de vehículos creará un total de 320.000 nuevos empleos en el Reino Unido para el año 2030. En este sentido, se espera que 25.000 de ellos se dediquen a la fabricación de automóviles, mientras que el resto se ubicará en otros sectores, incluidas las telecomunicaciones, las tecnologías digitales y los medios, que se beneficiarán de una mayor productividad, movilidad de los trabajadores y nuevas oportunidades de mercado posibles gracias a la conexión y automatización de los vehículos. En este sentido, cabe destacar que el signo de tales efectos sería extrapolable para el resto de potencias económicas.

Por el contrario, se espera un efecto negativo sobre el mercado laboral a largo plazo, a medida que se incorporen sistemas cada vez más automatizados que lleguen a prescindir de la figura del conductor. A este respecto, se espera que los conductores profesionales sufran cuando se implemente la automatización total en el transporte público, en automóviles y en los camiones de mercancías.

Actualmente, solo en los EEUU⁸⁰, hay 3,5 millones de camioneros profesionales, y otros 5,2 millones de personas empleadas cuyos medios de vida se ven afectados o vinculados a la industria del transporte por carretera. Por su parte, en la UE, los datos disponibles indican que cerca de 2,4 millones de personas están activas en el sector del transporte de mercancías por carretera en los 23 Estados miembros para los que hay datos disponibles; sin embargo, se debe precisar que el aumento de los niveles de autonomía no elimina obligatoriamente la necesidad de los conductores debido a su utilidad para descargar en el destino, maniobrar el vehículo en los depósitos, etc.

⁷⁹ Autonomous Vehicle Technology – A guide for Policymakers, 2014.

⁸⁰ Ídem.

Del mismo modo, las compañías de taxis, redes de transporte y conductores de tránsito se ven amenazadas por la posibilidad de ser reemplazados por vehículos autónomos a la luz de la importante reducción de costes que llevan aparejada.

Por todo ello se puede concluir que se espera como efecto general de la automatización de los vehículos un cambio en el mercado laboral donde la demanda de conductores menos capacitados se sustituya por una mayor necesidad de trabajadores cualificados, principalmente expertos en el desarrollo de software y telecomunicaciones capaces de diseñar auténticas obras de la ingeniería en forma de vehículos cada vez más automatizados.

10.7 Otros impactos sociales

10.7.1 Accesibilidad al transporte y asequibilidad

En el corto plazo, con la introducción inicial de vehículos autónomos, se anticipa que aquellas personas con mayor poder adquisitivo podrán permitirse esta innovadora tecnología antes que los segmentos socioeconómicos más bajos de la población.

Por tanto, ello genera un impacto social negativo al incrementar la brecha de desigualdad existente, además de exponer a mayores riesgos de tráfico a aquellos segmentos de la población que no puedan permitirse hacerse con un coche autónomo. Ahora bien, este efecto se limitaría al corto plazo, ya que con el tiempo el precio de esta tecnología debería bajar hasta los precios normales de los automóviles.

Otro posible impacto negativo es que la tecnología de la automatización automotriz puede distraer la inversión dirigida a incrementar la capacidad del transporte público. En este sentido, los usuarios que normalmente optan por la movilidad pública pueden cambiar su elección hacia los vehículos compartidos autónomos, si son significativamente más convenientes a un precio comparable.

Esto puede provocar que el transporte público pierda número de pasajeros, lo que se traduce en una menor recuperación de los costes invertidos en la creación de infraestructuras de transporte públicas y, finalmente, en la reducción de los servicios o aumentos en las tarifas, lo que perpetuaría la pérdida de usuarios. A este respecto, cabe destacar que el transporte público es una herramienta de transporte importante, y muchas

personas dependen de él para su movilidad, siendo un servicio especialmente útil para los usuarios de escasos recursos económicos.

No obstante, cabe destacar que no todos los efectos son negativos, sino que por el contrario existe un impacto positivo real, dado que la introducción de vehículos totalmente automatizados cambiaría la vida de muchas personas al permitir la movilidad de aquellos que no pueden conducir en la actualidad, como las personas discapacitadas, ancianas o menores de edad. Esta tecnología podría aumentar la independencia de estos grupos sociales, reduciendo su aislamiento y dándoles acceso a servicios esenciales. De hecho, Google identificó esta oportunidad para la tecnología a través de un video que mostraba a un individuo ciego realizando tareas en un vehículo sin conductor, hecho que hasta ahora era impensable.

Solo en los Estados Unidos, un gran porcentaje de los presupuestos⁸¹ de las agencias de transporte público se destinan a proporcionar servicios de transporte para el segmento de la población con problemas de movilidad reducida, proporcionando un servicio esencial pero que no es económicamente eficiente. En este sentido, los vehículos autónomos podrían proporcionar la movilidad requerida para estos segmentos de la población, impulsando otros beneficios sociales más amplios al poder destinar esos fondos públicos a otras causas sociales.

10.7.2 Explotación del suelo

El impacto de los vehículos altamente autónomos en los patrones de explotación del suelo no está claro, pero la tecnología tiene el potencial de cambiar sus directrices de manera significativa. De esta forma, dadas las ventajas aparentes a la posesión de un vehículo autónomo, los usuarios podrían estar dispuesto a vivir más lejos de sus destinos habituales, lejos de las áreas urbanas, repoblando las zonas rurales e impulsando la vida en estos parajes.

Por otro lado, en las áreas urbanas, se estima que aproximadamente el 31% del espacio en el distrito central de las ciudades se dedica al estacionamiento⁸². Con los vehículos más inteligentes, autónomos, podría haber una demanda mucho menor de

⁸¹ Entre el 14% y el 18% del presupuesto total de las agencias de transporte público va dirigido íntegramente a la prestación de servicios especiales para la población discapacitada.

⁸² Cruising for Parking, Access, 2007.

estacionamiento, especialmente si se aleja de los vehículos personales privados hacia vehículos generalizados de auto conducción compartida.

10.8 Ética y aceptación pública

10.8.1 Ética

Ya se ha hablado extensamente de la ética robótica en el epígrafe 8 “Gestión de las decisiones en los vehículos autónomos”. Además, cabe añadir que la seguridad y privacidad de los datos vendrá acompañada de preocupaciones éticas con respecto a la definición de la información a recopilar, así como su propiedad, intercambio, almacenamiento y propósito. Además, la ética jugará un papel clave en la definición del marco legislativo que regula el uso y la gestión de dichos datos.

10.8.2 Aceptación pública

La seguridad del usuario, la seguridad de los datos, la protección de los datos personales y las preocupaciones éticas determinarán la aceptación pública y la consiguiente penetración en el mercado de los sistemas automatizados. En este sentido, las autoridades públicas y las partes interesadas privadas deberán proporcionar respuestas creíbles a todas estas inquietudes y demostrar los beneficios ambientales, económicos, sociales y de seguridad de la conducción automatizada con el fin de ganarse la confianza del público y sentar las bases para la difusión de la misma.

El Observatorio Cetelem del Automóvil realizó un estudio⁸³ en 2016 de todo lo que tiene que ver con el coche conectado y el futuro coche 100% autónomo. Este estudio se realizó en 15 países con más de 8500 encuestas realizadas a personas que habían comprado un automóvil en los últimos 5 años. Sus conclusiones son las siguientes:

En relación a lo que pensamos sobre el coche conectado:

- El 78% de los consumidores encuestados creen que es caro.
- El 77% creen que el coche conectado debería aportar principalmente una mayor seguridad en la conducción.
- El 83% piensan que es sinónimo de confort.

⁸³ Fuente disponible en: <https://elobservatoriocetelem.es/2016/03/08/observatorio-cetelem-auto-2016/> [consulta:10-10-2017]

- El 73% opinan que es el coche ideal
- El 53% estarían interesados en recibir ofertas comerciales adaptadas a sus hábitos de consumo a través de la geolocalización del coche conectado.

En relación a lo que pensamos sobre el vehículo autónomo:

- El 62% piensa que los fabricantes tradicionales (enfoque evolutivo) serán los auténticos protagonistas del paso a este nuevo tipo de vehículo, aunque el 55% dice estar dispuesto a adquirir un coche autónomo de Google o Apple (enfoque revolucionario).
- El 75% cree que será una realidad universal, y que tardaremos 6,6 años en poder usarlos.
- En un coche 100% autónomo, casi la mitad de los conductores dicen que dedicarían el tiempo al ocio.
- El principal miedo de los usuarios es no tener el control total del vehículo.

En efecto, la sociedad todavía se muestra dubitativa a la hora de optar por un modelo de vehículo con funciones totalmente autónomas, sin posibilidad de ser controlado por el conductor humano. Por tanto, los resultados de la encuesta destacan la necesidad de realizar un trabajo de fondo de credibilidad para ganar una amplia aceptación pública, debiendo impulsarse inversiones y políticas que promuevan la seguridad del vehículo automatizado y su respuesta ante situaciones conflictivas.

Finalmente, para conocer los hallazgos obtenidos para la sociedad española se deberá acudir al Anexo III.

11. CONCLUSIONES Y ACCIONES FUTURAS

En primer lugar, se debe señalar que algunas tecnologías de conducción autónoma ya están disponibles actualmente, mientras que otras se encuentran en fase de prueba y las más innovadoras, en estado de investigación y desarrollo. Por tanto, los sistemas totalmente automatizados podrían estar listos para la producción comercial en los próximos años, pero no está claro en este momento, cuándo ocurrirá y hasta qué punto los vehículos serán capaces de conducir autónomamente en todas las circunstancias.

Además, a ello hay que sumar la falta de un marco normativo capaz de coordinar las acciones de los actores privados y públicos para lograr el lanzamiento final al mercado de esta nueva tipología de vehículos. Asimismo, se deberán enfrentar los desafíos que plantea una idea tan nueva y revolucionaria como la del vehículo autónomo sin conductor que genera incertidumbre y cierta inseguridad a parte de la sociedad.

En cuanto a qué caminos va a seguir la evolución del vehículo autónomo, se debe afirmar que la vía es progresiva e incremental avanzándose a lo largo de dos vertientes que discurren de forma paralela. De un lado, la industria del automóvil sigue principalmente un enfoque evolutivo, desarrollando sistemas de asistencia cada vez más automatizados para mejorar la seguridad y la comodidad en la conducción. Por su parte, los nuevos participantes, como las empresas TICs, se centran principalmente en vehículos totalmente automatizados capaces de funcionar sin un conductor, llevando adelante un enfoque revolucionario. No obstante, cabe destacar que muy probablemente ambas perspectivas acaben convergiendo y creando sinergias con el objeto de adoptar el impulso más adecuado. En este sentido, en EEUU ya parece que están concurriendo algunos intentos iniciales de integrar ambos enfoques, permitiendo allanar el camino para nuevos patrones de desarrollo.

De esta forma, aunque “vehículos conectados” y “automatizados” son dos conceptos distintos, están firmemente vinculados entre sí. Las tecnologías capaces de conectar vehículos con otros vehículos y/o con la infraestructura ya son aplicables en automóviles convencionales, convirtiéndose en un elemento crucial para acompañar el desarrollo de niveles más avanzados de automatización en la industria automotriz, tanto

en el transporte de pasajeros como en el de mercancías. Por tanto, considero que una única hoja de ruta debe guiar el desarrollo de ambas tipologías de vehículos, ya que la mayoría de beneficios potenciales que puede generar la automatización dependen en gran medida del grado de comunicación con otros vehículos y el resto del entorno.

En este sentido, la seguridad vial, la reducción de las emisiones, así como de la congestión del tráfico, la inclusión social, y, por supuesto, el ahorro del coste de oportunidad aparejado a la posibilidad de llevar a cabo otras actividades durante el viaje por carretera, son los principales beneficios comúnmente esperados por la difusión de sistemas automatizados en los diferentes métodos de transporte por carretera; sin embargo, todavía es necesario profundizar en nuevos análisis que aporten mayores evidencias cuantitativas sobre los efectos reales de la automatización en estos aspectos.

De hecho, se espera que la seguridad vial mejore con la automatización de los vehículos; sin embargo, este efecto aún debe ser probado a gran escala y puede no ser inmediato. En efecto, la situación más probable en los próximos 30-40 años es aquella en la que la conducción manual, asistida y automatizada coexiste, alternándose según la situación y el contexto; por lo tanto, los conductores humanos seguirán siendo responsables de una serie de operaciones de manejo de la conducción y, en consecuencia, los errores humanos continuarán causando accidentes. Además, aún no está claro si pueden surgir nuevas situaciones de riesgo, por ejemplo, en el cambio del modo de conducción manual al autónomo, en un contexto de automatización mixto.

Por lo tanto, considero que se debe realizar una evaluación exhaustiva de las implicaciones de seguridad de los sistemas autónomos, incluidas las pruebas piloto y sus implementaciones, para estimar sus posibles efectos sobre la frecuencia y gravedad de los accidentes de tráfico con el objeto de identificar los riesgos potenciales del comportamiento humano inadecuado. De esta forma, los resultados de dicha evaluación deben informar las medidas regulatorias para mitigar los riesgos identificados, por ejemplo, instando un entrenamiento obligatorio para el uso apropiado de sistemas autónomos o imponiendo sanciones por conductas peligrosas, así como acompañar la introducción de estas innovadoras tecnologías, por ejemplo, incluyendo nuevas reglas en relación a los permisos de conducir, para garantizar que el efecto general de la automatización de los vehículos en la seguridad vial sea positivo.

Además, para garantizar la seguridad de los vehículos automatizados, será necesario proporcionar el marco legal y los requisitos adecuados de validación funcional, incluyendo procedimientos de prueba y métodos de validación normalizados y coordinados, con los que se puedan medir y evaluar los resultados de seguridad de los sistemas automatizados. Cabe destacar que esto es especialmente importante en relación a los sistemas altamente automatizados, en los cuales no existe la figura de un conductor humano responsable de monitorear el sistema o proporcionar un mecanismo de respaldo.

Asimismo, también se esperan beneficios potenciales en la reducción de la congestión del tráfico y un impacto ambiental positivo, aunque su escala y efecto neto no están todavía muy claros en este momento.

Por ello considero que se necesita una mayor investigación capaz de cuantificar mejor el consumo efectivo de combustible y la reducción de emisiones, según los diferentes sistemas automatizados y conectados. Además, una evaluación más precisa del aumento real de la capacidad viaria gracias al platooning de camiones y a los Sistemas de Control Cooperativo de Crucero Adaptativo, podría informar sobre decisiones de planificación tales como dedicar carriles o áreas específicas a vehículos conectados, en lugar de construir nuevas infraestructuras. En este sentido, las autoridades de transporte y ordenación del espacio deberían prestar atención a estos aspectos y, en nuestro caso concreto, la UE debería alentar una evaluación adecuada que impulse sus políticas y objetivos medioambientales.

Por su parte, también se espera que los sistemas automatizados brinden una serie de beneficios sociales y económicos. Estos incluirían una movilidad mejorada para segmentos de la población que no pueden conducir vehículos tradicionales, tales como las personas discapacitadas, ancianas o menores de edad, promoviendo su inclusión, así como la posibilidad de realizar tareas distintas a la conducción durante el viaje en automóvil o camión, reduciendo así el coste de oportunidad del tiempo invertido en el vehículo, así como el coste laboral en relación con los vehículos de mercancías. Además, se espera que la automatización y conexión de los vehículos genere nuevos puestos de trabajo en la industria del automóvil, la tecnología, las telecomunicaciones y el transporte de mercancías, especialmente en relación con los servicios de tecnologías de la información.

Por todo ello, el aumento de la automatización en la conducción también afectaría a los conductores profesionales: se les requeriría interactuar con las nuevas tecnologías lanzadas al mercado y podrían enfrentarse a una menor demanda laboral en el largo plazo, a medida que los vehículos plenamente autónomos estuvieran disponibles para el transporte público o de mercancías.

Ello implica que estamos ante una reforma estructural del mercado laboral, de manera que la educación y la capacitación tendrán un papel crucial, ya sea para equipar a los conductores profesionales con las habilidades necesarias para el uso de nuevas tecnologías y dispositivos emergentes, así como, y más importante, para enseñar a las nuevas generaciones las habilidades necesarias para trabajar en una sociedad tecnológica más conectada e innovadora que nunca. Por tanto, observamos como existe un reemplazamiento de las tradicionales profesiones para dar paso a otras nuevas. En esta línea, considero que impulsar la automatización podría generar importantes aumentos de la productividad en el sector logístico y de carga, aunque sería necesario realizar un seguimiento para verificar que estas ganancias se transfieren a los consumidores a través de la reducción de precios de los bienes.

En cuanto al sector de pasajeros, los automóviles automatizados y conectados también pueden sostener el cambio hacia un nuevo escenario de movilidad en el que soluciones de transporte más sostenibles pueden reemplazar el paradigma tradicional de propiedad y uso del automóvil. Los rápidos progresos en los sectores de la tecnología y las telecomunicaciones, paralelamente a la automatización de los vehículos, pueden acelerar el desarrollo del intercambio, la red de transporte y los servicios automatizados de taxis.

De esta forma, las autoridades internacionales, europeas, nacionales y locales deberían apoyar y coordinar tales aplicaciones a fin de favorecer el desarrollo de nuevos vehículos y compartir soluciones que tengan el potencial de reducir las externalidades negativas del transporte por carretera como serían las emisiones de gases nocivos, la congestión del tráfico y la falta de espacio para estacionar.

En este sentido, la infraestructura física y tecnológica jugará un papel crucial en el desarrollo de soluciones de conducción automatizadas y conectadas. Los requisitos de infraestructura deberán establecerse para garantizar que los sistemas automatizados y conectados puedan operar de manera segura; para ello, será necesario determinar qué

elementos de infraestructura, topologías y características serán adecuados para los diferentes niveles de automatización, así como quién debería ser responsable de proporcionar y mantener la infraestructura física y digital.

De esta forma, a medida que los niveles más altos de automatización lleguen al mercado, el papel del software será cada vez más importante, debiendo ser plenamente fiable y estar actualizado de manera que sea capaz de proporcionar la suficiente información para que el piloto autónomo pueda adoptar la decisión idónea en el momento correcto. Asimismo, dada su relevancia, se deben establecer requisitos legales sobre los estándares de transmisión de datos, calidad, seguridad y contenido para garantizar la seguridad y protección de los mismos.

Por todo ello, al establecer tales medidas, se debe prestar especial atención a las cuestiones de privacidad debido a que la automatización y conexión de los vehículos requiere el uso y análisis de una enorme cantidad de datos. Como consecuencia, será necesario especificar qué información es posible recopilar, quién será el propietario de dicha información, así como, qué uso de dichos datos se permitirá legalmente con el objeto de garantizar la privacidad de los usuarios y evitar un uso negligente de tal información.

Por consiguiente, los usuarios de las carreteras también deben recibir una educación y formación que les permita adaptar sus comportamientos en consecuencia, de manera que maximicen los beneficios inherentes a las tecnologías autómatas.

Además, debemos destacar que la responsabilidad en caso de accidente es otra cuestión relevante que debe abordarse oportunamente para garantizar la aceptación social y evitar futuros conflictos entre las partes interesadas. En este sentido, coincidiendo con la doctrina mayoritaria, considero que la imputabilidad de la responsabilidad evolucionará a medida que lo hagan las tecnologías de la automatización, de manera que, a mayor nivel de autonomía en el vehículo, mayor será la traslación de responsabilidad al fabricante automotriz por cuanto se está reduciendo la probabilidad de que el accidente haya sido originado por un error humano.

Asimismo, la ética robótica supone un desafío y un tema controvertido a tratar. Serán los propios vehículos autónomos quienes deberán ser programados previamente para enfrentarse a decisiones éticas complejas que actualmente toman los seres humanos. Por tanto, se debe construir un debate ético y moral para concluir la forma en que los

vehículos autónomos deben comportarse ante los diferentes dilemas que se les pueden presentar.

Finalmente, se debe señalar la necesidad de un marco legislativo internacional común, capaz de homogeneizar y coordinar las escasas normativas existentes en las regiones y potencias económicas, con el objeto de señalar unas directrices comunes que posibiliten el impulso para el lanzamiento de sistemas cada vez más automatizados en los vehículos.

En este sentido, la normativa debe garantizar la seguridad vial y acompañar su desarrollo para lograr la expansión del fenómeno. A este respecto, hemos observado como en todo el mundo, se han adoptado diferentes enfoques a nivel nacional para permitir la prueba de vehículos altamente automatizados. Por ello, en cierta manera, los diferentes países compiten entre sí para crear las condiciones más favorables para las pruebas y atraer inversiones en esta área; sin embargo, desde mi punto de vista, las diferentes acciones tomadas a nivel nacional deberían incluirse dentro de una fuerte cooperación internacional para aprovechar al máximo los conocimientos y lo avances cada vez mayores en esta área, así como para sentar las bases de un proceso global más fluido que permita finalmente la comercialización de vehículos altamente automatizados.

A este respecto, en la región europea que nos atañe, el marco presente en las Naciones Unidas (CEPE) parece ideal para abordar estos problemas. De esta forma, para evitar la creación de barreras adicionales a la investigación e innovación en este ámbito, recomendaría una actuación flexible, que podría adoptar la forma de acuerdos voluntarios o códigos de prácticas entre las autoridades pertinentes para establecer un enfoque armonizado en aspectos como los requisitos para la monitorización de la prueba, las cuestiones relativas al registro de datos, la responsabilidad durante las fases de ensayo y tras el lanzamiento de los sistemas automatizados, los requisitos de infraestructura, cuestiones de ciberseguridad, educación pública de pruebas, pruebas transfronterizas, cuestiones de ética robótica, etc.

Por lo demás, si realmente se desea expandir y convertir en una realidad el fenómeno autónomo, la evolución de la implementación de los diferentes niveles de autonomía debe ir acompañada de políticas y acciones capaces de apoyar a la investigación y la innovación en esta área, revisando y modificando el actual marco legal y político, así como adoptando las estrategias más eficientes al respecto. Por tanto, se

debe prestar especial atención a la dimensión urbana, así como a las partes interesadas, ya que muchos de los beneficios potenciales de los automóviles autónomos y conectados parecen alcanzar su máximo potencial en ese nivel.

Por todo ello, si las amenazas descritas anteriormente no se abordan adecuadamente, la aceptación pública de los vehículos automatizados y, por lo tanto, su penetración en el mercado podría peligrar en el medio plazo, complicando la difusión generalizada de estas innovadoras tecnologías. En este sentido, los organismos públicos y privados, como partes interesadas en la automatización de los vehículos, deben saber convertir tales amenazas en oportunidades de éxito, dando respuestas certeras y disolviendo la incertidumbre existente en torno a la seguridad de los sistemas automatizados y las preocupaciones éticas, explotando sus fortalezas a través del beneficio esperado en términos de seguridad vial, capacidad de red, reducción de emisiones, inclusión social, mejora de la accesibilidad y ahorro en el coste de oportunidad del tiempo invertido en viajar.

12 SÍNTESIS DE LAS IMPLICACIONES DEL DESPLIEGUE DEL PILOTO AUTOMÁTICO EN LOS AUTOMÓVILES Y AUTOMATIZACIÓN DEL TRÁFICO RODADO

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> ★ Reducción de los accidentes de tráfico (ya que más del 90% de los accidentes viales implican errores humanos). ★ Potencial para la reducción de emisiones gracias al platooning de camiones y a una conducción más eficiente. ★ Posibilidad de aumentar la capacidad viaria de las carreteras y mejorar la congestión del tráfico, debido a un uso más eficiente de la infraestructura y la elección de ruta. ★ Inclusión social de segmentos de la población (discapacitados, ancianos, jóvenes), capaces de usar solos vehículos totalmente automatizados. ★ Reducción del coste social de la congestión viaria, ya que los usuarios pueden dedicarse a otras actividades mientras están en el vehículo. ★ Reducción de los costes laborales, ya que los vehículos pueden conducir sin la necesidad de un conductor humano. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Necesidad de demostrar la seguridad de los sistemas automatizados (incluidos los requisitos de infraestructura) y la capacidad de funcionar en todas las situaciones y condiciones. ✗ Ciberseguridad y riesgo de fallos asociados al sistema automatizado. ✗ Protección de datos personales y preocupaciones éticas. ✗ Los sistemas automatizados avanzados pueden ser costosos. ✗ Falta de marco legislativo común y necesidad de coordinar las regulaciones internacionales y nacionales para permitir la implementación de la mayoría de dispositivos automatizados. ✗ Cuestiones de responsabilidad en caso de accidente.
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> ↑ Avances continuos en el sector de la tecnología y las telecomunicaciones, capaces de acelerar la automatización y conexión de vehículos. ↑ Posibilidad de mejora constante y de salvar los obstáculos actuales. ↑ Los vehículos autónomos y conectados pueden apoyar la difusión de los vehículos compartidos, así como los servicios de las redes de transporte. Esto lleva al desarrollo de un nuevo paradigma de movilidad compartida más sostenible con el medio ambiente y eficiente. ↑ La conducción autónoma promueve el cumplimiento de los objetivos relativos a la seguridad vial, la congestión del tráfico y la reducción de emisiones. ↑ La automatización y conexión de vehículos podría favorecer la creación de nuevas áreas de negocio y trabajos altamente cualificados, particularmente en el sector de las tecnologías de la información. 	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Falta de aceptación pública debido a cuestiones relativas a la privacidad y seguridad de los sistemas automatizados. Esto podría retrasar la implementación de tales dispositivos, y una lenta penetración en el mercado podría retrasar la difusión de estos sistemas y, en consecuencia, el logro de sus beneficios. ↓ Aumento del tráfico debido a la mejora de la movilidad y la competitividad del transporte por carretera, con el consiguiente incremento de las emisiones y la congestión del tráfico. ↓ Impacto negativo en los trabajadores poco cualificados, en particular camioneros y taxistas.

13. BIBLIOGRAFÍA

13.1 Artículos científicos y técnicos

- AdaptIVe project. Disponible en: <https://www.adaptive-ip.eu/> [consulta: 10-10-2017].
- American Association of Motor Vehicle Administrators (AAMVA). Autonomous Vehicles Information Sharing Group, *Analysis of Laws Enacted in Jurisdictions*, resumen ejecutivo, octubre de 2014 [consulta: 20-10-2017].
- *Autonomous cars: a big opportunity for European industry*. Comisión Europea. Enero de 2017. Disponible en: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Autonomous%20cars%20v1.pdf [consulta: 15-09-2017].
- *Autonomous Cars: Self-Driving the New Auto Industry Paradigm*. Morgan Stanley. 6 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Nov2013MORGAN-STANLEY-BLUE-PAPER-AUTONOMOUS-CARS%EF%BC%9A-SELF-DRIVING-THE-NEW-AUTO-INDUSTRY-PARADIGM.pdf> [consulta: 20-09-2017].
- *Automated Vehicles for Safety*. NHTSA. Disponible en: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety> [consulta: 12-09-2017].
- *Automated Vehicles in the EU: A Look at Regulations and Amendments*. University of Würzburg. Marzo de 2016. Disponible en: <http://www.genre.com/knowledge/publications/cmint16-1-en.html> [consulta: 15-09-2017].
- CityMobil Project, *Advanced Transport for the Urban Environment*, Folleto, noviembre de 2011. [consulta: 10-10-2017].
- Comisión Europea, *Better regulations for innovation-driven investment at EU level*, documento de trabajo del personal de la Comisión, 2015. [consulta: 10-10-2017].
- Cunningham, Mitchell. *Autonomous Vehicles: Human Factors Issues and Future Research*. Actas de la Conferencia de Seguridad de Carretera Australiana 2015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/310327242_Autonomous_Vehicles_Human_Factors_Issues_and_Future_Research [consulta: 05-10-2017].
- Darrel M. West. *Moving forward: Self-driving vehicles in China, Europe, Japan, Korea and the United States*. Septiembre de 2016. Disponible en:

<https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/09/driverless-cars-2.pdf> [consulta: 15-09-2017].

- Departamento de Transporte, *The pathway to driverless cars: a detailed review of regulations for automated vehicle technologies*, Londres, febrero de 2015.
- *Documento de trabajo sobre la protección de datos y las consecuencias para la intimidad en la iniciativa eCall*. Grupo de Trabajo del Artículo 29. Dictamen de 26 de septiembre de 2006. Disponible en:
http://ec.europa.eu/justice/policies/privacy/docs/wpdocs/2006/wp125_es.pdf#h2-10 [consulta: 25-09-2017].
- *EU Commission drives home merits of autonomous vehicles*. EURACTIV. 6 de abril de 2017. Disponible en: <http://www.euractiv.com/section/automated-vehicles/news/eu-commission-drives-home-merits-of-autonomous-vehicles/> [consulta: 15-10-2017].
- *Eureka Prometheus Project*. Disponible en:
<http://www.eurekanetwork.org/project/id/45> [consulta: 03-09-2017].
- European Technology Platform on Smart Systems Integration (EPoSS), European Roadmap – Smart Systems for Automated Driving, Berlin, abril de 2015.
- *Experiments on autonomous and automated driving: an overview 2015*. ANWB. Abril de 2015. Disponible en: https://www.anwb.nl/binaries/content/assets/anwb/pdf/over-anwb/persdienst/rapport_inventarisatie_zelfrijdende_auto.pdf [consulta: 03-09-2017].
- Foro del Transporte Internacional (OECD/ITF), *Automated and Autonomous Driving – Regulation under uncertainty*, Informe de la Junta de Asociación Corporativa, Paris, abril de 2015
- Janssen R. et al., *Truck Platooning – Driving the Future of Transportation*, TNO Mobility and Logistics, artículo científico, febrero de 2015
- Litman Todd. *Autonomous Vehicle Implementation Predictions*. Victoria Transport Policy Intitute. 8 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://www.vtpi.org/avip.pdf> [consulta: 10-10-2017].
- Parlamento Europeo, *Automated vehicles in the EU*, Instrucciones, enero de 2016.
- Sempere, Fco Javier. *e-call: Llamadas de emergencias al 112 desde el coche y protección de datos. Privacidad Lógica*. 5 de mayo de 2015. Disponible en:
<http://www.privacidadlogica.es/2015/05/05/e-call-llamadas-de-emergencias-al-112-desde-el-coche-y-proteccion-de-datos/> [consulta: 25-09-2017].
- Ruiz Fernando. *La implantación del automóvil inteligente: ¿un riesgo calculado para la seguridad global?* Documento de opinión. 1 de junio de 2017. Disponible en:

http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2017/DIEEEO60-2017_Automovil_Inteligente_FRuizDominguez.pdf [consulta: 14-10-2017].

- *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.* SAE. 30 de septiembre de 2016. Disponible en: http://standards.sae.org/j3016_201609/ [consulta: 10-09-2017].

13.2 Sitios web

- A.G. Luna, *El coche sin conductor de Google, cerca de ser una realidad: ¿pero es legal en España?* El Confidencial [blog] 4 de mayo de 2014. Disponible en: http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2014-05-04/el-coche-sin-conductor-degoogle-cerca-de-ser-una-realidad-es-legal-en-espana_124204/ [consulta: 25-09-2017].
- Bejerano, Pablo. *Reino Unido se prepara para adaptar sus normas a los coches autónomos.* Think Big. 14 de febrero de 2015. Disponible en: <http://blogthinkbig.com/reino-unido-normas-para-coches-autonomos/> [consulta: 30-09-2017].
- Bulnes, Ana. *Coches autónomos: ¿llegarán a España o se toparán con la ley?* IT Espresso. [blog] 15 de enero de 2015. Disponible en: <http://www.itespresso.es/coches-autonomos-llegaran-espana-o-se-toparan-con-la-ley-133277.html/2> [consulta: 25-09-2017].
- *California y su normativa para coches autónomos.* Coche sin conductor [blog] 2 de enero de 2015. Disponible en: <http://www.cochesinconductor.com/2015/01/california-y-su-normativa-para-coches-autonomos/> [consulta: 06-09-2017].
- Di Pietro Avezuela, Julen. *El vehículo autónomo y el comienzo de una nueva era. A un clic de las TIC.* 11 de octubre de 2013. [blog] Disponible en: <http://www.aunclicdelastic.com/test/el-vehiculo-autonomo-y-el-comienzo-de-unanueva-era/> [consulta: 06-09-2017].
- *El coche autónomo de Google podría cumplir las leyes federales de EE.UU.* movilidadeléctrica.com. 13 de febrero de 2013. Disponible en: <https://movilidadellectrica.com/el-coche-autonomo-de-google-podria-cumplir-las-leyes-federales/> [consulta: 28-10-2017].
- *Ernst Dickmans.* Wikipedia. Disponible en: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ernst_Dickmanns [consulta: 01-09-2017].
- García Pablo. *Carreteras que recargan coches eléctricos.* Blogthinkbig.com. 25 de noviembre de 2013. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/carreteras-que-recargan-coches-electricos> [consulta: 01-09-2017].

- García Pablo. *La desconocida historia de los vehículos autónomos*. Blogthinkbig.com 12 de agosto de 2013. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/historia-de-los-coches-autonomos> [consulta: 01-09-2017].
- Guías INCIBE. Instituto Nacional de Ciberseguridad. [Sitio Web] Disponible en: https://www.incibe.es/CERT/guias_estudios/guias/?p-2100638=1 [consulta: 22-09-2017].
- Gonzalez Andrés. ¿Qué es Machine Learning? [blog] Disponible en: <http://cleverdata.io/que-es-machine-learning-big-data/> [consulta: 15-09-2017].
- LIDAR. Wikipedia. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/LIDAR> [consulta: 04-09-2017].
- *New code to govern driverless car testing in the UK. Out-Law*. 11 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.out-law.com/en/articles/2015/february/new-code-to-govern-driverless-car-testing-in-the-uk/> [consulta: 30-09-2017].
- Piloto automático. Wikipedia. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Piloto_autom%C3%A1tico [consulta: 01-09-2017].
- Platooning. Wikipedia. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Platooning>. [consulta: 06-09-2017].
- Principles of Robotics – regulating robots in the real world. Engineering and physical sciences research council. Disponible en: <http://www.webcitation.org/6RJYLsU8m> [consulta: 22-09-2017].
- Radar. Wikipedia. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Radar> [consulta: 05-09-2015].
- Sistema de posicionamiento global. Wikipedia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global [consulta: 05-09-2017].
- Thrun, Sebastian. *What we're driving at*, Official Blog – Google, 9 de octubre de 2010 [blog] Disponible en: <http://googleblog.blogspot.com.au/2010/10/what-were-driving-at.html> [consulta: 05-09-2017].
- Uslé, Pablo. *Los coches autónomos a la vuelta de la esquina. Problemas legales*. El blog de Pablo Uslé. 29 de enero de 2015. Disponible en: <https://pabrousle.wordpress.com/> [consulta: 25-09-2017].
- Unidad de medición inercial. Wikipedia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_de_medici%C3%B3n_inercial [consulta: 05-09-2017].

- *Vehículo autónomo*, Wikipedia. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_aut%C3%B3nomo [consulta: 05-09-2017].
- Vilches, Javier. *Implicaciones legales del coche autónomo*. Avezalia. 20 de abril de 2015. Disponible en: <http://www.avezalia.es/implicaciones-legales-del-coche-autonomo/> [consulta: 30-09-2017].
- V. Montero. *El vehículo sin conductor acelera una revolución legal*. Expansión. [Sitio Web] 16 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://www.expansion.com/2013/12/12/juridico/1386872371.html> [consulta: 25-09- 2017].

13.3 Artículos periodísticos

- *Cuáles son los niveles de conducción autónoma*. Chiquini.mx. 12 de Julio de 2017. Disponible en: <http://chiquini.mx/cuales-los-niveles-conduccion-autonoma/> [consulta: 11-09-2017].
- *La DGT aclara cómo se probarán los coches autónomos en España*. El Confidencial. 17 de noviembre de 2015. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-11-17/espana-ya-tiene-norma-para-probar-el-coche-autonomo-pero-tardara-en-llevar-las-calles_1098793/ [consulta: 11-10-2017].
- *El plan de Estados Unidos para convertirse en el líder mundial de los coches autónomos*. El confidencial. 20 de agosto de 2016. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2016-09-20/coche-autonomo-estados-unidos_1263034/ [consulta: 15-09-2017].
- Espinosa Jessie. *Ley de Conducción Autónoma aprobada por el Comité de Energía de Estados Unidos*. Autos RPM. 27 de julio de 2017. Disponible en: <http://www.autosrpm.com/actualidad/ley-conduccion-autonoma-eua/> [consulta: 30-10-2017].
- García Felix. *El coche autónomo llevará una caja negra como la de los aviones*. Expansión. 30 de junio de 2014. Disponible en: <http://www.expansion.com/2014/06/30/empresas/motor/1404141356.html> [consulta: 30-09-2017].
- García Frías, Antonio R. *Coches autónomos ¿carreteras más seguras o un peligro en potencia?* Cinco días. 17 de julio de 2014. Disponible en: <http://search.proquest.com/docview/1545353929?pq-origsite=summon> [consulta: 22-09-2017].
- *Google consigue permiso de circulación para sus coches autónomos en California*. Tuexperto.com 23 de septiembre de 2014. Disponible en:

<http://www.tuexperto.com/2014/09/23/google-consigue-permiso-de-circulacion-parasus-coches-autonomos-en-california/> [consulta: 30-09-2017].

- *Historia de Mercedes.* AutoBild.es. Disponible en:
<https://www.autobild.es/coches/mercedes/historia> [consulta: 04-09-2017].
- Ibáñez Pablo. *Así funciona el piloto automático de los aviones (y por qué ha tardado en llegar a los coches).* 20 de febrero de 2017. Xataca. Disponible en:
<https://www.xataka.com/vehiculos/asi-funciona-el-piloto-automatico-de-los-aviones-y-por-que-ha-tardado-en-llegar-a-los-coches> [consulta: 01-09-2017].
- Ibáñez, Pablo. *De 0 a 5: cuáles son los diferentes niveles de conducción autónoma, a fondo.* Xataca. 4 de mayo de 2017. Disponible en:
<https://www.xataka.com/automovil/de-0-a-5-cuales-son-los-diferentes-niveles-de-conduccion-autonoma> [consulta: 10-09-2017].
- Ibáñez, Pablo. *¿Está preparado el mundo para el coche autónomo? Debate y situación legal por países.* 8 de abril de 2015. Xataca. Disponible en:
<https://www.xataka.com/vehiculos/asi-funciona-el-piloto-automatico-de-los-aviones-y-por-que-ha-tardado-en-llegar-a-los-coches> [consulta: 28-09-2017].
- Ortiz, Antonio. *Coches autónomos y debates éticos.* 23 de enero de 2013. Xataca. Disponible en: <http://www.xataka.com/automovil/coche-autonomo-y-debates-eticos> [consulta: 22-09-2017].
- Pastor, Javier. *¿Debería tu coche autónomo ponerte en peligro en caso de accidente si así se salvan más vidas?* 13 de mayo de 2014. Xataca. Disponible en:
<https://www.xataka.com/automovil/el-coche-del-futuro-quizas-te-sacrifique-para-salvar-vidas> [consulta: 25-09-2017].
- Pérez Leire. *Los seis niveles de clasificación de los coches autónomos.* 20minutos.es. 1 de septiembre de 2016. Disponible en:
<http://www.20minutos.es/noticia/2825372/0/clasificacion-coches-autonomos/> [consulta: 12-09-2017].
- Sanchez Cristina. *Ernst Dickmanns, el desconocido padre alemán de los coches inteligentes.* Eldiario.es. 30 de abril de 2015 Disponible en:
http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/Ernst_Dickmanns-vehiculo-autonomo-inteligente_0_382511814.html [consulta: 01-09-2017].
- Rodriguez Asis. *Legislación para los vehículos autónomos.* Diario Electrónico. 23 de diciembre de 2016. Disponible en: <https://www.diarioelectronicohoy.com/legislacion-los-vehiculos-autonomos/> [consulta: 15-09-2017].
- *The future of driverless cars in Europe.* Hitachi. Febrero de 2017. Disponible en:
<http://www.hitachi.eu/en/social-innovation-stories/transport/future-driverless-cars-europe> [consulta: 28-10-2017].

- Vigil Almudena. *¿Qué leyes habría que cambiar antes de que llegue el coche autónomo?* CincoDías. 28 de agosto de 2017. Disponible en: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2017/08/07/legal/1502093470_669276.html [consulta: 28-10-2017].

13.4 Información sobre modelos de vehículos autónomos y proyectos existentes

- Alonso Noemí. *Audi Elaine Concept, en el Salón de Frankfurt 2017.* 12 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://www.topgear.es/noticias/innovacion/audi-elaine-concept-salon-frankfurt-2017-164428> [consulta: 28-10-2017].
- Álvarez Raúl. *Este coche autónomo quiere solucionar un problema que muchos han pasado por alto: tener dónde aparcar.* Xataca. 11 de noviembre de 2017. Disponible en: <https://www.xataka.com/automovil/este-coche-autonomo-quiere-solucionar-un-problema-que-muchos-han-pasado-por-alto-tener-donde-aparcar> [consulta: 01-11-2017].
- *Applus IDIADA integrante del proyecto COMPANION.* Applus IDIADA. Disponible en: http://www.applusidiada.com/es/new/Applus_IDIADA_integrante_del_proyecto_COMPANION-1340254332569 [consulta: 01-11-2017].
- *BMW Vision Next 100 Concept.* BMW. 7 de marzo de 2016. Disponible en: <http://www.arpem.com/noticias/2016/coches/bmw/vision-next-100/presentacion-1270714-n.html> [consulta: 28-10-2017].
- Cano Vicente. *Audi A8 2017, el primer coche nivel 3 de conducción autónoma.* Autobild.es. 11 de julio de 2017. Disponible en: <https://www.autobild.es/noticias/audi-a8-2017-266451> [consulta: 28-10-2017].
- *CityMobil.* Wikipedia. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/CityMobil> [consulta: 01-11-2017].
- *CityMobil2.* Disponible en: <http://www.citymobil2.eu/en/> [consulta: 01-11-2017].
- *COMPANION Project.* Disponible en: <http://www.companion-project.eu/> [consulta: 01-11-2017].
- *Drive Me.* Volvo. Disponible en: <https://www.volvocars.com/intl/about/our-innovation-brands/intellisafe/autonomous-driving/drive-me> [consulta: 01-11-2017].
- “EcoTwin” participating in the European truck platooning challenge. DAF. 22 de marzo de 2016. Disponible en: <http://www.daf.com/en/news-and-media/articles/global/2016/q1/22032016-ecotwin-participating-in-the-european-truck-platooning-challenge> [consulta: 01-11-2017].

- *El Clase E de Mercedes-Benz, el coche más autónomo.* 20minutos.es. 13 de abril de 2016. Disponible en: <http://www.20minutos.es/noticia/2721018/0/mercedes-benz/clase-e/autonomo/> [consulta: 28-10-2017].
- Fernández Antonio. *Delphi inicia las pruebas de coches autónomos en Singapur.* Blog elmejorcoche. El 1 de agosto de 2016. Disponible en: <https://blog.elmejorcoche.com/delphi-pruebas-coches-autonomos-singapur/> [consulta: 30-10-2017].
- *Ficha técnica del Chevrolet Bolt.* Movilidadeléctrica.com. 14 de enero de 2016. Disponible en: <https://movilidadelectrica.com/ficha-tecnica-del-chevrolet-bolt/> [consulta: 29-10-2017].
- *Ford Fusion Hybrid.* Disponible en: <https://es.ford.com/cars/fusion/features/smart/> [consulta: 29-10-2017].
- *Google Waymo.* Google. Disponible en: <https://waymo.com/> [consulta: 29-10-2017].
- Guizzo, Erico. *How Google's self-driving car Works.* IEEE Spectrum. 18 de octubre de 2011[blog] Disponible en: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificialintelligence/how-google-self-driving-car-works/>
- *Martinez David.* Así es el vehículo autónomo de PSA Peugeot Citroën. Motor a fondo. 24 de noviembre de 2015. Disponible en: <https://www.motorafondo.net/vehiculo-autonomo-psa-peugeot-citroen/> [consulta: 30-10-2017].
- McCurry Justin. *Driverless robot taxis to be tested in Japanese town.* The Guardian. 5 de octubre de 2015. Disponible en: <https://www.theguardian.com/world/2015/oct/05/driverless-robot-taxis-to-be-tested-in-japanese-town> [consulta: 30-10-2017].
- *Mercedes-Benz.* Página web. Disponible en: <https://www.mercedes-benz.es/passengercars/mercedes-benz-cars/models/e-class/e-class-saloon/explore/design-intro.module.html> [consulta: 28-10-2017].
- *Nuevo Nissan Leaf.* Nissan. Disponible en: <https://www.nissan.es/vehiculos/nuevos-vehiculos/leaf-2018.html> [consulta: 29-10-2017].
- Pastor Javier. *Apple está trabajando en el coche autónomo.* Xataka. 28 de febrero de 2017. Disponible en: <https://www.xataka.com/vehiculos/apple-esta-trabajando-en-el-coche-autonomo-esta-es-la-prueba-definitiva> [consulta: 30-10-2017].
- *Renault presenta Symbioz, el coche (eléctrico) del futuro que vivirá en simbiosis con tu hogar.* Corriente Eléctrica. Disponible en: <https://corrientelectrica.renault.es/renault-presenta-symbioz/> [consulta: 28-10-2017].

- *Smart Vision EQ Concept Fortwo: urbanita eléctrico y autónomo.* Smart. 12 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://www.smart.com/es/dealers/smartcenter-cars-barcelona/es/index/dealer-news/smart-vision-eq.html> [consulta: 28-10-2017].
- *Tesla Model S.* Tesla. Disponible en: https://www.tesla.com/es_ES/models?redirect=no [consulta: 29-10-2017].
- *Tesla Model 3.* Tesla. Disponible en: https://www.tesla.com/es_ES/model3 [consulta: 29-10-2017].
- *The Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion.* Mercedes-Benz. Disponible en: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/research-vehicle-f-015-luxury-in-motion/> [consulta: 28-10-2017].
- *Valeo and Safran today signed a partnership agreement to conduct research in driving AID and autonomous vehicles.* Automotores. 5 de septiembre de 2013. Disponible en: <http://www.automotores-rev.com/valeo-safran-today-signed-partnership-agreement-conduct-research-driving-aid-autonomous-vehicles/> [consulta: 30-10-2017].
- Valero Jorge. Conoce Zoox, la start-up que quiere comercializar taxis autónomos en 2020. Hipertextual. 25 de mayo de 2015. Disponible en: <https://hipertextual.com/2015/05/zoox-taxis-autonomos> [consulta: 30-10-2017].
- Viñuela Susana. El nuevo coche autónomo de Toyota. Autobild.es. 9 de marzo de 2017. Disponible en: <https://www.autobild.es/noticias/nuevo-coche-autonomo-toyota-314309> [consulta: 30-10-2017].



SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE

J3016™

SEP2016

Issued 2014-01
Revised 2016-09

Superseding J3016 JAN2014

(R) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems
for On-Road Motor Vehicles

RATIONALE

This Recommended Practice provides a taxonomy describing the full range of levels of *driving automation* in on-road *motor vehicles* and includes functional definitions for advanced levels of *driving automation* and related terms and definitions. This Recommended Practice does not provide specifications, or otherwise impose requirements on, *driving automation systems*. Standardizing levels of *driving automation* and supporting terms serves several purposes, including:

- Clarifying the role of the (human) *driver*, if any, during *driving automation system* engagement.
- Answering questions of scope when it comes to developing laws, policies, regulations, and standards.
- Providing a useful framework for *driving automation* specifications and technical requirements.
- Providing clarity and stability in communications on the topic of *driving automation*, as well as a useful short-hand that saves considerable time and effort.

This document has been developed according to the following guiding principles, namely, it should:

- Be descriptive and informative rather than normative.
- Provide functional definitions.
- Be consistent with current industry practice.
- Be consistent with prior art to the extent practicable.
- Be useful across disciplines, including engineering, law, media, public discourse.
- Be clear and cogent and, as such, it should avoid or define ambiguous terms.

The current revision contains updates that reflect lessons learned from various stakeholder discussions, as well as from research projects conducted in Europe and the United States by the AdaptIVe Consortium and by the Crash Avoidance Metrics Partnership (CAMP) Automated Vehicle Research (AVR) Consortium, respectively.

SAE Technical Standards Board Rules provide that: "This report is published by SAE to advance the state of technical and engineering sciences. The use of this report is entirely voluntary, and its applicability and suitability for any particular use, including any patent infringement arising therefrom, is the sole responsibility of the user."

SAE reviews each technical report at least every five years at which time it may be revised, reaffirmed, stabilized, or cancelled. SAE invites your written comments and suggestions.

Copyright © 2016 SAE International

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of SAE. SAE hereby grants a limited, royalty free license to any interested person or entity to print or download from the SAE International website, and then store and display, a single copy of this publication in paper form or in electronic form on a website, computer, or e-room for reference, reading or review by any interested person or entity provided this notice appears on the publication and the publication cannot be, or is prohibited from being, removed, recorded, copied, downloaded, printed, or transmitted.

TO PLACE A DOCUMENT ORDER: Tel: 877-606-7323 (inside USA and Canada)

Tel: +1 724-776-4970 (outside USA)

Fax: 724-776-0790

Email: CustomerService@sae.org

SAE WEB ADDRESS:

<http://www.sae.org>

**SAE values your input. To provide feedback
on this Technical Report, please visit**

http://standards.sae.org/J3016_201609

These revisions, while substantial, preserve the original SAE J3016:JAN2014 level names, numbers, and functional distinctions, as well as the supporting terms. However, this version of J3016:

- Clarifies and rationalizes taxonomical differentiator(s) for lower levels (levels 0-2).
- Clarifies the scope of the J3016 *driving automation* taxonomy (i.e., explains to what it does and does not apply).
- Modifies existing, and adds new, supporting terms and definitions.
- Adds more rationale, examples, and explanatory text throughout.

Italicized terms used in this Recommended Practice are also defined herein.

1. SCOPE

This Recommended Practice provides a taxonomy for motor vehicle *driving automation systems* that perform part or all of the *dynamic driving task (DDT)* on a *sustained* basis and that range in level from *no driving automation* (level 0) to *full driving automation* (level 5). It provides detailed definitions for these six levels of *driving automation* in the context of *motor vehicles* (hereafter also referred to as “*vehicle*” or “*vehicles*”) and their *operation* on roadways. These level definitions, along with additional supporting terms and definitions provided herein, can be used to describe the full range of *driving automation features* equipped on *motor vehicles* in a functionally consistent and coherent manner. “On-road” refers to publicly accessible roadways (including parking areas and private campuses that permit public access) that collectively serve users of *vehicles* of all classes and *driving automation* levels (including *no driving automation*), as well as motorcyclists, pedal cyclists, and pedestrians.

The levels apply to the *driving automation feature(s)* that are engaged in any given instance of on-road *operation* of an equipped *vehicle*. As such, although a given *vehicle* may be equipped with a *driving automation system* that is capable of delivering multiple *driving automation features* that perform at different levels, the level of *driving automation* exhibited in any given instance is determined by the *feature(s)* that are engaged.

This document also refers to three primary actors in *driving*: the (human) *driver*, the *driving automation system*, and other *vehicle* systems and components. These other *vehicle* systems (or the *vehicle* in general terms) do not include the *driving automation system* in this model, even though as a practical matter a *driving automation system* may actually share hardware and software components with other *vehicle* systems, such as a processing module(s) or operating code.

The levels of *driving automation* are defined by reference to the specific role played by each of the three primary actors in performance of the *DDT*. “Role” in this context refers to the expected role of a given primary actor, based on the design of the *driving automation system* in question and not necessarily to the actual performance of a given primary actor. For example, a *driver* who fails to *monitor* the roadway during engagement of a level 1 adaptive cruise control (ACC) system still has the role of *driver*, even while s/he is neglecting it.

Active safety systems, such as electronic stability control and automated emergency braking, and certain types of driver assistance systems, such as lane keeping assistance, are excluded from the scope of this *driving automation* taxonomy because they do not perform part or all of the *DDT* on a *sustained* basis and, rather, merely provide momentary intervention during potentially hazardous situations. Due to the momentary nature of the actions of *active safety systems*, their intervention does not change or eliminate the role of the *driver* in performing part or all of the *DDT*, and thus are not considered to be *driving automation*.

It should, however, be noted that crash avoidance features, including intervention-type *active safety systems*, may be included in *vehicles* equipped with *driving automation systems* at any level. For *ADS*-equipped *vehicles* (i.e., levels 3-5) that perform the complete *DDT*, crash avoidance capability is part of *ADS* functionality.

2. REFERENCES

The following publications form a part of this specification to the extent specified herein. Unless otherwise indicated, the latest issue of SAE publications shall apply.

2.1 Applicable Documents

J670 Vehicle Dynamics Terminology (J670:JAN2008).

J3063 Active Safety Systems Terms & Definitions (J3063:NOV2015).

49 U.S.C. § 30102(a)(6) (definition of motor vehicle).

Gasser, Tom et al. "Legal consequences of an increase in vehicle automation", July 23, 2013, available at http://bast.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/723/pdf/Legal_consequences_of_an_increase_in_vehicle_automation.pdf.

Michon, J.A., 1985. A CRITICAL VIEW OF DRIVER BEHAVIOR MODELS: WHAT DO WE KNOW, WHAT SHOULD WE DO? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.). Human behavior and traffic safety (pp. 485-520). New York: Plenum Press, 1985.

Crash Avoidance Metrics Partnership – Automated Vehicle Research Consortium, "Automated Vehicle Research for Enhanced Safety – Final Report," (in publication).

National Highway Traffic Safety Administration. "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles," May 30, 2013, available at <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>.

Smith, Bryant Walker. Engineers and Lawyers Should Speak the Same Robot Language, in ROBOT LAW (2015), available at <https://newlypossible.org>.

3. DEFINITIONS

3.1 ACTIVE SAFETY SYSTEM (SAE J3063:NOV2015)

Active safety systems are vehicle systems that sense and monitor conditions inside and outside the vehicle for the purpose of identifying perceived present and potential dangers to the vehicle, occupants, and/or other road users, and automatically intervene to help avoid or mitigate potential collisions via various methods, including alerts to the driver, vehicle system adjustments, and/or active control of the vehicle subsystems (brakes, throttle, suspension, etc.).

NOTE: For purposes of this report, systems that meet the definition of active safety systems are considered to have a design purpose that is primarily focused on improving safety rather than comfort, convenience or general driver assistance. Active safety systems warn or intervene during a high risk event or maneuver.

3.2 AUTOMATED DRIVING SYSTEM (ADS)

The hardware and software that are collectively capable of performing the entire *DDT* on a *sustained* basis, regardless of whether it is limited to a specific *operational design domain (ODD)*; this term is used specifically to describe a level 3, 4, or 5 *driving automation system*.

NOTE: In contrast to *ADS*, the generic term "*driving automation system*" (see 3.5) refers to any level 1-5 *system* or *feature* that performs part or all of the *DDT* on a *sustained* basis. Given the similarity between the generic term, "*driving automation system*," and the level 3-5-specific term, "*Automated Driving System*," the latter term should be capitalized when spelled out and reduced to its acronym, *ADS*, as much as possible, while the former term should not be.

3.3 ADS-DEDICATED VEHICLE (ADS-DV)

A *vehicle* designed to be *operated* exclusively by a level 4 or level 5 *ADS* for all *trips*.

NOTE 1: An *ADS-DV* is a truly “driverless” *vehicle*. However, the term “driverless vehicle” is not used herein because it has been, and continues to be, widely misused to refer to any *vehicle* equipped with a *driving automation system*, even if that *system* is not capable of always performing the entire *DDT* and thus involves a (human) *driver* for part of a given *trip*. This is the only category of *ADS-operated vehicle* that requires neither a *conventional* nor *remote driver* during routine *operation*.

NOTE 2: An *ADS-DV* might be designed without *user interfaces*, such as braking, accelerating, steering, and transmission gear selection input devices designed to be operable by a human *driver*.

NOTE 3: A level 4 *ADS-DV* by design does not *operate* outside of its *ODD* (subject to note 4 below).

NOTE 4: *ADS-DVs* might be *operated* temporarily by a *conventional* or *remote driver*: 1) to manage transient deviations from the *ODD*, 2) to address a *system failure* or 3) while in a mar shalling yard before being *dispatched*.

EXAMPLE 1: A level 4 *ADS-DV* designed to *operate* exclusively within a corporate campus where it picks up and discharges *passengers* along a specific route specified by the *ADS-DV dispatcher*.

EXAMPLE 2: A level 4 *ADS-DV* designed to *operate* exclusively within a geographically prescribed central business district where it delivers parts and supplies using roads (but not necessarily routes) specified by the *ADS-DV dispatcher*.

EXAMPLE 3: A level 5 *ADS-DV* capable of *operating* on all roads that are navigable by a human *driver*. The *user* simply inputs a destination, and the *ADS-DV* automatically navigates to that destination.

3.4 DRIVING AUTOMATION

The performance of part or all of the *DDT* on a *sustained* basis.

3.5 DRIVING AUTOMATION SYSTEM or TECHNOLOGY

The hardware and software that are collectively capable of performing part or all of the *DDT* on a *sustained* basis; this term is used generically to describe any system capable of level 1-5 *driving automation*.

NOTE: In contrast to this generic term for any level 1-5 system, the specific term for a level 3-5 system is “*Automated Driving System (ADS)*.” Given the similarity between the generic term, “*driving automation system*,” and the level 3-5-specific term, “*Automated Driving System*,” the latter term should be capitalized when spelled out and reduced to its acronym, *ADS*, as much as possible, while the former term should not be. (See 3.2)

3.6 [DRIVING AUTOMATION SYSTEM] FEATURE or APPLICATION

A *driving automation system*’s design-specific functionality at a specific level of *driving automation* within a particular *ODD*.

NOTE 1: A given *driving automation system* may have multiple *features*, each associated with a particular level of *driving automation* and *ODD*.

NOTE 2: Each *feature* satisfies a *usage specification*.

NOTE 3: *Features* may be referred to by generic names (e.g., automated parking) or by proprietary names.

EXAMPLE 1: A level 3 *ADS feature* that performs the *DDT*, excluding *DDT fallback*, in high-volume traffic on fully access-controlled freeways.

EXAMPLE 2: A level 4 *ADS feature* that performs the *DDT*, including *DDT fallback*, in a specified geo-fenced urban center.

3.7 DRIVING MODE

A type of *vehicle operation* with characteristic *DDT* requirements (e.g., expressway merging, high-speed cruising, low-speed traffic jam, etc.).

NOTE: In the previous version of this document, the term *driving mode* was used more extensively. In this updated version, *operational design domain* is the preferred term for many of these uses.

3.8 DYNAMIC DRIVING TASK (DDT)

All of the real-time operational and tactical functions required to *operate a vehicle* in on-road traffic, excluding the strategic functions such as *trip* scheduling and selection of destinations and waypoints, and including without limitation:

1. Lateral vehicle motion control via steering (operational);
2. Longitudinal vehicle motion control via acceleration and deceleration (operational);
3. Monitoring the driving environment via object and event detection, recognition, classification, and response preparation (operational and tactical)
4. Object and event response execution (operational and tactical);
5. Maneuver planning (tactical); and
6. Enhancing conspicuity via lighting, signaling and gesturing, etc. (tactical).

NOTE 1: For simplification and to provide a useful shorthand term, subtasks (3) and (4) are referred to collectively as *object and event detection and response (OEDR)* (see 3.15).

NOTE 2: In this document, reference is made to “complete(ing) the *DDT*.” This means fully performing all of the subtasks of the *DDT*, whether by the (human) *driver*, by the *driving automation system*, or by both.

NOTE 3: Figure 1 displays a schematic view of the driving task. For more information on the differences between operational, tactical, and strategic functions of driving, see 8.4.

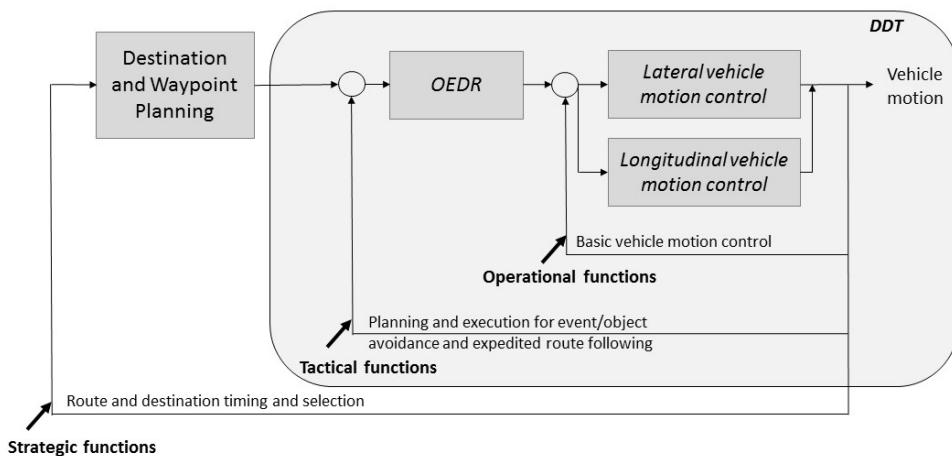


Figure 1 - Schematic view of driving task showing DDT portion

For purposes of *DDT* performance, level 1 encompasses automation of part of the innermost loop (i.e., either *lateral vehicle motion control* functionality or *longitudinal vehicle motion control* functionality and limited OEDR associated with the given axis of *vehicle motion control*); level 2 encompasses automation of the innermost loop (*lateral and longitudinal vehicle motion control* and limited OEDR associated with *vehicle motion control*), and levels 3-5 encompass automation of both inner loops (*lateral and longitudinal vehicle motion control and complete OEDR*). Note that *DDT* performance does not include strategic aspects of driving (e.g., determining whether, when and where to travel).

3.9 [DYNAMIC DRIVING TASK (DDT)] FALBACK

The response by the *user* or by an *ADS* to either perform the *DDT* or achieve a *minimal risk condition* after occurrence of a *DDT performance-relevant system failure(s)* or upon *ODD* exit.

NOTE 1: The *DDT* and the *DDT fallback* are distinct functions, and the capability to perform one does not necessarily entail the ability to perform the other. Thus, a level 3 *ADS*, which is capable of performing the entire *DDT* within its *operational design domain (ODD)*, may not be capable of performing the *DDT fallback* in all situations that require it and thus will issue a *request to intervene* to the *DDT fallback-ready user* when necessary.

NOTE 2: At level 3, an *ADS* is capable of continuing to perform the *DDT* for at least several seconds after providing the *fallback-ready user* with a *request to intervene*. The *DDT fallback-ready user* is then expected to achieve a *minimal risk condition* if s/he determines it to be necessary.

NOTE 3: At levels 4 and 5, the *ADS* must be capable of performing the *DDT fallback*, as well as achieving a *minimal risk condition*. Level 4 and 5 *ADS*-equipped *vehicles* that are designed to also accommodate *operation* by a *driver* (whether *conventional* or *remote*) may allow a *user* to perform the *DDT fallback* if s/he chooses to do so. However, a level 4 or 5 *ADS* need not be designed to allow a *user* to perform *DDT fallback* and, indeed, may be designed to disallow it in order to reduce crash risk (see 8.3).

NOTE 4: While a level 4 or 5 *ADS* is performing the *DDT fallback*, it may be limited by design in speed and/or range of *lateral and/or longitudinal vehicle motion control* (i.e., it may enter so-called “limp-home mode”).

EXAMPLE 1: A level 1 adaptive cruise control (ACC) *feature* experiences a *system failure* that causes the *feature* to stop performing its intended function. The human *driver* performs the *DDT fallback* by resuming performance of the complete *DDT*.

EXAMPLE 2: A level 3 *ADS feature* that performs the entire *DDT* during traffic jams on freeways is not able to do so when it encounters a crash scene and therefore issues a *request to intervene* to the *DDT fallback-ready user*. S/he responds by taking over performance of the entire *DDT* in order to maneuver around the crash scene. (Note that in this example, a *minimal risk condition* is not needed or achieved.)

EXAMPLE 3: A level 4 *ADS-dedicated vehicle (ADS-DV)* that performs the entire *DDT* within a geo-fenced city center experiences a *DDT performance-relevant system failure*. In response, the *ADS-DV* performs the *DDT fallback* by turning on the hazard flashers, maneuvering the *vehicle* to the road shoulder and parking it, before automatically summoning emergency assistance. (Note that in this example, the *ADS-DV* automatically achieves a *minimal risk condition*.)

The following Figures 2 through 6 illustrate *DDT fallback* at various levels of *driving automation*.

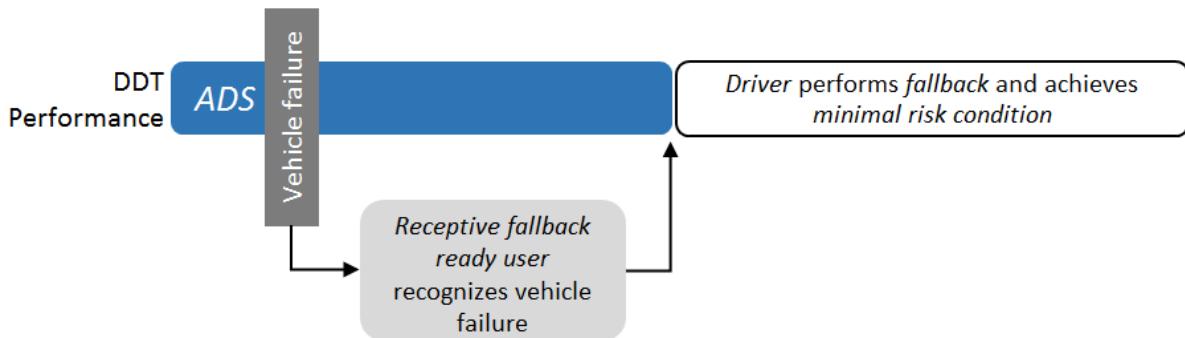


Figure 2 - Use case sequence at Level 3 showing ADS engaged, a vehicle failure and the user resuming control

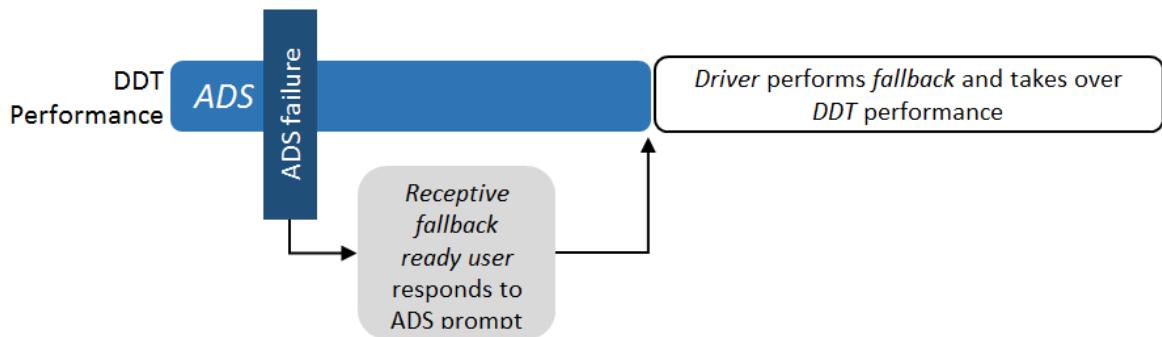


Figure 3 - Use case sequence at Level 3 showing ADS engaged, and ADS failure and the user resuming control

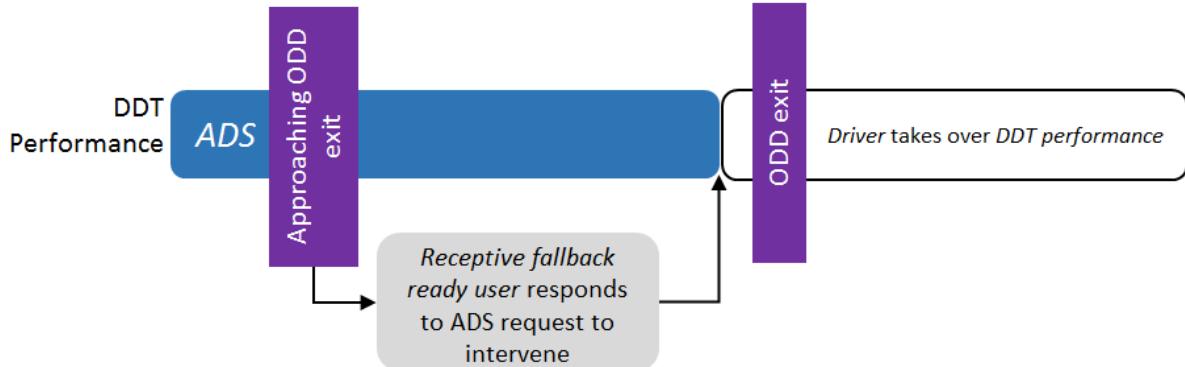


Figure 4 - Use case sequence at Level 3 showing ADS engaged, exiting the ODD and the user resuming control

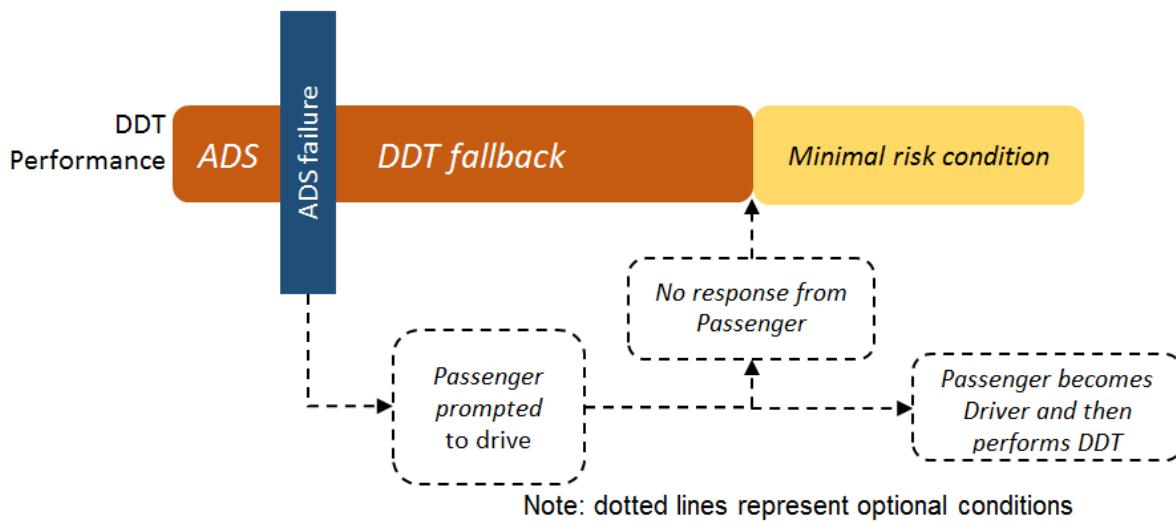


Figure 5 - Use case sequence at Level 4 showing ADS engaged, an ADS failure and the system achieving a minimal risk condition

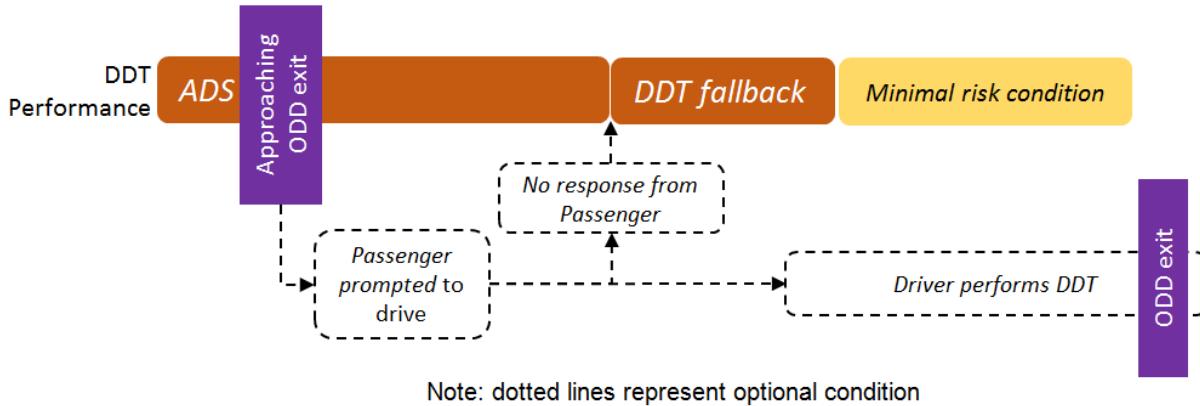


Figure 6 - Use case sequence at Level 4 showing ADS engaged, approaching ODD exit and the system achieving a minimal risk condition

3.10 LATERAL VEHICLE MOTION CONTROL

The *DDT* subtask comprising the activities necessary for the real-time, *sustained* regulation of the y-axis component of *vehicle* motion.

NOTE: *Lateral vehicle motion control* includes the detection of the *vehicle* positioning relative to lane boundaries and application of steering and/or differential braking inputs to maintain appropriate lateral positioning.

3.11 LONGITUDINAL VEHICLE MOTION CONTROL

The *DDT* subtask comprising the activities necessary for the real-time, *sustained* regulation of the x-axis component of *vehicle* motion.

NOTE: *Longitudinal vehicle motion control* includes maintaining set speed as well as detecting a preceding *vehicle* in the path of the subject *vehicle*, maintaining an appropriate gap to the preceding *vehicle* and applying propulsion or braking inputs to cause the *vehicle* to maintain that speed or gap.

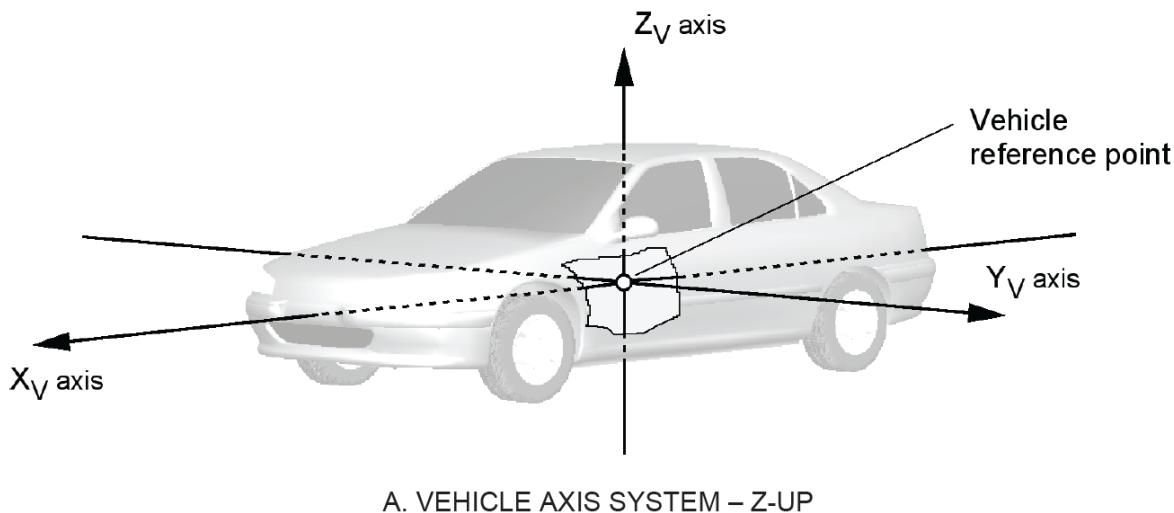


Figure 7 - Diagram showing vehicle axes of motion (SAE J670:JAN2008)

3.12 MINIMAL RISK CONDITION

A condition to which a *user* or an *ADS* may bring a *vehicle* after performing the *DDT fallback* in order to reduce the risk of a crash when a given *trip* cannot or should not be completed.

NOTE 1: At levels 1 and 2, the *driver* may or may not achieve a *minimal risk condition* in response to a *vehicle fault condition* or *driving automation system failure*.

NOTE 2: At level 3, given a *DDT performance-relevant system failure* in the *ADS* or *vehicle*, the *DDT fallback-ready user* is expected to achieve a *minimal risk condition* when s/he determines that it is necessary.

NOTE 3: At levels 4 and 5, the *ADS* is capable of automatically achieving a *minimal risk condition* when necessary (i.e., due to *ODD exit*, if applicable, or a *DDT performance-relevant system failure* in the *ADS* or *vehicle*). The characteristics of automated achievement of a *minimal risk condition* at levels 4 and 5 will vary according to the type and extent of the *system failure*, the *ODD* (if any) for the *ADS feature* in question, and the particular *operating conditions* when the *system failure* or *ODD exit* occurs. It may entail automatically bringing the *vehicle* to a stop within its current travel path, or it may entail a more extensive maneuver designed to remove the *vehicle* from an active lane of traffic and/or to automatically return the *vehicle* to a *dispatching facility*.

EXAMPLE 1: A level 2 *driving automation system feature* that allows a *user* to stand outside of the *vehicle* and initiate an automated parking maneuver via wireless device automatically brings the *vehicle* to a stop within its current travel path when it experiences a *DDT performance-relevant system failure*.

EXAMPLE 2: A level 4 *ADS feature* designed to *operate a vehicle* at high speeds on freeways experiences a *DDT performance-relevant system failure* and automatically removes the *vehicle* from the active lane of traffic before coming to a stop.

EXAMPLE 3: A level 4 *ADS feature* designed to *operate a vehicle* at high speeds on freeways receives a request by a *passenger* to stop and automatically removes the *vehicle* from the active lane of traffic before coming to a stop.

EXAMPLE 4: A vehicle in which a level 4 *ADS* is installed experiences a *DDT performance-relevant system failure* in its primary electrical power system. The *ADS* utilizes a backup power source in order to achieve a *minimal risk condition*.

3.13 (DDT PERFORMANCE-RELEVANT) SYSTEM FAILURE

A malfunction in a *driving automation system* and/or other *vehicle* system that prevents the *driving automation system* from reliably *sustaining DDT* performance (partial or complete).

NOTE 1: This definition applies to *vehicle* fault conditions and *driving automation system failures* that prevent a *driving automation system* from performing at full capability according to design intention.

NOTE 2: This term does not apply to transient lapses in performance by a level 1 or 2 *driving automation system* that are due to inherent design limitations and that do not otherwise prevent the *system* from performing its part of the *DDT* on a *sustained* basis.

EXAMPLE 1: A level 1 *driving automation system* that performs the *lateral vehicle motion control* subtask of the *DDT* experiences a *DDT performance-relevant system failure* in one of its cameras, which prevents it from reliably detecting lane markings. The *feature* causes a malfunction indication message to be displayed in the center console at the same time that the *feature* automatically dis-engages, requiring the *driver* to immediately resume performing the *lateral vehicle motion control* subtask of the *DDT*.

EXAMPLE 2: A level 3 *ADS* experiences a *DDT performance-relevant system failure* in one of its radar sensors, which prevents it from reliably detecting objects in the *vehicle's pathway*. The *ADS* responds by issuing a *request to intervene* to the *DDT fallback-ready user*. The *ADS* continues to perform the *DDT*, while reducing vehicle speed, for several seconds to allow time for the *DDT fallback-ready user* to resume *operation* of the *vehicle* in an orderly manner.

EXAMPLE 3: A vehicle with an engaged level 3 *ADS* experiences a broken tie rod, which causes the vehicle to handle very poorly giving the *fallback-ready user* ample kinesthetic feedback indicating a vehicle malfunction necessitating intervention. The *fallback-ready user* responds by resuming the *DDT*, turning on the hazard lamps, and pulling the vehicle onto the closest road shoulder, thereby achieving a minimal risk condition.

EXAMPLE 4: A level 4 *ADS* experiences a *DDT performance-relevant system failure* in one of its computing modules. The *ADS* transitions to *DDT fallback* by engaging a redundant computing module(s) to achieve a *minimal risk condition*.

3.14 MONITOR

A general term referencing a range of functions involving real-time human or machine sensing and processing of data used to *operate a vehicle*, or to support its *operation*.

NOTE 1: The terms below describing types of *monitoring* should be used when the general term “*monitor*” and its derivatives are insufficiently precise.

NOTE 2: The following four terms (1 – *monitor the driver*, 2 – *monitor the driving environment*, 3 – *monitor vehicle performance*, and 4 – *monitor driving automation system performance*) describe categories of *monitoring* (see Scope regarding primary actors).

NOTE 3: The *driver state* or condition of being *receptive* to alerts or other indicators of a *DDT performance-relevant system failure*, as assumed in level 3, is not a form of *monitoring*. The difference between *receptivity* and *monitoring* is best illustrated by example: A person who becomes aware of a fire alarm or a telephone ringing may not necessarily have been *monitoring* the fire alarm or the telephone. Likewise, a *user* who becomes aware of a trailer hitch falling off may not necessarily have been *monitoring* the trailer hitch. By contrast, a *driver* in a vehicle with an active level 1 ACC system is expected to *monitor* the driving environment and the ACC performance and otherwise not to wait for an alert to draw his/her attention to a situation requiring a response. See 3.18 below.

3.14.1 MONITOR THE USER

The activities and/or automated routines designed to assess whether and to what degree the *user* is performing the role specified for him/her.

NOTE 1: *User monitoring* in the context of *driving automation* is most likely to be deployed as a countermeasure for misuse or abuse (including over-reliance due to complacency) of a *driving automation system*, but may also be used for other purposes.

NOTE 2: *User monitoring* is primarily useful for levels 2 and 3, as below these levels evidence from the field has not identified significant incidence of misuse or abuse of driving automation technology, and above these levels the *ADS* is always capable of achieving a *minimal risk condition* automatically, so *user misuse/abuse* is not relevant.

3.14.2 MONITOR THE DRIVING ENVIRONMENT

The activities and/or automated routines that accomplish real-time roadway environmental object and event detection, recognition, classification, and response preparation (excluding actual response), as needed to *operate a vehicle*.

NOTE: When *operating conventional vehicles* that are not equipped with an engaged *ADS*, *drivers* visually sample the road scene sufficiently to competently perform the *DDT* while also performing secondary tasks that require short periods of eyes-off-road time (e.g., adjusting cabin comfort settings, scanning road signs, tuning a radio, etc.). Thus, *monitoring the driving environment* does not necessarily entail continuous eyes-on-road time by the *driver*.

3.14.3 MONITOR VEHICLE PERFORMANCE (FOR DDT PERFORMANCE-RELEVANT SYSTEM FAILURES)

The activities and/or automated routines that accomplish real-time evaluation of the *vehicle* performance, and response preparation, as needed to *operate a vehicle*.

NOTE: While performing the *DDT*, level 4 and 5 *ADSs monitor vehicle performance*. However, for level 3 *ADSs*, as well as for level 1 and 2 *driving automation systems*, the human *driver* is assumed to be *receptive* to *vehicle* conditions that adversely affect performance of the *DDT* (see definition of *receptivity* at 3.18).

EXAMPLE 1: While a level 2 *driving automation system* is engaged in stop-and-go traffic, a malfunctioning brake caliper causes the *vehicle* to pull slightly to the left when the brakes are applied. The human *driver* observes that the *vehicle* is deviating from its lane and either corrects the *vehicle's* lateral position or disengages the *driving automation system* entirely.

EXAMPLE 2: While a level 4 *ADS* is engaged in stop-and-go traffic, a malfunctioning brake caliper causes the vehicle to pull to the left when the brakes are applied. The *ADS* recognizes this deviation, corrects the *vehicle's* lateral position and transitions to a limp-home mode until the *vehicle* achieves a minimal risk condition.

3.14.4 MONITOR DRIVING AUTOMATION SYSTEM PERFORMANCE

The activities and/or automated routines for evaluating whether the *driving automation system* is performing part or all of the *DDT* appropriately.

NOTE 1: The term *monitor driving automation system performance* should not be used in lieu of *supervise*, which includes both *monitoring* and responding as needed to perform the *DDT* and is therefore more comprehensive.

NOTE 2: Recognizing *requests to intervene* issued by a *driving automation system* is not a form of *monitoring driving automation system performance*, but rather a form of *receptivity*.

NOTE 3: At levels 1-2, the *driver monitors* the *driving automation system's* performance .

NOTE 4: At higher levels of *driving automation* (levels 3-5), the *ADS monitors* its own performance of the complete *DDT*.

EXAMPLE 1: A *conventional driver* verifies that an engaged ACC system is maintaining an appropriate gap while following a preceding *vehicle* in a curve.

EXAMPLE 2: A *remote driver* engaging a level 2 automated parking *feature monitors* the pathway of the *vehicle* to ensure that it is free of pedestrians and obstacles.

3.15 OBJECT AND EVENT DETECTION AND RESPONSE (OEDR)

The subtasks of the *DDT* that include *monitoring the driving environment* (detecting, recognizing, and classifying objects and events and preparing to respond as needed) and executing an appropriate response to such objects and events (i.e., as needed to complete the *DDT* and/or *DDT fallback*).

3.16 OPERATE [A MOTOR VEHICLE]

Collectively, the activities performed by a (human) *driver* (with or without support from one or more level 1 or 2 driving automation features) or by an *ADS* (level 3-5) to perform the entire *DDT* for a given *vehicle* during a *trip*.

NOTE 1: The term “drive” is not used in this document, however, in many cases it could be used correctly in lieu of “operate.”

NOTE 2: Although use of the term *operate/operating* implies the existence of an “operator,” this term is not defined or used in this document, which otherwise provides very specific terms and definitions for the various types of *ADS-equipped vehicle users* (see 3.24).

3.17 OPERATIONAL DESIGN DOMAIN (ODD)

The specific conditions under which a given *driving automation system* or *feature* thereof is designed to function, including, but not limited to, *driving modes*.

NOTE 1: An *ODD* may include geographic, roadway, environmental, traffic, speed, and/or temporal limitations. A given *ADS* may be designed to *operate*, for example, only within a geographically-defined military base, only under 25 mph, and/or only in daylight.

NOTE 2: An *ODD* may include one or more *driving modes*. For example, a given *ADS* may be designed to *operate* a *vehicle* only on fully access-controlled freeways and in low-speed traffic, high-speed traffic, or in both of these *driving modes*.

NOTE 3: In the previous version of this document, the term *driving mode* was used more extensively. In this updated version, *ODD* is the preferred term for many of these uses.

NOTE 4: Section 6 discusses the significance of *ODDs* in the context of the levels of *driving automation*.

3.18 RECEPΤIVITY (OF THE USER)

An aspect of consciousness characterized by a person’s ability to reliably and appropriately focus his/her attention in response to a stimulus.

NOTE 1: In level 0-2 *driving automation*, the *driver* is expected to be *receptive* to evident vehicle *system failures*, such as a broken tie rod.

NOTE 2: In level 3 *driving automation*, a *DDT fallback-ready user* is considered to be *receptive* to a *request to intervene* and/or to an evident *vehicle system failure*, whether or not the *ADS* issues a *request to intervene* as a result of such a *vehicle system failure*.

NOTE 3: *Monitoring* includes *receptivity*.

EXAMPLE 1: While a level 3 *ADS* is performing the *DDT* in stop-and-go traffic, the left-front tie rod breaks. The *DDT fallback-ready user* feels that the *vehicle* has pulled dramatically to the left and intervenes in order to move the *vehicle* onto the road shoulder.

EXAMPLE 2: While a level 3 *ADS* is performing the *DDT* on a free-flowing highway, the left side mirror glass falls out of the housing. The *DDT fallback-ready user*, while *receptive*, does not and is not expected to notice this failure, because it is not apparent.

3.19 REQUEST TO INTERVENE

Notification by an *ADS* to a *driver* indicating that s/he should promptly perform the *DDT fallback*.

3.20 SUPERVISE (DRIVING AUTOMATION SYSTEM PERFORMANCE)

The *driver* activities, performed while *operating a vehicle* with an engaged level 1 or 2 *driving automation system*, to *monitor the driving automation system's performance*, respond to inappropriate actions taken by that system, and to otherwise complete the *DDT*.

EXAMPLE: A *driver* notices that an engaged adaptive cruise control (ACC) system is not maintaining headway to a preceding *vehicle* in a curve and brakes accordingly.

3.21 SUSTAINED (OPERATION OF A VEHICLE)

Performance of part or all of the *DDT* both between and across external events, including responding to external events and continuing performance of part or all of the *DDT* in the absence of external events.

NOTE 1: External events are situations in the driving environment that necessitate a response by a *driver* or *driving automation system* (e.g., other *vehicles*, lane markings, traffic signs).

NOTE 2: *Sustained* performance of part or all of the *DDT* by a *driving automation system* changes the *user's role*. (See Scope for discussion of roles.) By contrast, an automated intervention that is not *sustained* according to this definition does not qualify as *driving automation*. Hence, systems that provide momentary intervention in *lateral* and/or *longitudinal vehicle motion control* but do not perform any part of the *DDT* on a *sustained* basis (e.g., anti-lock brake systems, electronic stability control, automated emergency braking) are not classifiable (other than at level 0) under the J3016 taxonomy.

NOTE 3: Conventional cruise control does not provide *sustained operation* because it does not respond to external events. It is therefore also not classifiable (other than at level 0) under the J3016 taxonomy.

3.22 TRIP

The traversal of an entire travel pathway by a *vehicle* from the point of origin to a destination.

NOTE: Performance of the *DDT* during a given *trip* may be accomplished in whole or in part by a *driver*, *driving automation system*, or both.

3.23 USAGE SPECIFICATION

A particular level of *driving automation* within a particular *ODD*.

EXAMPLE 1: Level 3 *driving automation* in high-volume traffic on designated fully access-controlled freeways.

EXAMPLE 2: Level 4 *driving automation* in designated urban centers.

NOTE 1: Each *feature* satisfies a *usage specification*.

3.24 (HUMAN) USER

A general term referencing the human role in *driving automation*.

NOTE 1: The following four terms (1 – *driver*, 2 – *passenger*, 3 – *DDT fallback-ready user*, and 4 - *dispatcher*) describe categories of (human) users.

NOTE 2: These human categories define roles that do not overlap and may be performed in varying sequences during a given *trip*.

3.24.1 DRIVER

A *user* who performs in real-time part or all of the *DDT* and/or *DDT fallback* for a particular *vehicle*.

NOTE: In a *vehicle* equipped with a *driving automation system*, a *driver* may assume or resume performance of part or all of the *DDT* from the *driving automation system* during a given *trip*.

3.24.1.1 (CONVENTIONAL) DRIVER

A *driver* who manually exercises *in-vehicle* braking, accelerating, steering, and transmission gear selection input devices in order to *operate a vehicle*.

NOTE: A *conventional driver* is assumed to be seated in what is normally referred to as “the *driver’s seat*” in automotive contexts, which is a unique seating position that makes *in-vehicle* input devices (steering wheel, brake and accelerator pedals, gear shift) accessible to a (human) *driver*.

3.24.1.2 REMOTE DRIVER

A *driver* who is not seated in a position to manually exercise *in-vehicle* braking, accelerating, steering, and transmission gear selection input devices (if any) but is able to *operate the vehicle*.

NOTE 1: A *remote driver* can include a *user* who is within the *vehicle*, within line of sight of the *vehicle*, or beyond line of sight of the *vehicle*.

NOTE 2: A *remote driver* is not the same as a *dispatcher* (see 3.24.4), although a *dispatcher* may become a *remote driver* if s/he has the means to *operate the vehicle* remotely.

NOTE 3: A *remote driver* does not include a person who merely creates driving-relevant conditions that are sensed by, or communicated to, the *ADS* (e.g., a police officer who announces over a loudspeaker that a particular stop sign should be ignored; another *driver* who flashes her head lamps to encourage overtaking, or a pedestrian using a DSRC system to announce her presence).

EXAMPLE 1: A level 2 automated parking *feature* allows the *remote driver* to exit the *vehicle* near an intended parking space and to cause the *vehicle* to move into the parking space automatically by pressing and holding a special button on the key fob, while s/he is *monitoring the driving environment* to ensure that no one and nothing enters the *vehicle* pathway during the parking maneuver. If, during the maneuver, a dog enters the pathway of the *vehicle*, the *remote driver* releases the button on the key fob in order to cause the *vehicle* to stop automatically. (Note that the *remote driver* in this level 2 example completes the *OEDR* subtask of the *DDT* during the parking maneuver.)

EXAMPLE 2: This example is identical to Example 1, except that the *remote driver* is sitting in the back seat, rather than standing outside the *vehicle*.

EXAMPLE 3: A level 4 closed campus delivery *vehicle* that has experienced a *DDT performance-relevant system failure*, which forced it to resort to a *minimal risk condition* by parking on the side of a campus roadway, is returned to its designated mar shalling yard by a *remote driver* who is able to *operate the vehicle* using wireless means.

3.24.2 PASSENGER

A *user* in a *vehicle* who has no role in the *operation* of that *vehicle*.

NOTE: A *passenger* cannot be remote to the *vehicle* in which s/he is a *passenger*.

EXAMPLE 1: The person seated in the *driver's seat* of a *vehicle* equipped with a level 4 *ADS feature* designed to automate high-speed *vehicle operation* on controlled-access freeways is a *passenger* while this level 4 *feature* is engaged. This same person, however, is a *driver* before engaging this level 4 *ADS feature* and again after disengaging the *feature* in order to exit the controlled access freeway.

EXAMPLE 2: The *in-vehicle users* of a closed-campus shuttle on a university campus equipped with an engaged level 4 *ADS* are *passengers*.

EXAMPLE 3: The *in-vehicle users* of a level 5 *ADS*-equipped *vehicle* are *passengers* whenever the level 5 *ADS* is engaged.

3.24.3 (DDT) FALBACK-READY USER

The *user* of a *vehicle* equipped with an engaged level 3 *ADS feature* who is able to *operate* the *vehicle* and is *receptive* to *ADS-issued requests to intervene* and to evident *DDT performance-relevant system failures* in the *vehicle* compelling him or her to perform the *DDT fallback*.

NOTE 1: *DDT performance* by a level 3 *ADS* assumes that a *DDT fallback-ready user* is available to perform the *DDT* as required. There is no such assumption at levels 4 and 5.

NOTE 2: A *DDT fallback-ready user* who transitions to performing part or all of the *DDT* becomes a *driver*.

NOTE 3: A *DDT fallback-ready user* may be remote to the *ADS*-equipped *vehicle* for which s/he serves as the *DDT fallback-ready user*.

EXAMPLE: A level 3 *ADS* that is performing the *DDT* in congested traffic on a freeway encounters emergency responders who are rerouting traffic to the exit due to a serious crash; the *ADS* issues a *request to intervene* to the *DDT fallback-ready user* instructing him or her to resume performing the *DDT* (i.e., to become a *driver*).

3.24.4 (ADS-EQUIPPED VEHICLE) DISPATCHER

A *user(s)* who verifies the operational readiness of the *vehicle* and *ADS* and engages or disengages the *ADS*.

NOTE 1: Unless the destination(s) is pre-programmed in the *ADS*, a *dispatcher* may also specify the destination(s).

NOTE 2: Only *vehicles* equipped with a level 4 or 5 *ADS* designed to *operate a vehicle* throughout a *trip* are potentially subject to being *dispatched*.

NOTE 3: Ensuring operational readiness includes such things as ensuring that conspicuity systems are clean and working, maintaining correct tire pressure and fluid levels, as well as ensuring that on-board diagnostic system checks for the *vehicle* and *ADS* indicate the absence of a *DDT performance-relevant system failure*.

EXAMPLE: A level 4 closed campus delivery *vehicle* that has experienced a *DDT performance-relevant system failure*, which forced it to resort to a *minimal risk condition* by parking on the side of a campus roadway, is returned to its mar shalling yard by a *dispatcher* who becomes a *remote driver* and is able to perform the *DDT* using wireless means.

3.25 VEHICLE

A machine designed to provide conveyance on public streets, roads, and highways.

NOTE: As used in this document, *vehicle* refers to motorized *vehicles* and excludes those *operated* only on rail lines. For reference, 49 U.S.C. § 30102(a)(6) defines motor vehicle as follows: “motor vehicle means a vehicle driven or drawn by mechanical power and manufactured primarily for use on public streets, roads, and highways, but does not include a vehicle operated only on a rail line.”

4. TAXONOMY OF DRIVING AUTOMATION

The terms defined above inform a taxonomy of *driving automation* consisting of six discrete and mutually exclusive levels (see section 8.2). Central to this taxonomy are the respective roles of the (human) *user* and the *driving automation system* in relation to each other. Because changes in the functionality of a *driving automation system* change the role of the (human) *user*, they provide a basis for categorizing such systems. For example:

- If the *driving automation system* performs the *sustained longitudinal* and/or *lateral vehicle motion control* subtasks of the *DDT*, the *driver* does not do so, although s/he is expected to complete the *DDT*. This division of roles corresponds to levels 1 and 2.
- If the *driving automation system* performs the entire *DDT*, the *user* does not do so. However, if a *DDT fallback-ready user* is expected to take over the *DDT* when a *DDT performance-relevant system failure* occurs or when the *driving automation system* is about to leave its *operational design domain (ODD)*, then that *user* is expected to be *receptive* and able to resume *DDT* performance when alerted to the need to do so. This division of roles corresponds to level 3.
- Lastly, if a *driving automation system* can perform the entire *DDT* and *DDT fallback* either within a prescribed *ODD* or in all driver-manageable on-road *driving* situations (unlimited *ODD*), then any *users* present in the *vehicle* while the *ADS* is engaged are *passengers*. This division of roles corresponds to levels 4 and 5.

The *vehicle* also fulfills a role in this *driving automation* taxonomy, but the role of the *vehicle* does not change the role of the *user* in performing the *DDT*.

In this way, *driving automation systems* are categorized into levels based on:

1. Whether the driving automation system performs either the longitudinal or the lateral vehicle motion control subtask of the DDT.
2. Whether the driving automation system performs both the longitudinal and the lateral vehicle motion control subtasks of the DDT simultaneously.
3. Whether the driving automation system also performs the OEDR subtask of the DDT.
4. Whether the driving automation system also performs DDT fallback.
5. Whether the driving automation system is limited by an ODD.

Table 1 (below) summarizes the six levels of *driving automation* in terms of these five elements.

Table 1 - Summary of levels of driving automation

SAE's levels of driving automation are descriptive and informative, rather than normative, and technical rather than legal. Elements indicate minimum rather than maximum capabilities for each level. In this table, "system" refers to the driving automation system or Automated Driving System (ADS), as appropriate.

Level	Name	Narrative definition	DDT		DDT fallback	ODD
			<i>Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control</i>	OEDR		
<i>Driver performs part or all of the DDT</i>						
0	No Driving Automation	The performance by the <i>driver</i> of the entire <i>DDT</i> , even when enhanced by <i>active safety systems</i> .	Driver	Driver	Driver	n/a
1	Driver Assistance	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific execution by a <i>driving automation system</i> of either the <i>lateral</i> or the <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtask of the <i>DDT</i> (but not both simultaneously) with the expectation that the <i>driver</i> performs the remainder of the <i>DDT</i> .	Driver and System	Driver	Driver	Limited
2	Partial Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific execution by a <i>driving automation system</i> of both the <i>lateral</i> and <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtasks of the <i>DDT</i> with the expectation that the <i>driver</i> completes the <i>OEDR</i> subtask and <i>supervises</i> the <i>driving automation system</i> .	System	Driver	Driver	Limited
<i>ADS ("System") performs the entire DDT (while engaged)</i>			System	System	<i>Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)</i>	Limited
3	Conditional Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> with the expectation that the <i>DDT fallback-ready user</i> is <i>receptive</i> to <i>ADS</i> -issued <i>requests to intervene</i> , as well as to <i>DDT performance-relevant system failures</i> in other <i>vehicle systems</i> , and will respond appropriately.				
4	High Driving Automation	The <i>sustained</i> and <i>ODD</i> -specific performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	System	System	System	Limited
5	Full Driving Automation	The <i>sustained</i> and unconditional (i.e., not <i>ODD</i> -specific) performance by an <i>ADS</i> of the entire <i>DDT</i> and <i>DDT fallback</i> without any expectation that a <i>user</i> will respond to a <i>request to intervene</i> .	System	System	System	Unlimited

Does the feature:

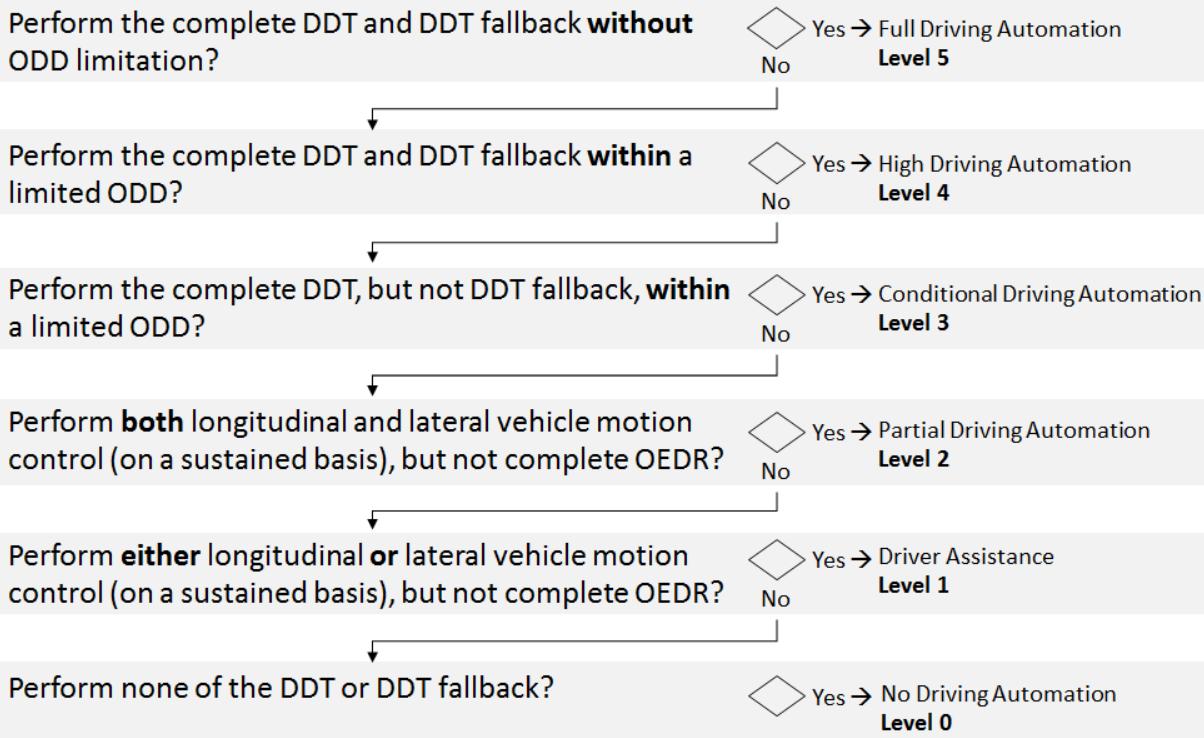


Figure 8 - Simplified logic flow diagram for assigning driving automation level to a feature

Figure 8 shows a simplified logic diagram for classifying *driving automation features*. Note that the information required to answer the questions posed in this figure cannot be empirically derived (see 8.1).

Table 2 (below) details the six levels of *driving automation* with reference to the roles (if any) that the *user* and the *driving automation system* play in performing the *DDT* and the *DDT fallback*. (NOTE: This assignment of roles refers to technical aspects of *vehicle operation* rather than to legal aspects.)

The descriptions provided in column 2 of Table 2 indicate the role (if any) of the *user* in performing part or all of the *DDT* and/or performing the *DDT fallback*, while the descriptions provided in column 3 indicate the role (if any) of the *driving automation system* in performing the same. As in Table 1, "system" refers to the *driving automation system* or *ADS*, as appropriate.

Note that the foregoing roles are determined by the design of the *driving automation system* in combination with the instructions provided to the *user*, regardless of malfunction in a particular *driving automation system* or a user's misperformance of their role in a given circumstance. (See 8.1.)

Table 2 - Roles of human driver and driving automation system by level of driving automation

Level of Driving Automation	Role of User	Role of Driving Automation System
DRIVER PERFORMS THE DYNAMIC DRIVING TASK (DDT)		
Level 0 - No Driving Automation	<p><i>Driver (at all times):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs the entire <i>DDT</i> 	<p><i>Driving Automation System (if any):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Does not perform any part of the <i>DDT</i> on a <i>sustained</i> basis (although other <i>vehicle</i> systems may provide warnings or support, such as momentary emergency intervention)
Level 1 - Driver Assistance	<p><i>Driver (at all times):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs the remainder of the <i>DDT</i> not performed by the <i>driving automation system</i> • <i>Supervises the driving automation system</i> and intervenes as necessary to maintain safe <i>operation of the vehicle</i> • Determines whether/when engagement or disengagement of the <i>driving automation system</i> is appropriate • Immediately performs the entire <i>DDT</i> whenever required or desired 	<p><i>Driving Automation System (while engaged):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs part of the <i>DDT</i> by executing either the <i>longitudinal</i> or the <i>lateral vehicle motion control</i> subtask • Disengages immediately upon driver request
Level 2 - Partial Driving Automation	<p><i>Driver (at all times):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs the remainder of the <i>DDT</i> not performed by the <i>driving automation system</i> • <i>Supervises the driving automation system</i> and intervenes as necessary to maintain safe <i>operation of the vehicle</i> • Determines whether/when engagement and disengagement of the <i>driving automation system</i> is appropriate • Immediately performs the entire <i>DDT</i> whenever required or desired 	<p><i>Driving Automation System (while engaged):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs part of the <i>DDT</i> by executing both the <i>lateral</i> and the <i>longitudinal vehicle motion control</i> subtasks • Disengages immediately upon driver request

AUTOMATED DRIVING SYSTEM (ADS) PERFORMS THE ENTIRE DYNAMIC DRIVING TASK (DDT)

Level 3 – Conditional Driving Automation	<p><i>Driver</i> (while the <i>ADS</i> is not engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifies operational readiness of the <i>ADS-equipped vehicle</i> • Determines when engagement of <i>ADS</i> is appropriate • Becomes the <i>DDT fallback-ready user</i> when the <i>ADS</i> is engaged <p><i>DDT fallback-ready user</i> (while the <i>ADS</i> is engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Is <i>receptive</i> to a <i>request to intervene</i> and responds by performing <i>DDT fallback</i> in a timely manner • Is <i>receptive</i> to <i>DDT performance-relevant system failures</i> in <i>vehicle systems</i> and, upon occurrence, performs <i>DDT fallback</i> in a timely manner • Determines whether and how to achieve a <i>minimal risk condition</i> • Becomes the <i>driver</i> upon requesting disengagement of the <i>ADS</i> 	<p><i>ADS</i> (while not engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permits engagement only within its <i>ODD</i> <p><i>ADS</i> (while engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs the entire <i>DDT</i> • Determines whether <i>ODD limits</i> are about to be exceeded and, if so, issues a timely <i>request to intervene</i> to the <i>DDT fallback-ready user</i> • Determines whether there is a <i>DDT performance-relevant system failure</i> of the <i>ADS</i> and, if so, issues a timely <i>request to intervene</i> to the <i>DDT fallback-ready user</i> • Disengages an appropriate time after issuing a <i>request to intervene</i> • Disengages immediately upon <i>driver request</i>
Level 4 - High Driving Automation	<p><i>Driver/dispatcher</i> (while the <i>ADS</i> is not engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifies operational readiness of the <i>ADS-equipped vehicle</i> • Determines whether to engage the <i>ADS</i> • Becomes a <i>passenger</i> when the <i>ADS</i> is engaged only if physically present in the <i>vehicle</i> <p><i>Passenger/dispatcher</i> (while the <i>ADS</i> is engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Need not perform the <i>DDT</i> or <i>DDT fallback</i> • Need not determine whether and how to achieve a <i>minimal risk condition</i> 	<p><i>ADS</i> (while not engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permits engagement only within its <i>ODD</i> <p><i>ADS</i> (while engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs the entire <i>DDT</i> • May issue a timely <i>request to intervene</i> • Performs <i>DDT fallback</i> and transitions automatically to a <i>minimal risk condition</i> when: <ul style="list-style-type: none"> • A <i>DDT performance-relevant system failure</i> occurs or • A <i>user</i> does not respond to a <i>request to intervene</i> or

	<ul style="list-style-type: none"> • May perform the <i>DDT fallback</i> following a <i>request to intervene</i> • May request that the <i>ADS</i> disengage and may achieve a <i>minimal risk condition</i> after it is disengaged • May become the <i>driver</i> after a requested disengagement 	<ul style="list-style-type: none"> • A <i>user</i> requests that it achieve a <i>minimal risk condition</i> • Disengages, if appropriate, only after: <ul style="list-style-type: none"> • It achieves a <i>minimal risk condition</i> or • A <i>driver</i> is performing the <i>DDT</i> • May delay <i>user-requested</i> disengagement
Level 5 - Full Driving Automation	<p><i>Driver/dispatcher</i> (while the <i>ADS</i> is not engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verifies operational readiness of the <i>ADS</i>-equipped vehicle • Determines whether to engage the <i>ADS</i> • Becomes a <i>passenger</i> when the <i>ADS</i> is engaged only if physically present in the <i>vehicle</i> <p><i>Passenger/dispatcher</i> (while the <i>ADS</i> is engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Need not perform the <i>DDT</i> or <i>DDT fallback</i> • Need not determine whether and how to achieve a <i>minimal risk condition</i> • May perform the <i>DDT fallback</i> following a <i>request to intervene</i> • May request that the <i>ADS</i> disengage and may achieve a <i>minimal risk condition</i> after it is disengaged • May become the <i>driver</i> after a requested disengagement 	<p><i>ADS</i> (while not engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permits <i>engagement</i> of the <i>ADS</i> under all driver-manageable on-road conditions <p><i>ADS</i> (while engaged):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Performs the entire <i>DDT</i> • Performs <i>DDT fallback</i> and transitions automatically to a <i>minimal risk condition</i> when: <ul style="list-style-type: none"> • A <i>DDT performance-relevant system failure</i> occurs or • A <i>user</i> does not respond to a <i>request to intervene</i> or • A <i>user</i> requests that it achieve a <i>minimal risk condition</i> • Disengages, if appropriate, only after: <ul style="list-style-type: none"> • It achieves a <i>minimal risk condition</i> or • A <i>driver</i> is performing the <i>DDT</i> • May delay a <i>user-requested</i> disengagement

Table 3, below, describes a *user's* role with respect to an engaged *driving automation system* operating at a particular level of *driving automation* at a particular point in time. A *user* occupying a given *vehicle* can have one of three possible roles during a particular *trip*: 1) *driver*, 2) *DDT fallback-ready user* or 3) *passenger*. A *remote user* of a given *vehicle* (i.e., who is not seated in the driver's seat of the *vehicle* during use) can also have one of three possible roles during a particular *trip*: 1) *remote driver*, 2) *DDT fallback-ready user* or 3) *dispatcher*.

Table 3 - User roles while a driving automation system is engaged

	No Driving Automation 0	Engaged Level of Driving Automation				
		1	2	3	4	5
In-vehicle User	<i>Driver</i>			<i>DDT fallback-ready user</i>	<i>Passenger</i>	
Remote User	<i>Remote Driver</i>			<i>DDT fallback-ready user</i>	<i>Dispatcher</i>	

NOTE: A *vehicle* equipped with a level 4 or 5 *ADS* may also support a *driver* role. For example, in order to complete a given *trip*, a *user* of a *vehicle* equipped with a level 4 *ADS* feature designed to *operate the vehicle* during high-speed freeway conditions will generally choose to perform the *DDT* when the freeway ends; otherwise the *ADS* will automatically perform *DDT fallback* and achieve a *minimal risk condition* as needed. However, unlike at level 3, this *user* is not a *DDT fallback-ready user* while the *ADS* is engaged.

5. LEVELS OR CATEGORIES OF DRIVING AUTOMATION

As discussed above, the level of *driving automation* is based on the functionality of the *driving automation system*, as determined by an allocation of roles in *DDT* and *DDT fallback* performance between that *system* and the (*human*) *user* (if any). The manufacturer of a *driving automation system* determines that *system's requirements*, *operational design domain (ODD)*, and operating characteristics, including the level of *driving automation*, as defined below. The manufacturer also defines the proper use of that *system*.

The lower two levels of *driving automation* (1-2) refer to cases in which the (*human*) *driver* continues to perform part of the *DDT* while the *driving automation system* is engaged.

The upper three levels of *driving automation* (3-5) refer to cases in which the *Automated Driving System (ADS)* performs the entire the *DDT* on a *sustained* basis while it is engaged.

5.1 LEVEL or CATEGORY 0 - NO DRIVING AUTOMATION

The performance by the *driver* of the entire *DDT*, even when enhanced by *active safety systems*.

5.2 LEVEL or CATEGORY 1 - DRIVER ASSISTANCE

The sustained and ODD-specific execution by a *driving automation system* of either the lateral or the longitudinal vehicle motion control subtask of the *DDT* (but not both simultaneously) with the expectation that the driver performs the remainder of the *DDT*.

NOTE: A level 1 *feature* performing either the *lateral* or the *longitudinal vehicle motion control subtask* of the *DDT* is capable of only limited *OEDR* within its dimension (*lateral* or *longitudinal*), meaning that there are some events that the *driving automation system* is not capable of recognizing or responding to. Therefore, the *driver* must *supervise* the *driving automation system* performance by completing the *OEDR* subtask of the *DDT* as well as performing the other dimension of *vehicle motion control*. See Figure 1 (discussing the three primary subtasks of the *DDT*).

5.3 LEVEL or CATEGORY 2 - PARTIAL DRIVING AUTOMATION

The *sustained* and *ODD*-specific execution by a *driving automation system* of both the *lateral and longitudinal vehicle motion control* subtasks of the *DDT* with the expectation that the *driver* completes the *OEDR* subtask and *supervises* the *driving automation system*.

NOTE: A level 2 *driving automation feature* is capable of only limited *OEDR*, meaning that there are some events that the *driving automation system* is not capable of recognizing or responding to. Therefore the *driver supervises* the *driving automation system* performance by completing the *OEDR* subtask of the *DDT*. See Figure 1 (discussing the three primary subtasks of the *DDT*).

5.4 LEVEL or CATEGORY 3 - CONDITIONAL DRIVING AUTOMATION

The *sustained* and *ODD*-specific performance by an *ADS* of the entire *DDT* with the expectation that the *DDT fallback-ready user* is *receptive* to *ADS*-issued requests to *intervene*, as well as to *DDT performance-relevant system failures* in other vehicle systems, and will respond appropriately.

NOTE 1: The *DDT fallback-ready user* need not *supervise* a level 3 *ADS* while it is *engaged* but is expected to be prepared to resume the *DDT* when the *ADS* issues a *request to intervene*, such as when a *DDT performance-relevant system failure* occurs.

NOTE 2: A level 3 *ADS*'s *DDT fallback-ready user* is also expected to be *receptive* to evident *DDT performance-relevant system failures* in vehicle systems that do not necessarily trigger an *ADS*-issued *request to intervene*, such as a broken body or a suspension component.

NOTE 3: In the event of a *DDT performance-relevant system failure* in a level 3 *ADS* or in the event that the *ADS* will soon exit its *ODD*, the *ADS* will issue a *request to intervene* within sufficient time for a typical person to respond appropriately to the driving situation at hand.

NOTE 4: An “appropriate” response by a *DDT fallback-ready user* to a *request to intervene* may entail bringing the *vehicle* to a *minimal risk condition* or continuing to *operate the vehicle* after the *ADS* has *disengaged*.

EXAMPLE: An *ADS feature* capable of performing the entire *DDT* in low-speed, stop-and-go freeway traffic.

5.5 LEVEL or CATEGORY 4 - HIGH DRIVING AUTOMATION

The *sustained* and *ODD*-specific performance by an *ADS* of the entire *DDT* and *DDT fallback*, without any expectation that a *user* will respond to a *request to intervene*.

NOTE 1: The *user* does not need to *supervise* a level 4 *ADS feature* or be *receptive* to a *request to intervene* while the *ADS* is *engaged*. A level 4 *ADS* is capable of automatically performing *DDT fallback*, as well as achieving a *minimal risk condition* if a *user* does not resume performance of the *DDT*. This automated *DDT fallback* and *minimal risk condition* achievement capability is the primary difference between level 4 and level 3 *ADS features*. This means that the *user* of an engaged *level 4 ADS feature* is a *passenger* who need not respond to *requests to intervene* or to *DDT performance-relevant system failures*.

NOTE 2: Level 4 *ADS features* may be designed to *operate the vehicle* throughout complete *trips* (e.g., a closed campus shuttle *feature*), or they may be designed to *operate the vehicle* during only part of a given *trip*, after *ODD* requirements are met (e.g., a high-speed freeway cruising *feature*). For example, in order to complete a given *trip*, a *user* of a *vehicle* equipped with a level 4 *ADS feature* designed to *operate the vehicle* during high-speed freeway conditions will generally choose to perform the *DDT* when the freeway ends; otherwise the *ADS* will automatically perform *DDT fallback* and achieve a *minimal risk condition* as needed. However, unlike at level 3, this *user* is not a *DDT fallback-ready user* while the *ADS* is *engaged*. (see Example 2, below).

EXAMPLE 1: A level 4 *ADS feature* capable of performing the entire *DDT* during valet parking (i.e., curb-to-door or vice versa) without any *driver supervision*.

EXAMPLE 2: A level 4 *ADS feature* capable of performing the entire *DDT* during *sustained operation* on a motorway or freeway (i.e., within its *ODD*). (Note: The presence of a *user* in the driver's seat who is capable of performing the *DDT* is envisioned in this example, as *driver* performance of the *DDT* would have been necessary before entering, and would again be necessary after leaving, the motorway or freeway. Thus, such a *feature* would alert the *user* that s/he should resume *vehicle operation* shortly before exiting the *ODD*, but if the *user* fails to respond to such an alert, the *ADS* will nevertheless perform the *DDT fallback* and achieve a *minimal risk condition* automatically.)

EXAMPLE 3: A *dispatcher* may engage a level 4 *ADS-DV*, which is capable of following a pre-defined route within a confined geographical area (e.g., residential community, military base, university campus).

5.6 LEVEL [CATEGORY] 5 - FULL DRIVING AUTOMATION

The *sustained* and unconditional (i.e., not *ODD*-specific) performance by an *ADS* of the entire *DDT* and *DDT fallback* without any expectation that a *user* will respond to a *request to intervene*.

NOTE 1: “Unconditional/not *ODD*-specific” means that the *ADS* can *operate the vehicle* under all *driver-manageable* on-road conditions. This means, for example, that there are no design-based weather, time-of-day, or geographical restrictions on where and when the *ADS* can *operate the vehicle*. However, there may be conditions not manageable by a *driver* in which the *ADS* would be unable to complete a given *trip* (i.e., white-out snow storm, flooded roads, glare ice, etc.) until or unless the adverse conditions clear. At the onset of such unmanageable conditions the *ADS* would perform the *DDT fallback* to achieve a *minimal risk condition* (e.g., by pulling over to the side of the road and waiting for the conditions to change).

NOTE 2: In the event of a *DDT performance-relevant system failure* (of an *ADS* or the *vehicle*), a level 5 *ADS* automatically performs the *DDT fallback* and achieves a *minimal risk condition*

NOTE 3: The *user* does not need to *supervise* a level 5 *ADS*, nor be *receptive* to a *request to intervene* while it is engaged.

EXAMPLE: A *vehicle* with an *ADS* that, once programmed with a destination, is capable of *operating the vehicle* throughout complete *trips* on public roadways, regardless of the starting and end points or intervening road, traffic, and weather conditions.

6. SIGNIFICANCE OF OPERATIONAL DESIGN DOMAIN (ODD)

Conceptually, the role of a *driving automation system* vis-à-vis a *user* in performance of part or all of the *DDT* is orthogonal to the specific conditions under which it performs that role: A specific implementation of adaptive cruise control, for example, may be intended to operate only at high speeds, only at low speeds, or at all speeds.

For simplicity, however, J3016’s taxonomy collapses these two axes into a single set of levels of *driving automation*. Levels 1 through 4 expressly contemplate *ODD* limitations. In contrast, level 5 expressly disavows any such limitations.

Accordingly, accurately describing a *feature* (other than at level 5) requires identifying both its level of *driving automation* and its *operational design domain* (*ODD*). As provided in the definitions above, this combination of level of *driving automation* and *ODD* is called a *usage specification*, and a given *feature* satisfies a given *usage specification*.

Because of the wide range of possible *ODDs*, a wide range of possible *features* may exist in each level (e.g., level 4 includes parking, high-speed, low-speed, geo-fenced, etc.). For this reason, SAE J3016 provides less detail about the *ODD* attributes that may define a given *feature* than about the respective roles of a *driving automation system* and its *user*.

ODD is especially important to understanding why an *ADS* is not level 5 merely because it *operates an ADS-dedicated vehicle*. Unlike a level 5 *ADS*, a level 4 *ADS* has a limited *ODD*. Geographic or environmental restrictions on an *ADS-DV* may reflect the *ODD* limitations of its *ADS* (or they may reflect *vehicle* design limitations).

Figure 9 illustrates the orthogonality of *ODD* relative to levels of *driving automation*.

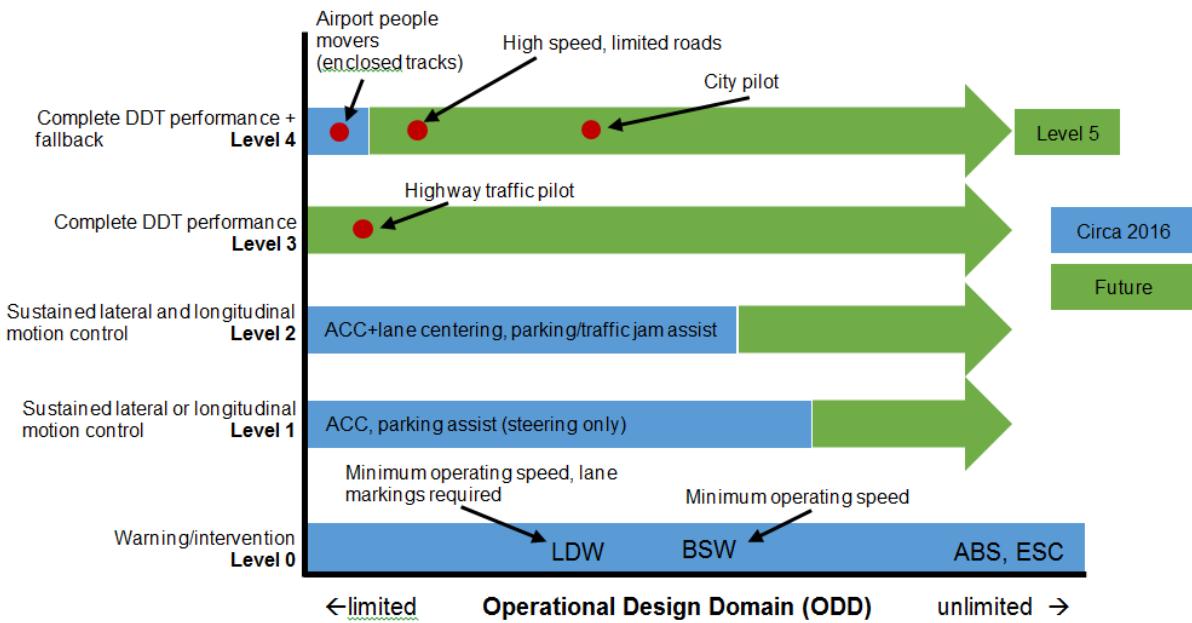


Figure 10 - Illustrates the significance of ODD relative to the levels.

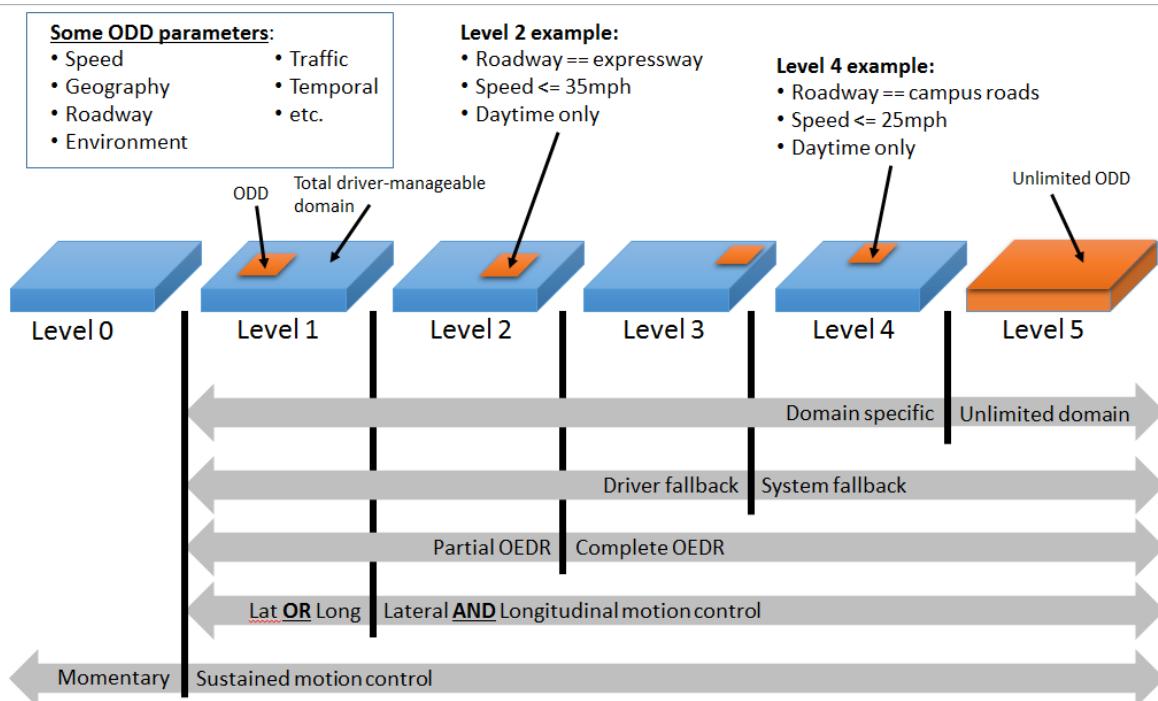


Figure 11 - ODD relative to levels

7. DEPRECATED TERMS

For the sake of clarity, this section identifies certain deprecated terms that are not used in this Recommended Practice either because they are functionally imprecise (and therefore misleading) and/or because they are frequently misused by application to lower levels of *driving automation* (i.e., levels 1 and 2) in which the *driving automation system* does not perform the entire *DDT*.

7.1 Autonomous, Self-Driving, Driverless, Unmanned, Robotic

Vernacular terms such as those above are sometimes used—inconsistently and confusingly—to characterize *driving automation systems* and/or *vehicles* equipped with them. Because automation is the use of electronic or mechanical devices to replace human labor, based on the Oxford English Dictionary, automation (modified by “driving” to provide context) is the appropriate term for systems that perform part or all of the *DDT*. The use of other terms can lead to confusion, misunderstanding, and diminished credibility.

7.1.1 Autonomous

This term has been used for a long time in the robotics and artificial intelligence research communities to signify systems that have the ability and authority to make decisions independently and self-sufficiently. Over time, this usage was casually broadened to not only encompass decision making, but to represent the entire system functionality, thereby becoming synonymous with automated. This usage obscures the question of whether a so-called “autonomous vehicle” depends on communication and/or cooperation with outside entities for important functionality (such as data acquisition and collection). Some *driving automation systems* may indeed be autonomous if they perform all of their functions independently and self-sufficiently, but if they depend on communication and/or cooperation with outside entities, they should be considered cooperative rather than autonomous. Some vernacular usages associate autonomous specifically with *full driving automation* (level 5), while other usages apply it to all levels of *driving automation*, and some state legislation has defined it to correspond approximately to any *ADS* at or above level 3 (or to any vehicle equipped with such an *ADS*).

Additionally, in jurisprudence, autonomy refers to the capacity for self-governance. In this sense, also, “autonomous” is a misnomer as applied to *automated driving technology*, because even the most advanced *ADSs* are not “self-governing.” Rather, *ADSs* operate based on algorithms and otherwise obey the commands of *users*.

For these reasons, this document does not use the popular term “autonomous” to describe *driving automation*.

7.1.2 Self-driving

The meaning of this term can vary based on unstated assumptions about the meaning of *driving* and *driver*. It is variously used to refer to situations in which no *driver* is present, to situations in which no *user* is performing the *DDT*, and to situations in which a *driving automation system* is performing any part of the *DDT*.

7.1.3 Driverless and Unmanned

These terms are frequently misused to describe any *vehicle* equipped with a level 2 or higher *driving automation system*. Because “driver” can have many meanings, “driverless” can confuse rather than clarify. (Under J3016’s definitions, an engaged level 3, 4, or 5 *ADS* displaces a (human) *driver*.) The term “unmanned” suggests the absence of a person in a vehicle, which can also be misleading because it does not distinguish between a *vehicle* remotely operated by a *human driver* and an *ADS-operated vehicle* in which there are no occupants that have the ability to *operate the vehicle*.

7.1.4 Robotic

This term is sometimes used to connote level 4 or 5 *driving automation*, such as a closed-campus *ADS-DV* or a “robotic taxi,” but it is technically vague because any automation technology could be considered to be “robotic,” and as such it conveys no useful information about the *ADS* or *vehicle* in question.

7.2 Automated or Autonomous Vehicle

This Recommended Practice recommends against using terms that make *vehicles*, rather than *driving*, the object of automation, because doing so tends to lead to confusion between *vehicles* that can be *operated* by a (human) *driver* or by an *ADS* and *ADS-DVs*, which are designed to be *operated* exclusively by an *ADS*. It also fails to distinguish other forms of vehicular automation that do not involve automating part or all of the *DDT*.

Moreover, a given *vehicle* may be equipped with a *driving automation system* that is capable of delivering multiple *driving automation features* that *operate* at different levels; thus, the level of *driving automation* exhibited in any given instance is determined by the *feature(s)* engaged.

As such, the recommended usage for describing a *vehicle* with *driving automation capability* is “level [1 or 2] *driving automation system-equipped vehicle*” or “level [3, 4, or 5] *ADS-equipped vehicle*.” The recommended usage for describing a *vehicle* with an engaged *system* (vs. one that is merely available) is “level [1 or 2] *driving automation system-engaged vehicle*” or “level [3, 4, or 5] *ADS-operated vehicle*.”

7.3 Control

In colloquial discourse, the term “control” is sometimes used to describe the respective roles of a (human) *driver* or a *driving automation system* (e.g., “the driver has control”). The authors of this Recommended Practice strongly discourage, and have therefore deliberately avoided, this potentially problematic colloquial usage. Because the term “control” has numerous technical, legal, and popular meanings, using it without careful qualification can confuse rather than clarify. In law, for example, “control,” “actual physical control,” and “ability to control” can have distinct meanings that bear little relation to engineering control loops. Similarly, the statement that the (human) *driver* “does not have control” may unintentionally and erroneously suggest the loss of all human authority.

The preferred terms “*DDT performance*” (as explained in the definition of *DDT* above) and “*operate*” (also a defined term, above) reduce potential confusion by specifically describing what the (human) *driver* or *driving automation system* actually does in terms of performing part or all of the *DDT*. This Recommended Practice does use the terms *lateral vehicle motion control* and *longitudinal vehicle motion control*, both of which are explicitly defined in terms of specific engineering functions.

If “control” is to be used in a particular *driving automation* context, it should be carefully qualified. To this end, the one using the term “should first describe the control system they actually intend: the goals, inputs, processes, and outputs to the extent they are determined by a human designer and the authority of the human or computer agents to the extent they are not.” See Bryant Walker Smith, Engineers and Lawyers Should Speak the Same Robot Language, in Robot Law (2015), available at newlypossible.org.

8. ADDITIONAL DISCUSSION

8.1 Level are assigned, rather than measured

It is not possible to describe or specify a complete test or set of tests which can be applied to a given *ADS feature* to conclusively identify or verify its level of *driving automation*. The level assignment rather expresses the design intention for the *feature* and as such tells potential *users* or other interested parties that the *feature* can be expected to function such that the roles of the *user* vs. the *driving automation system* while the *feature* is engaged are consistent with the assigned level, as defined in this document. The level assignment is typically based on the manufacturer’s knowledge of the *feature’s/system’s* design, development, and testing, which inform the level assignment. An *ADS feature’s* capabilities and limitations are communicated to prospective *users* through various means, such as in an owner’s manual, which explains the *feature* in detail, including how it should and should not be used, what limitations exist (if any), and what to do (if anything) in the event of a *DDT performance-relevant system failure* in the *driving automation system* or *vehicle*.

As such, the manifestation of one or more performance deficiencies in either the *driving automation system* or in the *user's* use of it does not automatically change the level assignment. For example:

- An *ADS feature* designed by its manufacturer to be level 5 would not automatically be demoted to level 4 simply by virtue of encountering a particular road on which it is unable to *operate the vehicle*.
- The *user* of an engaged level 3 *ADS feature* who is seated in the driver's seat of an equipped *vehicle* is the *DDT fallback-ready user* even if s/he is no longer *receptive* to a *request to intervene* because s/he has improperly fallen asleep.

8.2 Levels are Mutually Exclusive

The levels in this taxonomy are intentionally discrete and mutually exclusive. As such, it is not logically possible for a given *feature* to be assigned more than a single level. For example, a low-speed driving automation *feature* described by the manufacturer as being capable of performing the complete *DDT* in dense traffic on fully access-controlled freeways cannot be both level 3 and level 4, because either it is capable of automatically performing the *DDT fallback* and achieving a *minimal risk condition* whenever needed, or it relies (at least sometimes) on the *driver* to respond to a *request to intervene* and either perform the *DDT* or achieve a *minimal risk condition* on his or her own.

It is, however, quite possible for a *driving automation system* to deliver multiple *features* at different levels, depending on the *usage specification* and/or *user preferences*. For example, a *vehicle* may be equipped with a *driving automation system* capable of delivering, under varying conditions, a level 1 ACC *feature*, a level 2 highway assistance *feature*, a level 3 freeway traffic jam *feature*, and a level 4 automated valet parking *feature* – in addition to allowing the *user* to *operate the vehicle* at level 0 with no *driving automation features* engaged. From the standpoint of the *user*, these various *features* engage sequentially, rather than simultaneously, even if the *driving automation system* makes use of much of the same underlying hardware and software technology to deliver all four *driving automation features*.

8.3 User request to perform the DDT when a level 3, 4 or 5 ADS is engaged

Vehicles equipped with an engaged level 3 *ADS feature* are expected to relinquish the *DDT* upon request by a *DDT fallback-ready user*. This expectation is a logical consequence of the *DDT fallback-ready user's* need to be able to perform the *DDT fallback* whenever required, including in cases when a *DDT performance-relevant vehicle system failure* has occurred that the *ADS* may not be *monitoring* (such as a broken suspension component).

Some *vehicles* equipped with level 4 or 5 *driving automation features* may not be designed to allow for *driver operation* (i.e. *ADS-DV*). In these types of *vehicles*, *passengers* may be able to demand a *vehicle stop* by, for example, pulling an emergency stop lever, and in response, the *ADS* would achieve a *minimal risk condition*.

However, other *vehicles* equipped with level 4 or 5 *driving automation features* may also be designed for *driver operation* (i.e., at any lower level, including level 0). A *user* may request to *operate* these *vehicles* while the *ADS* is engaged without having been issued a *request to intervene* by the *ADS*. In these cases, the *ADS* may delay relinquishing of the *DDT* to ensure a smooth transition to the *driver's* performance of the *DDT*, or to prevent a hazardous condition.

For example:

- A *vehicle* being *operated* by a level 4 *ADS* highway pilot *feature* that is negotiating a tight curve may not immediately disengage upon the *user's* request, but may instead do so gradually as the *user* indicates through steering input that s/he is fully re-engaged in the *DDT*.
- A level 4 *ADS feature* designed to *operate a vehicle* in a high-speed convoy with small gaps between *vehicles* may delay relinquishing performance of the *DDT* to a *user* upon his or her request to resume driving until after the *ADS* has safely maneuvered the *vehicle* out of the convoy, since (human) *drivers* may not be capable of safely operating a *vehicle* in a close-coupled convoy.

8.4 Driving vs. DDT

Driving entails a variety of decisions and actions, which may or may not involve a *vehicle* being in motion, or even being in an active lane of traffic. The overall act of driving can be divided into three types of *driver* effort: Strategic, Tactical, and Operational (Michon, 1985). Strategic effort involves *trip* planning, such as deciding whether, when and where to go, how to travel, best routes to take, etc. Tactical effort involves maneuvering the *vehicle* in traffic during a *trip*, including deciding whether and when to overtake another *vehicle* or change lanes, selecting an appropriate speed, checking mirrors, etc. Operational effort involves split-second reactions that can be considered pre-cognitive or innate, such as making micro-corrections to steering, braking and accelerating to maintain lane position in traffic or to avoid a sudden obstacle or hazardous event in the *vehicle*'s pathway.

The definition of *DDT* provided above (3.4) includes tactical and operational effort but excludes strategic effort. It is that portion of driving that specifically entails *operating a vehicle* in an active lane of traffic when the *vehicle* is either in motion or imminently so. (It should be noted that these terms—strategic, tactical and operational—may have different meanings in other contexts but are defined as above for the purposes of this document.) Indeed, this Recommended Practice defines “*operate*” to include both operational and tactical efforts.

Object and event detection, recognition, classification, and response (aka, *OEDR*) form a continuum of activities often cited in the driver workload literature. In the case of *driving automation systems*, *OEDR* also includes *driving* events associated with *system* actions or outcomes, such as undiagnosed *driving automation system* errors or state changes.

8.5 Comparison of J3016 *driving automation* levels with BASt and NHTSA levels

Prior to the initial publication of J3016 in January 2014, there were two published documents that described levels of *driving automation* with respect to motor *vehicles* and/or *driving*: The US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)'s “Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles” (May 30, 2013) and the German Federal Highway Research Institute's (Bundesanstalt für Straßenwesen, a.k.a. BASt) “Legal consequences of an increase in vehicle automation” Tom M. Gasser et al. (July 23, 2013). After thorough review of both documents, including discussions with both authoring organizations, SAE Task Force members were persuaded that the BASt levels were more in line with the Task Force's operating principles, namely, that SAE J3016 should be:

- Descriptive rather than normative, which is to say it should provide functional definitions.
- Consistent with current industry practice.
- Consistent with prior art – we should start with what has already been done and change only what is necessary.
- Useful across disciplines, including engineering, law, media, public discourse.
- Clear and cogent, which is to say we should avoid or define ambiguous terms.

In keeping with these guiding principles, SAE largely adopted the BASt levels, but with several adjustments:

- Added a sixth level (namely, level 5 – *full driving automation*) not described in the BASt levels.
- Modified level names accordingly.
- Added supporting terms and definitions, such as *DDT*, *minimal risk condition*, etc.
- Described categorical distinctions that provide for a step-wise progression through the levels.
- Provided explanatory text and examples to aid the reader in understanding the levels, definitions, and their derivation.

After SAE J3016 was published in January, 2014, the International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, a.k.a., OICA) adopted the BASt levels and aligned them (in English) with SAE J3016, including adding a sixth level to represent “*full driving automation*.”

However, BASt/SAE/OICA levels differ more fundamentally from the levels described by the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) in its “Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles” (May 30, 2013). NHTSA’s levels were intended to provide preliminary policy guidance to U.S. state and local governments contemplating legislation and/or regulation related to “automated/autonomous vehicles.” As such, NHTSA’s level descriptions are written in loosely descriptive terms using normative language and therefore do not provide the degree of definitional and functional clarity that are ultimately required to support the technical and policy discussions that lead to standards, norms and/or legal requirements.

Moreover, NHTSA’s levels purport to apply to *vehicles*, rather than to *driving automation*, which, as explained above, leads to confusion. The NHTSA levels also include *features* and functions that do not serve to automate part or all of the *DDT* on a *sustained* basis, such as anti-lock brake systems (ABS), electronic stability control (ESC), and lane keeping assistance systems (LKAS). These intervention-type *active safety systems* are not *driving automation system features*, because, *DDT* performance (partial or complete) is not *sustained* between and across external events during driving. Rather, these *active safety systems* are momentarily activated during a specific driving safety hazard scenario and then quickly cut out again, and activation of such systems also does not change the *driver’s role* in terms of performing the *DDT*. (See Scope above.)

Finally, it should be noted that crash avoidance features, including intervention-type *active safety systems*, may be included in *vehicles* equipped with *driving automation systems* at any level. For *ADS*-equipped *vehicles* (i.e., levels 3-5) that perform the complete *DDT*, crash avoidance capability is part of *ADS* functionality.

9. NOTES

9.1 Revision Indicator

A change bar (I) located in the left margin is for the convenience of the user in locating areas where technical revisions, not editorial changes, have been made to the previous issue of this document. An (R) symbol to the left of the document title indicates a complete revision of the document, including technical revisions. Change bars and (R) are not used in original publications, nor in documents that contain editorial changes only.

PREPARED BY THE SAE ON-ROAD AUTOMATED VEHICLE STANDARDS COMMITTEE

ANEXO II: MÁQUINA MORAL

¿Qué debe hacer el coche autónomo?

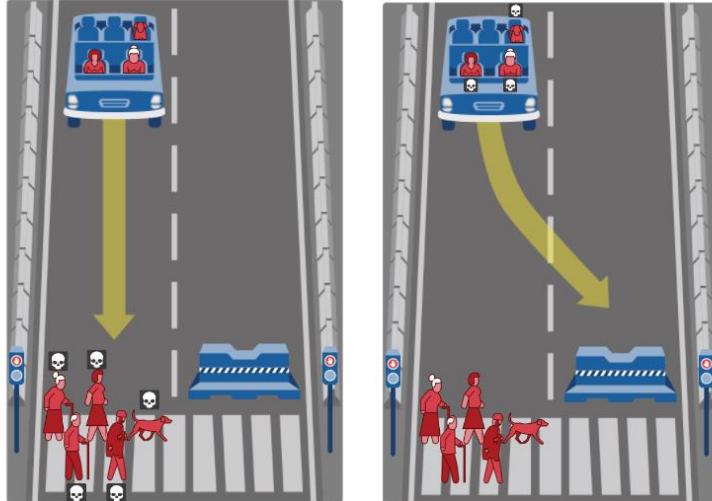
1 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 anciana
- 1 mujer grande
- 1 perro
- 1 anciano
- 1 indigente

Observa que los peatones afectados están violando la ley, cruzando con la señal en rojo.



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

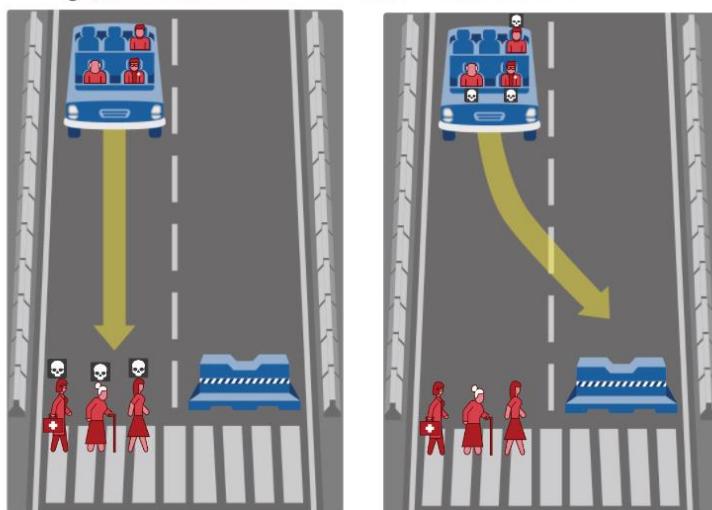
Muertos:

- 1 anciana
- 1 mujer grande
- 1 perro

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 doctora
- 1 anciana
- 1 mujer



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 doctor varón
- 1 anciano
- 1 hombre

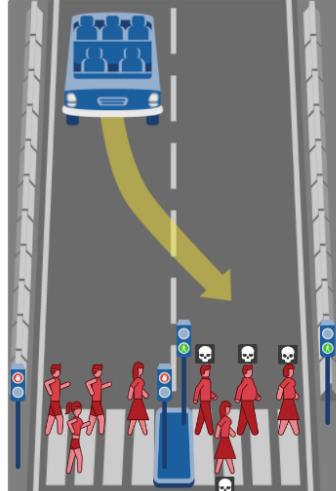
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 hombre
- 1 hombre grande
- 1 mujer grande
- 1 mujer

Observa que los peatones afectados están respetando la ley, cruzando la señal en verde.



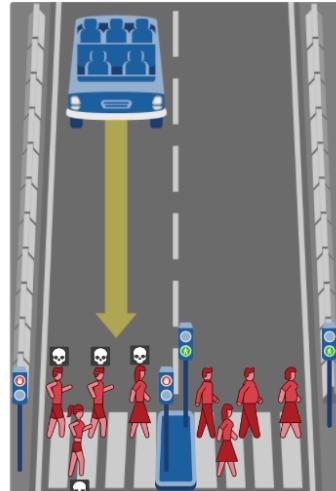
3 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 2 hombres atletas
- 1 mujer
- 1 mujer atleta

Observa que los peatones afectados están violando la ley, cruzando con la señal en rojo.

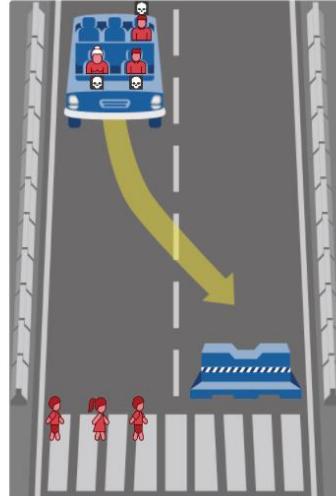


¿Qué debe hacer el coche autónomo?

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 2 hombres
- 1 anciana

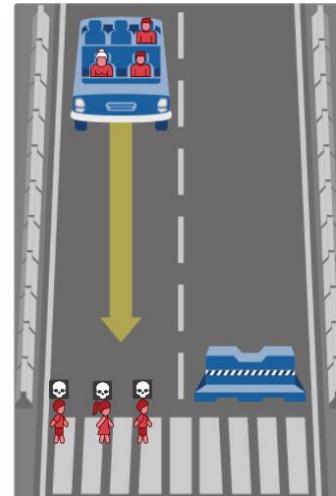


4 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 2 niños
- 1 niña

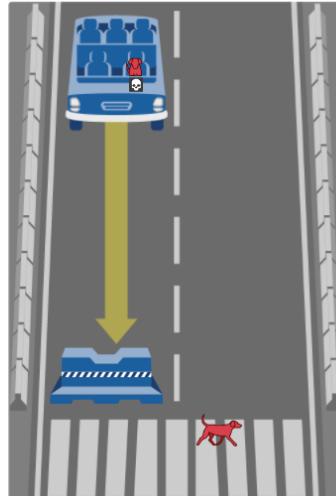


¿Qué debe hacer el coche autónomo?

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 perro

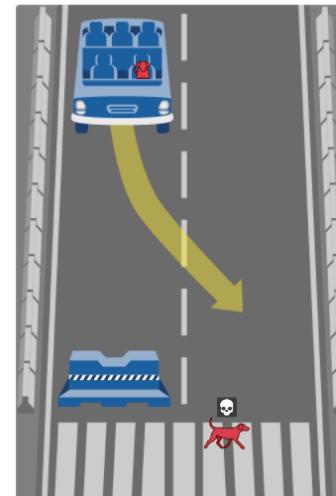


5 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 perro



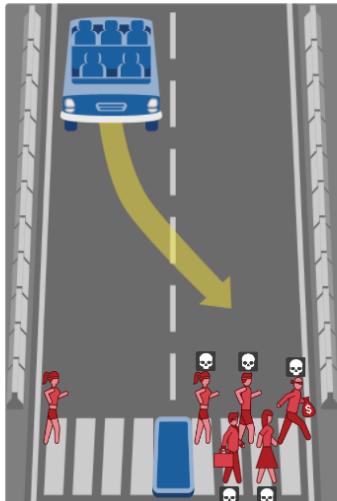
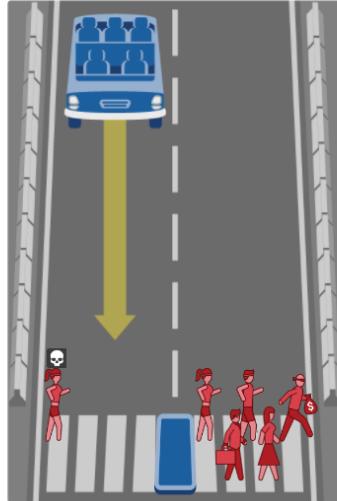
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

6 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 mujer atleta



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 mujer atleta
- 1 atleta varón
- 1 ladrón
- 1 ejecutivo
- 1 mujer

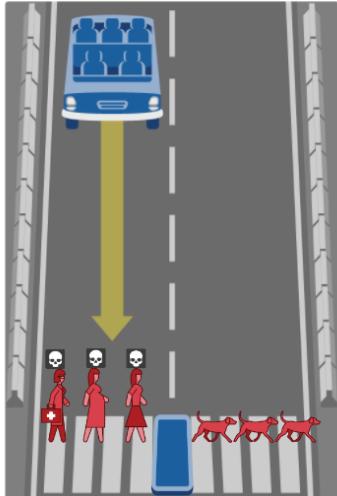
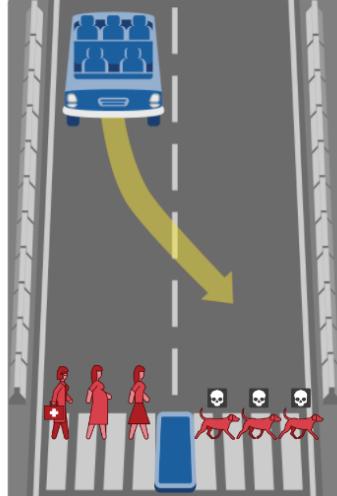
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

7 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 3 perros



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 doctora
- 1 mujer embarazada
- 1 mujer

¿Qué debe hacer el coche autónomo?

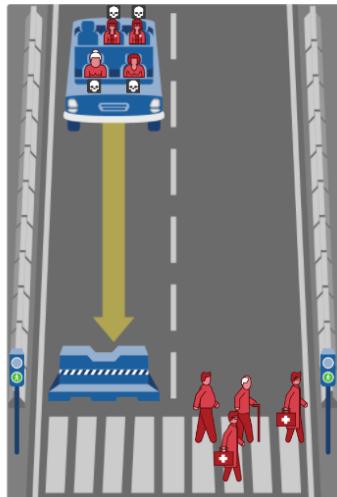
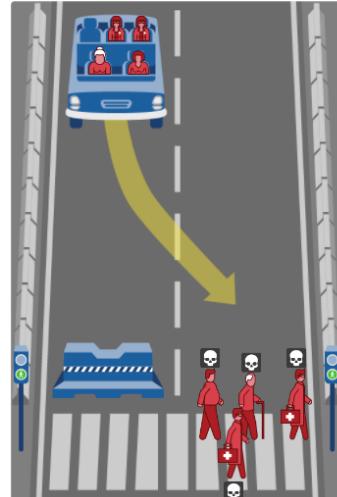
8 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 hombre grande
- 1 anciano
- 2 doctoras

Observa que los peatones afectados están respetando la ley, cruzando la señal en verde.



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 mujer grande
- 1 anciana
- 2 doctoras

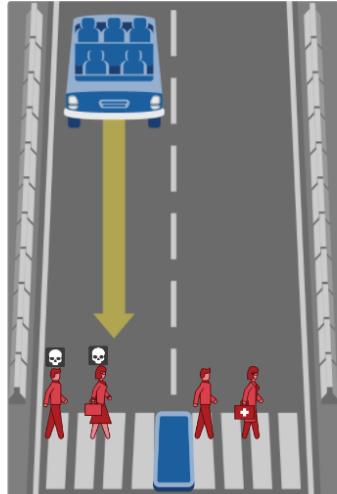
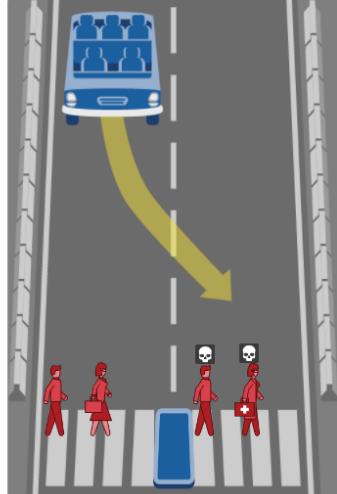
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

9 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 hombre
- 1 doctora



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 hombre
- 1 ejecutiva hembra

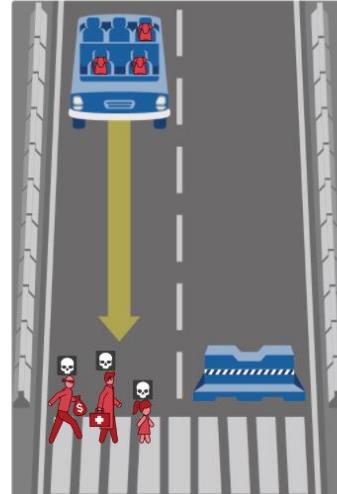
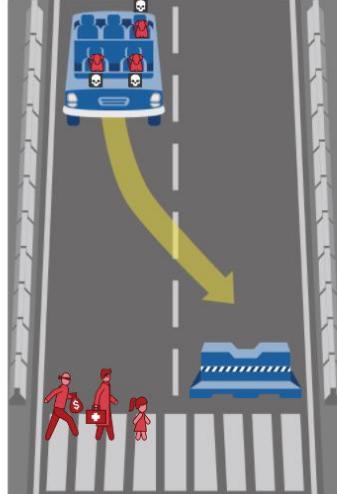
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

10 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 3 perros



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 ladrón
- 1 doctor varón
- 1 niña

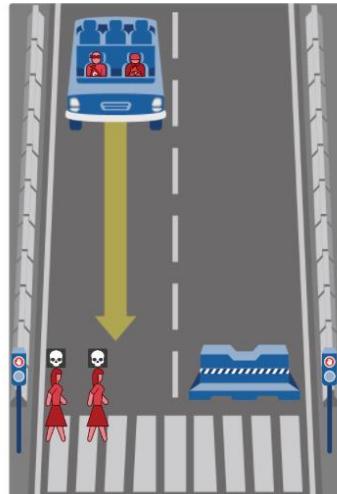
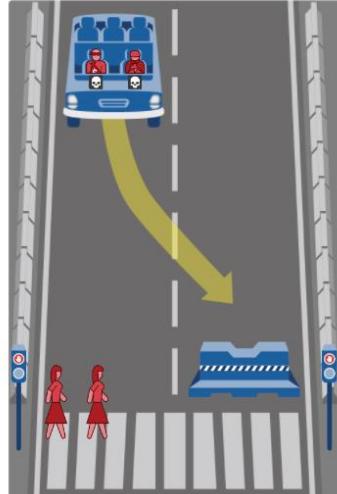
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

11 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 indigente
- 1 ladrón



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 2 mujeres

Observa que los peatones afectados están violando la ley, cruzando con la señal en rojo.

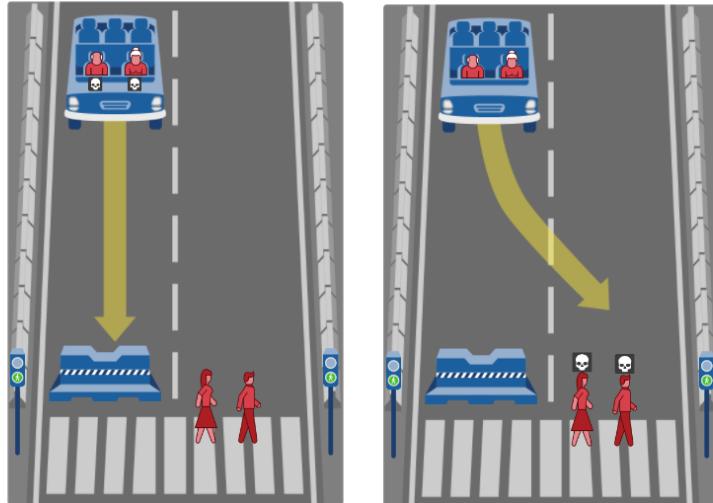
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

12 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 anciana
- 1 anciano



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y atraviesa el paso de peatones en el otro carril. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 mujer
- 1 hombre

Observa que los peatones afectados están respetando la ley, cruzando la señal en verde.

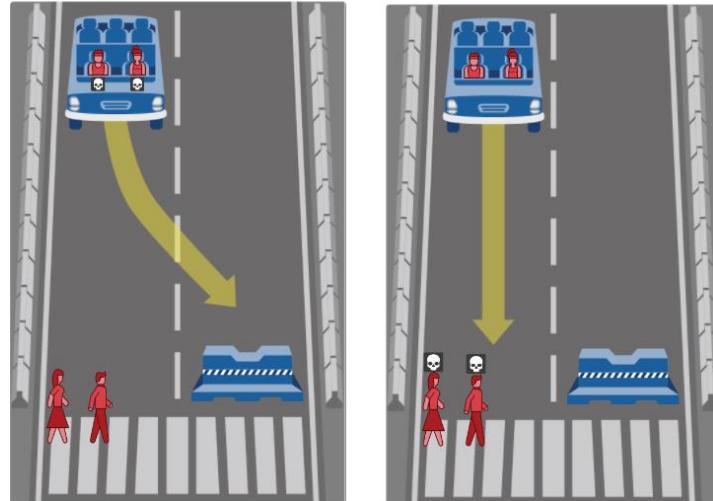
¿Qué debe hacer el coche autónomo?

13 / 13

En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos gira y choca contra la barrera de hormigón. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 mujer atleta
- 1 atleta varón



En este caso, el coche autónomo con fallo en los frenos continúa adelante y atraviesa el paso de peatones de frente. La consecuencia es:

Muertos:

- 1 mujer
- 1 hombre

Resultados

Personaje salvado más veces



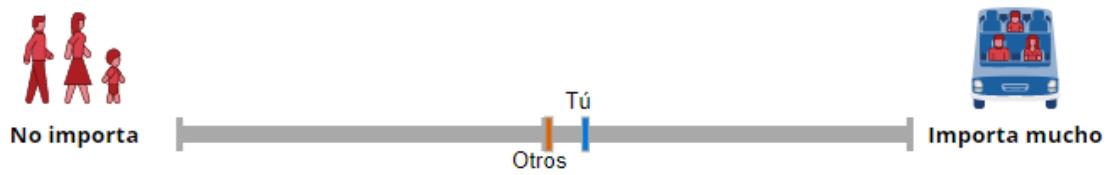
Personaje muerto más veces



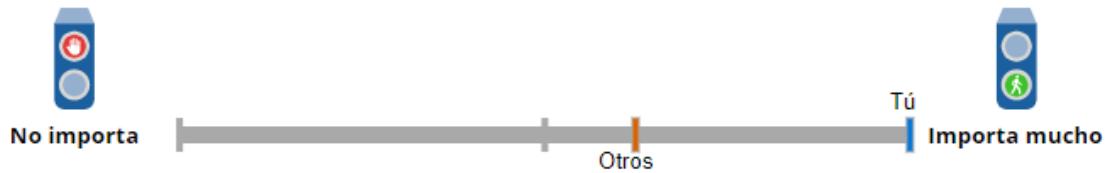
Salvar más vidas



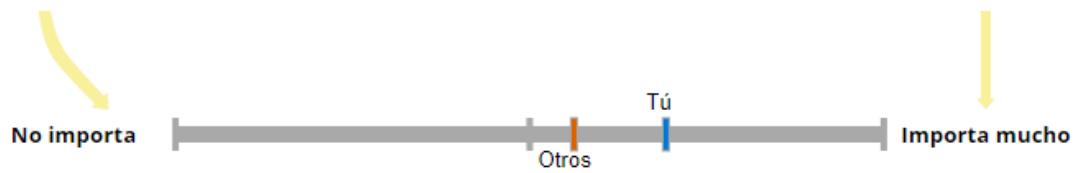
Proteger a los pasajeros



Respetar la ley



No intervenir



Preferencia de género

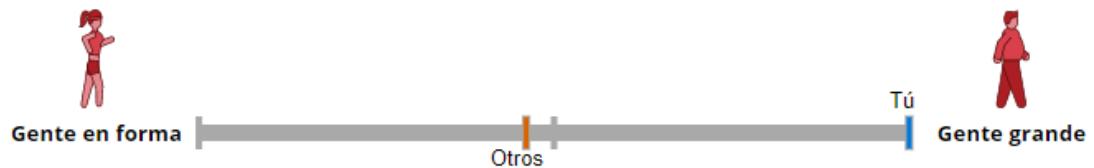




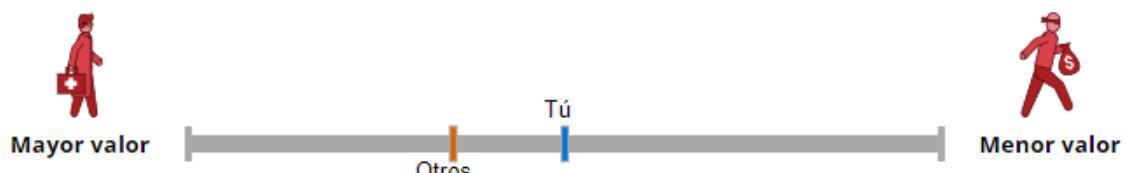
Preferencia de edad



Preferencia por estar en forma



Preferencia por el valor social



ANEXO III: MÁQUINA MORAL



España

Un optimismo declarado, y sin una particular inquietud por el coste

Con ocho de cada 10 consumidores que creen en la realidad del vehículo autónomo, los españoles figuran entre los europeos más optimistas, detrás de Portugal. También son más numerosos que sus vecinos europeos a considerar utilizar algún día un coche sin piloto,

detrás de los italianos. Al igual que en Italia, se refleja menos la creencia de un sobrecoste financiero o la eventual “tecnofobia” asociada a la conectividad de sus vehículos.

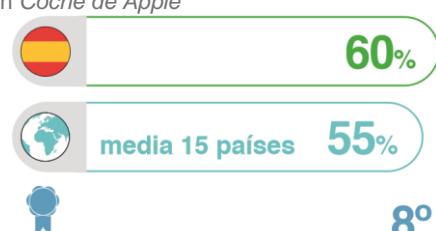
El interés por el coche autónomo

% de interés por la utilización de un coche autónomo



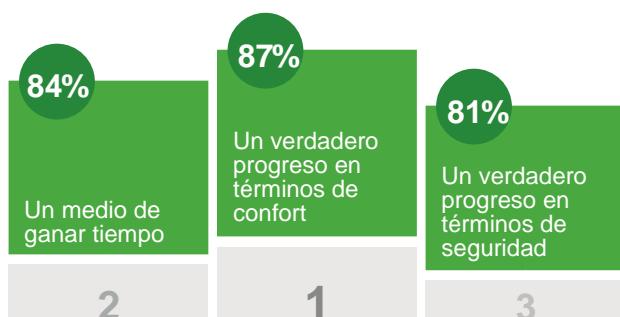
7º

% de preparados para comprar un *Coche de Google* o un *Coche de Apple*



8º

► Opiniones sobre el coche conectado **El coche conectado es sobre todo...**



media 15 países

cifras clave

70 %

El coche conectado es un vehículo caro

41 %

El coche conectado es algo reservado a los tecnófilos

39 %

En un trayecto en coche 100% autónomo, me divertiría a bordo

Media de 15 países

78%

67%

48%

Clasificación sobre 15 países

13º

14º

13º

Fuente: BIPE- El Observatorio Cetelem Auto 2016

