



MÁSTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CONDUCCIÓN AUTÓNOMA:
FUTURO DE LA MOVILIDAD Y LA SEGURIDAD

Autor: Dña. María del Carmen Herráez Martín

Tutor: D. Jesús Vázquez de Prada Martínez

Valladolid, septiembre de 2019

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España



CONDUCCIÓN AUTÓNOMA: FUTURO DE LA MOVILIDAD Y LA SEGURIDAD

RESUMEN BREVE

Palabras clave: Seguridad Integral, ADAS (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción), vehículo autónomo, evolución de los sistemas autónomos, protocolos de evaluación de sistemas de seguridad

Alrededor de 1,25 millones de personas fallecen anualmente en accidentes de tráfico en el mundo. El ser humano es responsable de más del 90% de ellos. La seguridad pasiva se encuentra al límite de su desarrollo y la seguridad activa no puede evitar todos los errores humanos, por ello el futuro de la movilidad es la conducción autónoma.

Actualmente los vehículos equipan ADAS que supervisan y asisten al conductor, participando en diferentes aspectos de la conducción con diferentes grados de autonomía, pero aún sin tomar el control.

Para lograr la consecución de la conducción totalmente autónoma OEMs, proveedores, instituciones gubernamentales y asociaciones de consumidores y de seguros, están invirtiendo en investigación lanzando prototipos con nuevos sensores y programas, y desarrollando nuevos métodos de evaluación para comprobar su efectividad.

Resulta complicado augurar en qué fecha contaremos con ello, pero supondrá un gran avance en lo que a seguridad respecta.

AUTONOMOUS DRIVING: FUTURE OF MOBILITY AND SECURITY

SHORT ABSTRACT

Keywords: Integral Security, ADAS Adaptive Driving Assistance Systems, autonomous vehicle, autonomous systems evolution, assessment protocols for safety systems

Around 1,25 million people die annually in traffic accidents worldwide. The human being is responsible for more than 90% of them. Passive safety is about to reach the limit of its development and active safety cannot avoid all human mistakes, these are the reasons why autonomous driving is the future of the mobility.

Current vehicles are equipped with ADAS that supervise and assist the driver, by taking part in several driving tasks with varying autonomy degrees, but still without taking full control.

To reach the achievement of fully autonomous driving OEMs, suppliers, government institutions and costumers and insurance associations are investing in research, launching prototypes with new sensors and software, and developing new assessment methods to prove their effectiveness.

It is difficult to predict the date when we will have it, but in terms of safety, it will be a breakthrough.

CONDUCCIÓN AUTÓNOMA: FUTURO DE LA MOVILIDAD Y LA SEGURIDAD

RESUMEN EJECUTIVO

La automoción y los accidentes automovilísticos han ido de la mano desde sus inicios. Es una lacra a nivel mundial que aún hoy no se ha podido erradicar. Cada año cuesta la vida a más de 1 millón de personas y es la primera causa de fallecimiento entre los 5 y los 29 años.

Los accidentes tienen lugar cuando se da una conjunción de factores desfavorables; suelen englobarse en: la vía y su entorno, el vehículo y el conductor; son los conocidos como factores de riesgo. En números redondos, los fallos mecánicos contribuyen en el 5% de los accidentes, las condiciones de la vía en el 20%, pero el ser humano es responsable de más del 90% de ellos.

La función de la seguridad en el automóvil es la de encontrar medidas para evitar la aparición de víctimas. Típicamente, se ha afrontado el problema desde 2 perspectivas diferentes: la primera, mitigar las consecuencias del accidente, la seguridad pasiva; y la segunda, evitar el accidente, la seguridad activa. Actualmente la seguridad se rige por un concepto más moderno, la seguridad integrada, una sinergia entre los elementos de seguridad activa y pasiva, que aúna los sistemas que monitorizan el entorno y la conducción, evalúan el riesgo, avisan e intervienen en caso de peligro, mitigan las consecuencias y entran en contacto con los servicios de asistencia.

La seguridad pasiva se encuentra al límite de su desarrollo. Con el tiempo su capacidad se ha ido refinando, pero actualmente el margen de mejora es muy limitado, por lo que para seguir avanzando en seguridad el esfuerzo se debe centrar en la seguridad activa e integrada.

Siendo el factor humano la causa mayoritaria de los siniestros, y ante la imposibilidad de que la seguridad activa evite todos los errores humanos, y que la seguridad pasiva logre que se pueda sobrevivir a todos los accidentes, todo apunta a que la solución más lógica es retirar al conductor de la ecuación. Es decir, el futuro de la automoción es la conducción autónoma.

Un sistema de conducción autónomo es aquel que realiza todas las tareas que implican conducir un vehículo, en cualquier circunstancia, y sin ningún tipo de supervisión. Para poder discernir el grado de autonomía se emplea la clasificación desarrollada por la SAE, que consta de 6 niveles, de 0 a 5, partiendo de la “no autonomía” hasta la “autonomía total”.

Los vehículos que encontramos actualmente en el mercado cuentan con Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción, ADAS, cuyo cometido es supervisar y asistir al conductor (que no tomar el control, ya que éste sigue a los mandos del vehículo y debe mantener las manos en el volante y la vista en la carretera) y entran en acción cuando son requeridos, bien por las circunstancias momentáneas o bien bajo petición del conductor, haciendo que conducir sea más cómodo y menos estresante, pero, sobre todo, más seguro.

Estos sistemas participan en diferentes aspectos de la conducción, y con tecnologías con diferentes grados de autonomía, desde los sistemas de información y alerta, pasando por los de asistencia puntual, hasta los que realizan tareas de forma continuada:

- **Control de velocidad:** SLIF, función de información del límite de velocidad; CC, control de crucero; ACC, control de crucero adaptativo; iACC, control de crucero adaptativo inteligente
- **Maniobras de aparcamiento e incorporación al tráfico:** PDC, control de distancia en aparcamiento; RCTA, Alerta de tráfico trasero cruzado; IPAS, sistema de asistencia al aparcamiento inteligente
- **Asistencia de frenado:** ABS, anti-bloqueo de frenos; ESP, programa de estabilidad electrónica; FCW, alerta de colisión trasera; AEB, frenado autónomo (urbano, interurbano, para peatones y para ciclistas)

- **Mantenimiento y cambio de carril:** LKA, asistente de mantenimiento de carril; ELK, mantenimiento de carril de emergencia; BSD, detección de punto muerto
- **Iluminación:** asistente de luces largas, sistema de iluminación adaptativo

Los fabricantes de vehículos, y algunos proveedores de servicios de movilidad, están centrando sus esfuerzos en la investigación de la autonomía y han lanzado vehículos conceptuales, prototipos, y algunos que ya se encuentran en el mercado, que están revolucionando el concepto de movilidad.

Los proveedores de primer nivel también están desarrollando sus propias soluciones para el futuro de la conducción autónoma. Trabajan para cubrir las nuevas necesidades de sensorización e invierten en investigación para encontrar nuevas soluciones y marcar la diferencia con sus competidores. Unos se centran en el habitáculo, cómo será la interfaz vehículo-pasajeros o cómo maximizar las actividades que se pueden desarrollar durante los trayectos; y otros enfocan sus esfuerzos en el desarrollo de elementos y dispositivos involucrados en la conducción, cómo sensores, procesadores, software, ...

Las expectativas de los expertos con respecto a la evolución de los sistemas autónomos son variadas, y han ido cambiando a lo largo del tiempo. Echando la vista un lustro hacia el pasado, se encuentran publicaciones extremadamente optimistas que esperaban que para 2025 estuviesen en el mercado los primeros vehículos completamente autónomos, y que su incorporación al parque automovilístico creciese en gran medida: en 15 años llegaría, al menos, al 50%; en 35 años al 75%; pudiendo llegar al 95% para los años 70. Las publicaciones de años posteriores, son más cautas, señalando la llegada de los vehículos autónomos para, aproximadamente, 2030. Los sistemas orientados a determinadas tareas avanzarían progresivamente, comenzando como sistemas de ayuda, conducción supervisada en determinados escenarios, conducción no supervisada en determinados escenarios y, finalmente, conducción totalmente autónoma. Por las mismas fechas otras divulgaciones, con una opinión más conservadora, opinaban que el desarrollo se iba a dar de forma más lenta, para más allá de 2030, no atreviéndose a indicar una fecha. Los textos más recientes siguen esta línea de incertidumbre, señalando la dificultad de vislumbrar una fecha concreta, dados los escollos que aún quedan por salvar, técnicos, morales, regulatorios,

Para impulsar el desarrollo de la conducción autónoma, la Unión Europea, y otras entidades gubernamentales, están financiando estudios centrados, por ejemplo, en la seguridad pasiva y los nuevos retos que supone la protección de los ocupantes al cambiar la forma de disfrutar de los trayectos y las diferentes interacciones que puede haber entre, los ocupantes, con el vehículo o con el exterior; o la comunicación entre vehículos y con la infraestructura, las actualizaciones, la privacidad, el hackeo,...

¿Cómo conocer la efectividad de los ADAS?, tal y como se evalúan otros sistemas de seguridad, es necesario someterlos a pruebas que simulan situaciones reales desfavorables. Ésta es la labor de instituciones como Euro NCAP o IIHS, asociaciones de consumidores y de seguros, que evalúan y clasifican los vehículos según los resultados obtenidos en los tests, ayudando de esta manera a los consumidores, fomentando la competencia e impulsando la innovación. Estas pruebas son para:

- Asistencia de frenado: El vehículo probado (VUT) se lanza a diferentes velocidades contra un vehículo simulado (GVT) o contra usuarios vulnerables de la carretera (VRU).
- Asistentes de velocidad: el SLF se prueba sobrepasando la velocidad ajustada en el sistema bien obligando al VUT a sobrepasar la velocidad o reajustando la velocidad por debajo.
- Control de cruceo inteligente: Se preparan escenarios “cut-in” y “cut-out”, interponiendo un GVT de forma repentina en la trayectoria del VUT
- Asistentes de mantenimiento de carril: se enfrentan a diferentes tipos de marcas viales y en carreteras sinuosas con cambios de rasante.
- Test de ayuda a la dirección: cantidad de par que provee y resistencia que ofrece ante una maniobra de esquiwa.
- Alerta de tráfico trasero cruzado: se prueban contra GVT y postes en diferentes posiciones.
- Iluminación: se mide la luminancia de luces cortas y largas mientras el vehículo circula en diferentes escenarios.

AUTONOMOUS DRIVING: FUTURE OF MOBILITY AND SECURITY

EXECUTIVE ABSTRACT

Automotive and car crashes have gone hand in hand from the beginning. It is a scourge worldwide that even today has not yet been eradicated. Each year it costs the lives of more than 1 million people and is the leading cause of death between ages 5 and 29.

Accidents take place when there is a conjunction of adverse factors that are usually included in: the road and its surroundings, the vehicle and the driver; they are known as risk factors. With rounded figures, mechanical failures contribute in 5% of the accidents, road conditions in 20%, but the human being is responsible for more than 90% of them.

The function of car safety is to find measures to prevent victims to happen. Typically, the problem has been addressed from 2 different perspectives: the first one, to mitigate the consequences of the accident, the passive safety; and the second one, to avoid the accident, the active safety. Nowadays the safety is led by an updated concept, the integrated safety, a synergy between elements from passive and active safety, which combines systems that monitor environment and driving, assess the risk, warn and intervene in case of danger, mitigate the consequences and contact the assistance services.

Passive safety is about to reach its development limit. Over time its capability has been improved, but currently, the room for improvement is very limited, so to continue advancing in safety the effort must focus on active and integrated safety.

Since the human factor is the major cause of the accidents, and given the impossibility of active safety to avoid all human errors, and of passive safety to make it possible to survive all accidents, everything indicates that the most logical solution is to remove the driver from the equation. That is to say, the future of the automotive industry is autonomy.

An autonomous driving system is that one that performs all tasks needed to drive a car, no matter the circumstances, and without any supervision. The levels developed by SAE are used to discern the autonomy degree; it consists in 6 levels, from 0 to 5, starting from “no autonomy” to “full autonomy”.

Current vehicles found on the market, have Advanced Driving Assistance Systems, ADAS, which purpose is supervise and assist the driver (not to take control, since the human is still in charge and must keep their hands on the steering wheel and their view on the road), and they take action when required, either due to the circumstances or at driver's request, making driving more comfortable, less stressful, but above all, safer.

These systems take part in several driving aspects, using technologies with different autonomy levels, from information and warning systems, through those of punctual assistance, to those who perform tasks continuously:

- Speed control: SLIF, Speed Limit Information Function; CC, Cruise Control; ACC, Adaptive Cruise Control; iACC, Intelligent Adaptive Cruise Control
- Parking and incorporation into traffic manoeuvre: PDC, Parking Distance Control; RCTA, Rear Cross Traffic Alert; IPAS, Intelligent Parking Assist System
- Breaking Assistance: ABS, Anti-lock Brake System; ESP, Electronic Stability Program; FCW, Forward Collision Warning; AEB, Autonomous Emergency Breaking (city, interurban, for pedestrian and for cyclist)
- Keeping and changing lane: LKA, Lane Keeping Assistant; ELK, Emergency Lane Keeping; BSD, Blind Spot Detection
- Lighting: High-beam Assistance, Adaptive Driving Beam

OEMs, and some mobility service suppliers, are focusing their efforts on autonomous researching and they have launch concept cars, prototypes, and some vehicles already on the market, which are revolutionizing the concept of mobility.

Also TIER 1 are developing their own solutions for the autonomous driving future. They are working to meet new sensing needs and invest in research to find new solutions and make a difference with their competitors. Some are focused on the cabin, how the interface vehicle-passengers will be or how to maximize the activities that could be done during the commuting; others focus their efforts on developing of elements and devices involved in driving tasks, such as sensors, processing units, software, ...

The experts' expectations regarding the evolution of autonomous systems are varied, and have changed over time. Looking back through time, 5 years ago, some extremely optimistic releases can be found, which hoped first fully autonomous vehicles would be on the market by 2025; their incorporation to the vehicle fleet would rise to a large degree: in 15 years it would reach, at least, the 50%; in 35 years the 75%; being able to achieve the 95% by the 70s. Publications from later years, are more cautious, by pointing the arrival for autonomous vehicles by, approximately, 2030. Systems oriented to certain driving tasks would progressively advance, starting with aid systems, supervised driving in certain situations, unsupervised driving in certain situations and, finally, fully autonomous driving. Around the same dates other disseminations, with a more conservative opinion, said that the development would be in a slower way, beyond 2030, not daring to point a future date. The most recent publications also keep the uncertainty, pointing out the difficulty of glimpsing a particular date, given the handicaps still stays on the path, technical, morals, regulatory, ...

To promote the development of autonomous driving, the European Union, and other government entities, are funding studies focused, for instance, on the passive safety and the new protection challenges that are about to come due to the new ways to enjoy journeys; or in interactions among passengers, with other vehicles or with the outside; or in V2V and V2X communications, updates, privacy, hacking,...

How to know the ADAS effectiveness? Just as other safety systems are assessed; they need to be tested simulating real unfavourable situations. This is the task of institutions such as Euro NCAP or IIHS, costumers and insurance associations, which assess and classify the vehicles according to their results on the tests, helping in this way the consumers, fostering competition and driving innovation. These tests are for:

- Braking assist: the Vehicle Under Test (VUT) is thrown against a Global Vehicle Target (GVT) or against Vulnerable Road Users (VRU).
- Speed Limit Function, SLF: is assessed by overtaking the speed set on the system by forcing the VUT to accelerate or resetting the speed underneath.
- Intelligent Adaptive Cruise Control: "Cut-in" and "cut-out" situations are prepared by making a GVT getting in the way of the VUT suddenly.
- Keeping Lane Assist: VUTs are faced with different types of road markings and on winding roads with elevation changes.
- Steering assist: measuring the torque quantity the system gives and the resistance offered to an avoidance manoeuvre
- Rear cross traffic alert
- Lighting: The luminance of low and high beams is measured while the vehicle is running through different scenarios.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que han estado a mi lado en cada paso del camino.

Los amigos que han sufrido mis lamentaciones, a mi tía y mis padrinos por sus ánimos y consejos, pero sobre todo a mis padres y hermano por su inestimable ayuda y porque, además de todo lo anterior, me han soportado estoicamente.

Sin vosotros no sé qué sería de mí.

¡Gracias a todos de corazón!

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	La Seguridad en el Automóvil.....	3
1.1.1	Importancia de la seguridad	3
1.1.2	Las causas de los accidentes de tráfico: factores de riesgo	4
1.1.3	Tipos de seguridad.....	6
1.1.4	La evolución de la seguridad	7
1.2	Objetivos.....	12
1.3	Alcance y desarrollo del TFM.....	12
2	¿QUÉ ES UN VEHÍCULO AUTÓNOMO?	13
2.1	Sistemas avanzados de asistencia a la conducción ADAS.....	14
2.1.1	Sistemas de asistencia a la velocidad.....	15
2.1.2	Sistemas de asistencia al aparcamiento	16
2.1.3	Sistemas de asistencia al frenado	18
2.1.4	Asistente de mantenimiento de carril.....	20
2.1.5	Detección de ángulo muerto	21
2.1.6	Iluminación.....	22
2.2	Fabricantes de vehículos y servicios de movilidad	23
2.2.1	TESLA.....	23
2.2.2	WAYMO	26
2.2.3	Mercedes-Benz (Daimler).....	29
2.2.4	Alianza Renault-Nissan-Mitsubishi	32
2.3	Proveedores de primer nivel: TIER 1.....	35
2.3.1	ZF Y Faurecia	35
2.3.2	Continental.....	36
2.3.3	Bosch.....	37
2.3.4	Sensorización para ADAS.....	38
3	DESARROLLO DE LA SEGURIDAD.....	39
3.1	Evolución de las hojas de ruta.....	39
3.2	Proyectos Europeos	45
3.2.1	Proyecto OSCCAR.....	45
3.2.2	Proyecto VIRTUAL.....	46
4	EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONDUCCIÓN AUTÓNOMA	49
4.1	Instituciones.....	49
4.1.1	Euro NCAP	49
4.1.2	The Insurance Institute for Highway Safety (IIHS).....	52
4.2	Protocolos de evaluación de sistemas autónomos	53
4.2.1	Coche contra coche: AEB y FCW	53

4.2.2	Conche contra usuarios vulnerables: AEB VRU	54
4.2.3	Asistentes de velocidad.....	55
4.2.4	Control de cruceo inteligente (iACC).....	56
4.2.5	Asistente mantenimiento carril	57
4.2.6	Test de ayuda a la dirección.....	57
4.2.7	Alerta tráfico trasero cruzado.....	57
4.2.8	Iluminación.....	59
5	CONCLUSIONES	61
5.1	Conclusiones.	61
5.1.1	La seguridad, primera razón para automatizar los vehículos	61
5.1.2	Estado del arte de la movilidad autónoma	61
5.1.3	Fecha en que llegará la movilidad autónoma	61
5.1.4	Beneficios a consecuencia de la movilidad autónoma.....	62
5.2	Principales aportaciones del autor del TFM	62
5.3	Sugerencias para trabajos futuros	63
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
	ANEXOS.....	71
1.1	Hojas de ruta	71
1.2	Protocolos Euro NCAP AEB.....	75
1.2.1	Coche contra coche: AEB y FCW	75
1.2.2	Coche contra usuarios vulnerables: AEB VRU.....	76
1.2.3	Asistencia a la dirección.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Izq. Dibujo de la diligencia a vapor de Scott Russell (1) / Dcha. Dibujo basado en los testimonios de los testigos, y publicado posteriormente en el libro “Histoire de la Locomotion Terrestre” (París, 1936) (2)	1
Figura 2. Foto familiar de Bridget Brisco, primera persona fallecida tras ser atropellada por un vehículo de combustión interna (4).....	1
Figura 3. Izq. Periódico “The Newcastle Courant”, 19 Febrero 1898; extracto de la sección “General News”, pag 3./ Dcha. Periódico “The Illustrated Police News”, 19 Febrero 1898; artículo “A motor car fatality”, pag 5.	2
Figura 4. Instantáneas del accidente: Izq. fuente Avilas.es (8) / dcha. Hemeroteca ABC (7), ambas fotografías tomadas por Encinar.....	2
Figura 5. Accidente autobús en Tornadizos Jul-2013 y diagrama explicativo del acontecimiento (9)	2
Figura 6. Fallecidos 1 ^{as} 24 h en accidentes de tráfico interurbanos, años 2018 y 2019 (10).....	3
Figura 7. Gráfica “Fallecidos anuales por cada 100 mil vehículos en circulación” (hasta 19 93 fallecidos 1 ^{as} 24h, después hasta 1 mes).(12).....	4
Figura 8. Peso de los factores en un accidente de tráfico.....	4
Figura 9. Matriz de Haddon	5
Figura 10. Visión clásica de la seguridad activa y pasiva	6
Figura 11. Visión moderna de la seguridad integrada	6
Figura 12. Béla Barényi (14) y su boceto realizado hacia 1924-1925 del “kommenden Volkswagen” (15).....	7
Figura 13. Patente de la columna de dirección colapsable de Béla Barényi, 30 noviembre de 1963 (14).....	7
Figura 14. Generaciones W 112, W 109, W 116 y W 126 (1976) del Clase S de Mercedes-Benz; limpiaparabrisas empotrados (14).....	8
Figura 15. Izq. Patente “Chasis para vehículos motorizados” 1948” (17) / Centr. Boceto del concepto “carrocería con seguridad mejorada” (14) / Dcha. Patente DRP No. 854 157 “Vehículo motorizado, especialmente para el transporte de personas” para Daimler-Benz AG, 1951 (14) todos ellos de Béla Beranyi.....	8
Figura 16. Primer crash test realizado por Mercedes-Benz, 10 septiembre 1959 colisión frontal contra barrera rígida, vehículo de la serie W111, Mercedes 220 (1959 - 1968). (14).....	8
Figura 17. Ensayos con cadáveres Universidad Estatal Wayne en Detroit: estudio sobre fractura de cráneo, secuencia del impacto estudio de daños en cráneo, y tórax, secuencia del impacto. (19)	9
Figura 18. Lawrence “Larry” Patrick; como voluntario: arriba, momentos previos y durante un ensayo; durante un ensayo de péndulo (18,19).....	10
Figura 19. Nils Bohlin inventor del cinturón de seguridad de 3 puntos; y Volvo P120, 1 ^{er} vehículo en incorporarlo (21)/ Cinturón de seguridad de 2 puntos, Volvo PV 444 (1940) (21)	10
Figura 20. Mercedes clase S, generación 126 1 ^o en equipar airbag para el conductor; secuencia despliegue airbag; y solicitud de patente del airbag de octubre de 1971 (14).....	11
Figura 21. Traumatismo craneoencefálico (TCE) lesión por golpe-contra golpe, en golpe frontal y en golpe por alcance (23).....	11
Figura 22. Niveles de Autonomía SAE J3016 (24).....	13
Figura 23. Patente del Speedostat de Ralph Teetor 1948; Chrysler Imperial; y publicidad del Auto-pilot que incorporaba el sistema (21).....	15
Figura 24. Sign Assit (32).....	16
Figura 25. Pictograma ParkPilot (32) Sensores por ultrasonidos de Bosch (33)	16
Figura 26. Alerta de tráfico trasero cruzado, RCTA (36).....	17
Figura 27. Asistente de aparcamiento (32)	17
Figura 28. ABS: comparativas de frenado con y sin sistema, clase S, generación 116; componentes del ABS (37).....	18
Figura 29. Mercedes-Benz CL 500 primer vehículo en equipar ESP; componentes del sistema (39,40).....	18
Figura 30. ESP: corrección de sobreviraje y subviraje (39).....	18
Figura 31. FCW: alerta de colisión frontal	19
Figura 32. City Emergency Braking (42) AEB urbano/interurbano con alerta de colisión (45).....	19
Figura 33. AEB para peatones (32).....	20
Figura 34. AEB para ciclistas (21).....	20
Figura 35. LKA (32).....	21
Figura 36. ELK (21).....	21
Figura 37. Detección de ángulo muerto (32) Mid-range radar MRR (33) Ford (21).....	22
Figura 38. Blind Spot Detection IHS (47).....	22
Figura 39. Sistema de iluminación adaptativo Intellilux (45)	23
Figura 40. App Tesla, Summon (50).....	24
Figura 41. Testigo autopilot disponible y activo Acuerdo de condiciones de uso del sistema Autosteer (50).....	24
Figura 42. Arriba. Cuadro de instrumentos durante la conducción con autopilot y recordatorio de manos al volante Abajo. Advertencia de desconexión de Autopilot (50).....	25
Figura 43. Sensores equipados en vehículos Tesla (51).....	25

Figura 44. Google test cars :Toyota Prius 2009 y Lexus RX450h 2012 (52).....	26
Figura 45. Firefly, vehículo autónomo prototipo de Google (2013). Diferentes estadios del proyecto: “Engineering mule”, “Unclead mule”, “Beautified Mule” y prototipo final (52).....	26
Figura 46. Steve Mahan primer pasajero vehículo autonomo durante el evento (53).....	27
Figura 47. Chrysler Pacifica equipado con Waymo (54).....	27
Figura 48. App Waymo (55).....	27
Figura 49. Jaguar I-Pace equipado con Waymo (56). Láser Bear Honeycomb de Waymo (58,59).....	28
Figura 50. Superposición de la nube de puntos y el entorno real (60). Mapa 3D generado por la nube de puntos obtenida mediante LiDAR (52).....	28
Figura 51. Interpretación del sistema Waymo del entorno y superposición sobre el entorno real (60).....	28
Figura 52. Sistemas ADAS de Mercedes-Benz y sus sensores asociados (14).....	29
Figura 53. Mercedes-Benz S 500 emuló el viaje realizado por Berta Benth en 1888 en modo autónomo (14).....	30
Figura 54. Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion (14).....	30
Figura 55. Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion, comunicación con otros usuarios de la vía (14).....	31
Figura 56. Mercedes-Benz Autobús del futuro (14).....	31
Figura 57. “¿Quien quiere ser un coche autónomo? Grupo moovel (14).....	32
Figura 58. Marcas de los socios de la Alianza Renault Nissan Mitsubishi (69).....	32
Figura 59. Ventas en 2018 Renault, Nissan, Mitsubishi (millones de unidades) *sin camiones(69).....	33
Figura 60. Symbioz Concept car de Renault (81).....	34
Figura 61. EZ-PRO Concept car de Renault (69).....	34
Figura 62. EZ-GO Concept car de Renault (69).....	35
Figura 63. Diseño salpicadero ZF y Faurecia (85).....	35
Figura 64. Diseño salpicadero ZF y Faurecia, joystick para conducción manual y pantallas individuales (85).....	36
Figura 65. Cámaras de Continental: cámara stereo, cámara visión trasera y cámara con visión nocturna (86).....	36
Figura 66. Radares de Continental: largo y corto alcance (86).....	36
Figura 67. LiDAR de Continental, combinado con cámara y HFL (86).....	37
Figura 68. Radares de medio y largo alcance, y su campo de detección (33).....	37
Figura 69. Sensores por ultrasonidos y su localización (33).....	37
Figura 70. Cámaras de corto alcance (33).....	38
Figura 71. Cámaras mono y stereo (33).....	38
Figura 72. Sensor de ángulo de la dirección (33).....	38
Figura 73. Localización de los sensores para ADAS y vehículos autónomos (87).....	38
Figura 74. Previsión de Mojo Motors en 2014 para el vehículo autónomo (21).....	39
Figura 75. Niveles de maduración tecnológica TRL (21).....	40
Figura 76. Previsión del SMMT en 2015 de los sistemas ADAS y conectividad.....	41
Figura 77. Penetración en el mercado Reino Unido (89).....	41
Figura 78. Previsión para vehículos particulares de el ERTRAC en 2015.....	42
Figura 79. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2015.....	42
Figura 80. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2015.....	43
Figura 81. Previsión para vehículos particulares del ERTRAC en 2019.....	43
Figura 82. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2019.....	44
Figura 83. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2019.....	44
Figura 84. OSCCAR Poject y su consorcio de socios (91).....	45
Figura 85. Áreas de desarrollo del OSCCAR Poject (91).....	45
Figura 86. Project VIRTUAL y grupo asesor (92).....	46
Figura 87. Primer HBM disponible en una plataforma OpenVT (92).....	47
Figura 88. Crash tests de Euro NCAP sobre VW Polo: 1 ^{er} (1997) y más reciente (2017) (93).....	49
Figura 89. Evaluación Euro NCAP de seguridad pasiva: impactos (93).....	50
Figura 90. Evaluación Euro NCAP de seguridad pasiva: asiento(93).....	50
Figura 91. Evaluación Euro NCAP de seguridad pasiva: atropello(93).....	50
Figura 92. Evaluación Euro NCAP de seguridad activa: ESC(93).....	50
Figura 93. Evolución de la valoración Euro NCAP del VW Passat (93).....	51
Figura 94. Valoración dual Euro NCAP (93).....	52
Figura 95. GVT- Vehículo objetivo global, vehículo simulado para pruebas ADAS (94).....	53
Figura 96. AEB urbano/interurbano (43,44).....	53
Figura 97. Evaluación AEB en escenario CCRs (29).....	53
Figura 98. Evaluación AEB en escenario CCRm (29).....	54
Figura 99. Evaluación AEB en escenario CCRb (29).....	54
Figura 100. Evaluación Euro NCAP de AEB para peatones: dummies empleados (95) y escenarios (96).....	54
Figura 101. Evaluación Euro NCAP de AEB para ciclistas: dummy empleado (95) y escenarios (97).....	55
Figura 102. SLIF (30).....	55
Figura 103. AEB escenarios cut-in y cut-out (29).....	56
Figura 104. LKA (29).....	57

Figura 105. Pruebas para evaluación de RCTA: contra vehículo 16" solapamiento (35)	58
Figura 106. Pruebas para evaluación de RCTA: contra vehículo 45° (35).....	58
Figura 107. Pruebas para evaluación de RCTA: contra vehículo 10° (35).....	58
Figura 108. Pruebas para evaluación de RCTA: contra poste fijo (35)	58
Figura 109. Árbol de sensores de luminancia Gráfico de los escenarios y los rangos de luces (28)	59
Figura 110. Evaluación de iluminación en IIHS: pobre vs aceptable (28)	59
Figura 111. Previsión para vehículos particulares de el ERTRAC en 2015	71
Figura 112. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2015	72
Figura 113. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2015	72
Figura 114. Previsión para vehículos particulares de el ERTRAC en 2018	73
Figura 115. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2018	73
Figura 116. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2018	74
Figura 117. Previsión del SMMT en 2015 de los sistemas ADAS y conectividad	74
Figura 118. Evaluación AEB solapamiento entre VUT y GVT (25)	75
Figura 119. Evaluación AEB en escenario CCRs (15,25)	75
Figura 120. Evaluación AEB en escenario CCRm (15,25).....	75
Figura 121. Evaluación AEB en escenario CCRb (15,25).....	76
Figura 122. Evaluación AEB: código de colores según velocidad de impacto y ejemplo de tabla de OEM (25)	76
Figura 123. Evaluación AEB para VRU: dummies (95).....	76
Figura 124. Evaluación AEB para VRU: características de los escenarios, velocidades de VUT y VRU (95).....	77
Figura 125. Evaluación AEB para VRU: CPFA-50 (95).....	77
Figura 126. Evaluación AEB para VRU: CPNA-25 y CPFA-75 (95).....	77
Figura 127. Evaluación AEB para VRU: CPNC-50 (95).....	78
Figura 128. Evaluación AEB para VRU: CPLA-25 y CPLA-50 (95)	78
Figura 129. Evaluación AEB para VRU: CBNA-50 (95)	79
Figura 130. Evaluación AEB para VRU: CBNA-50 CBLA-25 y CBLA-50 (95)	79
Figura 131. Pruebas para evaluación de ELK: borde de calzada (95).....	80
Figura 132. Pruebas para evaluación de ELK: línea continua (95)	80
Figura 133. Pruebas para evaluación de ELK: vehículo aproximándose en dirección contraria (95)	80
Figura 134. Pruebas para evaluación de ELK: vehículo aproximándose (95)	80
Figura 135. Pruebas para evaluación de LKA: línea discontinua (95)	81
Figura 136. Pruebas para evaluación de LKA: línea continua (95)	81

NOMENCLATURA

ABS	<i>Anti-lock Brake System</i> Sistema antibloqueo de frenos
ACC	<i>Adaptive Cruise Control</i> Control de Crucero Adaptativo
ACSF	<i>Automated Commanded Steering Function</i> Función dirección accionam. automatizado
ADAS	<i>Advanced Driving Assistance System</i> Sist. avanzados de asistencia a la conducción
AEB	<i>Autonomous Emergency Braking</i> Frenado autónomo de emergencia
BLIS	<i>Blind Spot Information System</i> Sistema de información del ángulo muerto
BSD	<i>Blind Spot Detection</i> Detección de ángulo muerto
BSM	<i>Blind Spot Monitoring</i> Monitorización del ángulo muerto
BSW	<i>Blind Spot Warning</i> Alerta de ángulo muerto
CAV	<i>Connected Autonomous Vehicle</i> Vehículo Autónomo Conectado
CC	<i>Cruise Control</i> Control de crucero, Regulador de velocidad
ELK	<i>Emergency lane keeping</i> Mantenimiento de carril de emergencia
ESC	<i>Electronic Stability Control</i> Control electrónico de la estabilidad
ESP	<i>Electronic Stability Program</i> Programa Electrónico de estabilidad
FCW	<i>Forward Collision Warning</i> Alerta de colisión por alcance
iACC	<i>Intelligent Adaptive Cruise Control</i> Control de Crucero Adaptativo Inteligente
IPAS	<i>Intelligent Parking Assist System</i> Sistema de asistencia al aparcamiento inteligente
ISA	<i>Intelligent Speed Assistance</i> Asistente inteligente de velocidad
LCA	<i>Lane Change Assist</i> Asistente de cambio de carril
LKA	<i>Lane Keeping Assistant</i> Asistente de mantenimiento de carril
LKS	<i>Lane Keeping System</i> Sistema de mantenimiento de carril
LSS	<i>Lane Support System</i> Sistema soporte Carril
PDC	<i>Parking Distance Control</i> Control de distancia de aparcamiento
RCTA	<i>Rear cross traffic alert</i> Alerta de tráfico trasero cruzado
SLF	<i>Speed Limitation Function</i> Limitador de velocidad
SLIF	<i>Speed Limit Information Function</i> Función de información del límite de velocidad
SmartACC	<i>Smart Adaptive Cruise Control</i> Control de Crucero Adaptativo Inteligente
GVT	<i>Global Vehicle Target</i> Vehículo objetivo global
HBM	<i>Human Body Model</i> Modelo de cuerpo humano (virtual)
VRU	<i>Vulnerable Road Users</i> Usuarios vulnerables de la vía
VUT	<i>Vehicle Under Test</i> Vehículo a prueba

ERTRAC	<i>European Road Transport Research Advisory Council</i> Consejo Consultivo Europeo de Investigación del Transporte por Carretera
HLDI	<i>Highway Loss Data Institute</i> Instituto de datos de pérdidas en carretera
IIHS	<i>Insurance Institute for Highway Safety</i> Instituto de seguros para la Seguridad en Carreteras
NCAP	<i>New Car Assessment Programme</i> Programa de Evaluación de Nuevos Coches
NHTSA	<i>National Highway Traffic Safety Administration</i> Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carreteras
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i> Fabricante de equipo original
RCAR	<i>Research Council for Automobile Repairs</i> Consejo de investigación para reparaciones de automóviles
SMMT	<i>Society of Motor Manufacturers and Traders</i> Sociedad de fabricantes y comerciantes de automóviles de Reino Unido

1 INTRODUCCIÓN

La historia de la automoción comenzó ligada a la historia de los accidentes:

En 1834, la empresa escocesa de carruajes a vapor de John Scott Russell (1808-1882), Steam Carriage Co, construyó 6 vehículos. Fueron diseñados con la pretensión de cubrir la ruta Glasgow-Edimburgo, pero las autoridades se opusieron, y la compañía decidió cambiarla por Glasgow-Paisley. En marzo de ese mismo año comenzó a dar servicio, realizando el recorrido en 34min, alcanzando una velocidad máxima aproximada de 30km/h (20mph). Podía transportar un aforo de 26 pasajeros, pero habitualmente llegaba a transportar hasta 40, además de 3 tripulantes (un ingeniero/conductor, sentado sobre el motor y la caldera al final del carruaje, que controlaba la aceleración; un fogonero, de pie en el escalón detrás, echando carbón a la caldera; y el timonel, sentado arriba en la delantera). Además, tiraba de un remolque que transportaba carbón, agua y más pasajeros.

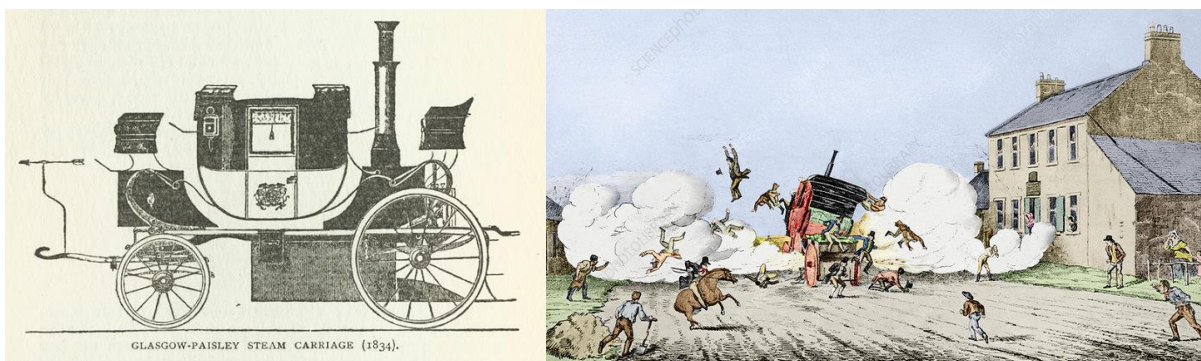


Figura 1. Izq. Dibujo de la diligencia a vapor de Scott Russell (1) / Dcha. Dibujo basado en los testimonios de los testigos, y publicado posteriormente en el libro "Histoire de la Locomotion Terrestre" (Paris, 1936) (2).

Al poco tiempo surgió el rumor de que las autoridades estaban molestas por el daño que los carruajes infringían, supuestamente, en la calzada. El 29 de julio, uno de los carruajes colisionó contra una pila de recebo que, al parecer, había sido intencionalmente colocada en medio de la ruta. Partió una rueda, y volcó, rompiendo la caldera que acabó explotando y causando la muerte a 5 pasajeros, además de varios heridos. El servicio fue cancelado exceptuando 2 carruajes que funcionaban en Londres. Si bien, teniendo en cuenta las habladurías, no se puede tener la certeza de que este acontecimiento fuera fortuito, es considerado el primer accidente fatal de tráfico. (1-3)

En lo que atañe a vehículos propulsados por un motor de combustión interna, se considera que el primer accidente tuvo lugar el 17 de agosto de 1896: Bridget Briscol paseaba junto a su hija por las inmediaciones del Crystal Palace, en Londres, cuando fue arrollada por un vehículo cuyo conductor declaró circular a 4mph (6,44km/h), aunque todo parece indicar que circulaba a más velocidad. Bridget falleció a la edad de 45 años como consecuencia de las lesiones sufridas, convirtiéndose así en la primera víctima de atropello (4).



Figura 2. Foto familiar de Bridget Briscol, primera persona fallecida tras ser atropellada por un vehículo de combustión interna (4).

Dos años después, en febrero de 1898, Henry Lindfield sufría un accidente de tráfico cuando conducía de Londres a Brighton, acompañado de su hijo, en su automóvil con motor de encendido provocado (MEP). Los medios de comunicación de la época se hicieron eco, apareciendo pequeñas menciones en periódicos que relataban el suceso: al parecer, el Sr Lindfield perdió el control del aparato saliéndose de la calzada, estrellándose contra un árbol tras cruzar una valla; como consecuencia de las lesiones sufridas tuvo que ser amputado de una pierna y al día siguiente falleció debido a un shock hipovolémico (5,6).

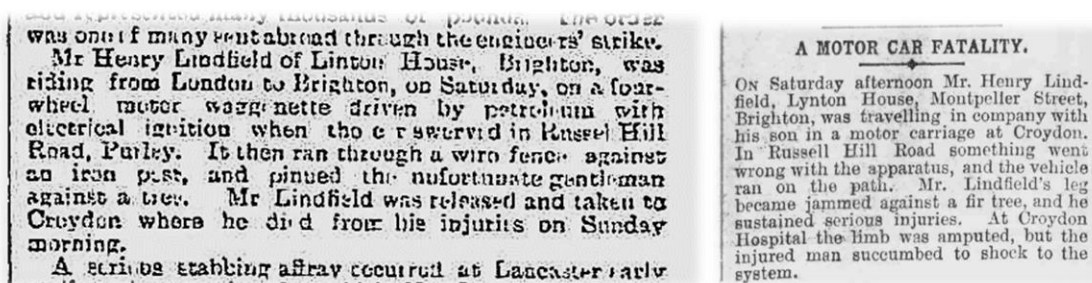


Figura 3. Izq. Periódico "The Newcastle Courant", 19 Febrero 1898; extracto de la sección "General News", pag 3./ Dcha. Periódico "The Illustrated Police News", 19 Febrero 1898; artículo "A motor car fatality", pag 5.

Los accidentes continuaron sucediéndose a lo largo del siglo XX. A continuación, a modo de ejemplo dentro de nuestras fronteras, el accidente acaecido en diciembre de 1930 en el punto kilométrico 144 en la carretera de Villacastín a Vigo, que recogía el periódico ABC en el siguiente artículo:

"Ávila. Tremendo accidente automovilista. Estado en el que quedaron los dos coches que chocaron en la carretera de Villacastín a Vigo, ocasionando la muerte del dueño de uno de ellos y heridas graves a diez personas más" (7)



Figura 4. Instantáneas del accidente: Izq. fuente Avilas.es (8) / dcha. Hemeroteca ABC (7), ambas fotografías tomadas por Encinar.

El 8 de julio de 2013, en la N-403, en Tornadizos, provincia de Ávila, un autobús se salía de la calzada al tomar una curva a izquierdas, circulando dentro los límites permitidos. Golpeó y arrastró por el talud de rocas afiladas, hasta acabar volcado sobre el guardarrail. Fallecían 9 personas y otras 22 resultaban heridas. El conductor declaró in situ que se había quedado dormido al volante.



Figura 5. Accidente autobús en Tornadizos Jul-2013 y diagrama explicativo del acontecimiento (9)

Más de 100 años después del primer fallecimiento como consecuencia de un accidente de tráfico, hoy en día, desgraciadamente, seguimos encontrando noticias a diario de accidentes de tráfico con víctimas mortales en nuestro entorno más cercano. Dentro de nuestras fronteras mueren en carretera mensualmente, durante las primeras 24 h tras el siniestro, más de 70 personas:

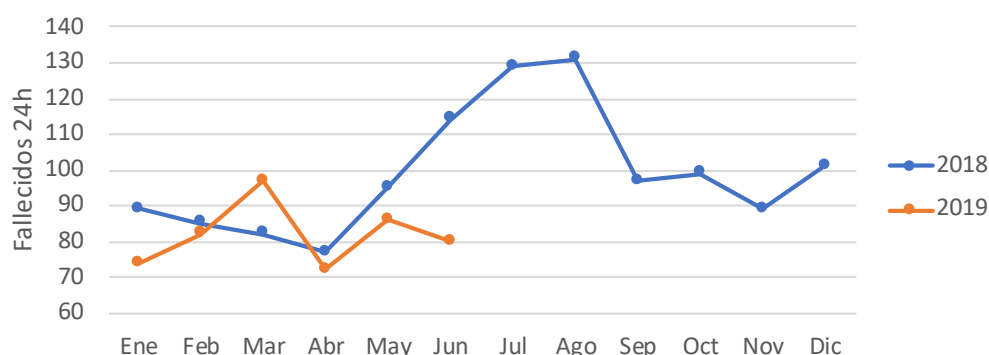


Figura 6. Fallecidos 1^{as} 24 h en accidentes de tráfico interurbanos, años 2018 y 2019 (10)

1.1 La Seguridad en el Automóvil

La seguridad en la automoción engloba el estudio, diseño y construcción de todos los avances tecnológicos, así como las regulaciones que se han introducido a lo largo de la historia de la automoción, tanto en los vehículos, como en las infraestructuras, para minimizar el número de siniestros y sus consecuencias, con vistas a la erradicación de esta lacra.

1.1.1 Importancia de la seguridad

A pesar de todos los avances obtenidos en los años de historia de la seguridad en la automoción, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud OMS, en 2018 un total de 1,35 millones de personas fallecieron como consecuencia de accidentes de tráfico. Estos son la principal causa de muerte en niños y jóvenes adultos de entre 5 y 29 años; y la octava causa de muerte a nivel general. (11)

Mientras tanto, en España, la Dirección General de Tráfico recoge datos estadísticos de circulación, como parque de vehículos, matriculaciones, accidentes, víctimas (heridos y mortales), y otros datos de esta índole desde el año 60. Se ha calculado el número de fallecidos anuales en accidentes de tráfico por cada cien mil vehículos en el parque automovilístico. Representando gráficamente esta serie histórica, frente al total de víctimas y el número de vehículos en circulación por año, en términos generales se observa que: (12)

- Hasta el año 1989 el número de víctimas crece desde los 1300 hasta los 7200, aproximadamente, y a partir de ahí comienza a decrecer hasta el año 2013, cuando la cifra parece estancarse alrededor de las 1700, sufriendo un pequeño repunte llegando a las 1800 en 2016 y 2017.
- El número de vehículos crece paulatinamente desde 1 millón en el año 60, hasta los 31 millones del año 2008. Debido a la crisis económica, las ventas de vehículos cayeron y, por tanto, el número de nuevas matriculaciones también, haciendo que el parque de vehículos se estancase hasta que se reactivaron las ventas, llegando a los 32 millones en el 2016 y los 33 millones en 2017.
- Analizando el número de fallecidos por cada 100.000 vehículos, se hace patente que a pesar de que hasta el 89 crecen, tanto el número de vehículos en circulación como el número de fallecidos, la probabilidad de perecer en accidente de tráfico desciende desde un máximo de $136,5 \text{ fallecidos/vehículo} \times 10^5$, hasta los $48,3 \text{ fallecidos/vehículo} \times 10^5$ del año 89; a partir de ahí y hasta principios de los 2010, la cifra sigue cayendo, cada vez en menor medida, hasta que se estanca alrededor de los $5,5 \text{ fallecidos/vehículo} \times 10^5$.

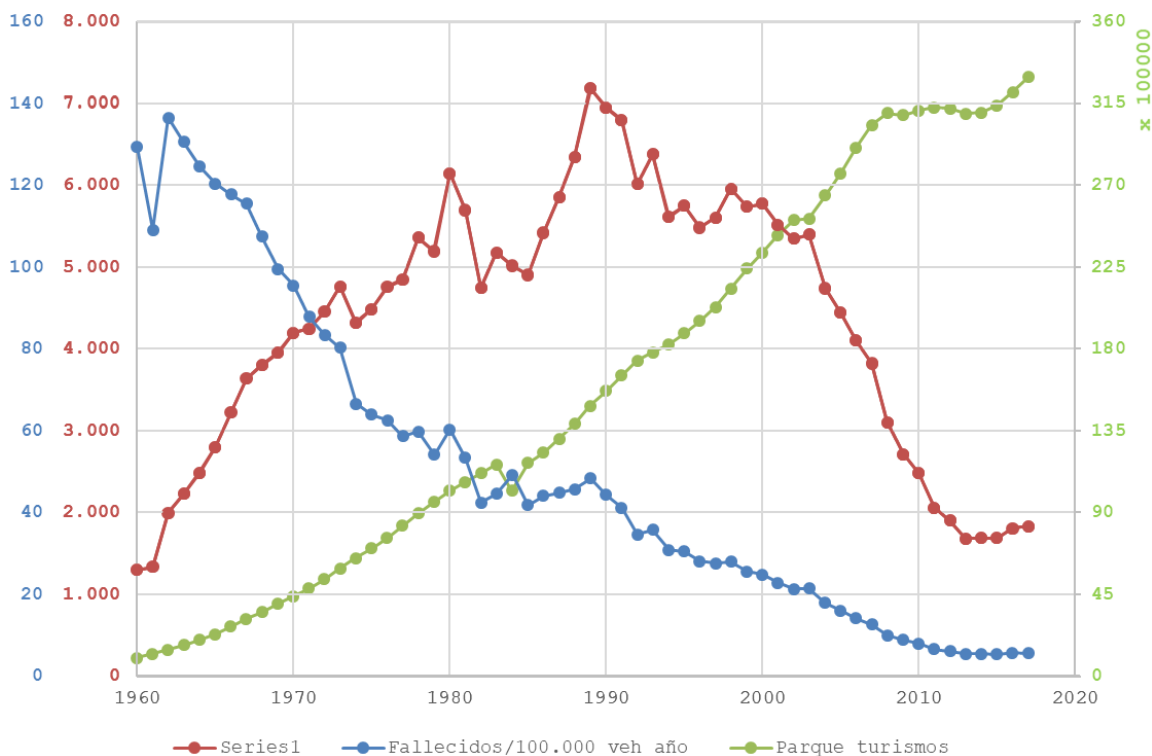


Figura 7. Gráfica "Fallecidos anuales por cada 100 mil vehículos en circulación" (hasta 19 93 fallecidos 1^{as} 24h, después hasta 1 mes).(12)

Los accidentes de tráfico no solo provocan una dura huella debido a las pérdidas de vidas, sino que se acompañan de un gran impacto económico. De acuerdo con la Unión Europea este coste alcanza los 160.000 millones de euros, o lo que es lo mismo el 2% de Producto Interior Bruto (PIB). Esta cifra aún los costes provocados por la atención sanitaria, las indemnizaciones, la reparación de vehículos y las infraestructuras, los costes administrativos, ...

1.1.2 Las causas de los accidentes de tráfico: factores de riesgo

Entendemos por factor de riesgo todo aquel elemento, fenómeno, condición, circunstancia o acción humana que incrementa la probabilidad de que ocurra un accidente. Los accidentes sobrevienen como resultado de una conjunción o concurrencia desfavorable de múltiples factores, en un momento y lugar determinado. De manera tradicional estos factores suelen englobarse en los tres elementos generales implicados en toda situación de tráfico: la vía y su entorno, el vehículo y el propio conductor.

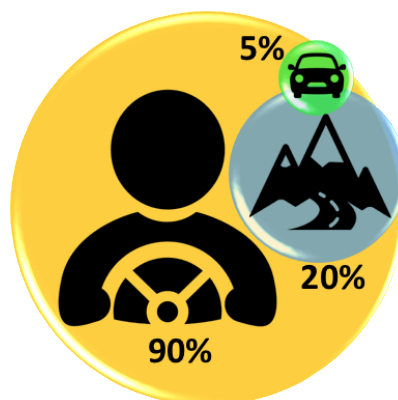


Figura 8. Peso de los factores en un accidente de tráfico

La vía y el entorno exigen una atención por parte del conductor debido a las características de la vía, el trazado, las condiciones de conservación, las condiciones medioambientales, el estado de la circulación y las normas. En cuanto al vehículo pesan varios factores que al final representan entre el 4 y el 13% de

los accidentes, entre otros a tener en cuenta son: tipo de vehículo, antigüedad, estado de mantenimiento, carga...

Por último y como actor principal de los accidentes, está el conductor. Son muchos los factores que intervienen en las capacidades y la buena condición de las personas. El conductor ha de responder a las exigencias de la conducción y los estímulos que percibe para, en última instancia, tomar decisiones. La capacidad de respuesta del conductor se ve influenciada por la información recibida, la cantidad de ésta, el tiempo en valorarla y por último tomar, una decisión en consecuencia. Los factores principales son, por lo tanto:

- El estado psicofísico: el buen funcionamiento de éste se puede ver influenciado no sólo por elementos intrínsecos de la persona (edad, defectos de visión, capacidades motrices alteradas, pérdidas auditivas, ansiedades, preocupaciones, fatigas, ...), si no, y aún más importantes, son los elementos extrínsecos que alteran de manera negativa su estado: alcohol, drogas psicotrópicas, sustancias alucinógenas, ciertos medicamentos, ...
- El nivel de vigilancia: este debe de adaptarse al estado de la circulación, fluidez de la vía, meteorología, estado del firme
- El conocimiento de la normativa
- La competencia técnica del conductor: ésta depende del aprendizaje, no sólo durante el periodo practico sino a lo largo de los años de conducción, los kilómetros recorridos, los hábitos adquiridos y las experiencias previas.

A mayores, estos factores principales se pueden ver alterados por diversos estímulos. Como dato destacable en los últimos años, la introducción de nuevas tecnologías que facilitan la vida de las personas, los sistemas de información y entretenimiento, se han convertido al mismo tiempo en un problema, debido a las distracciones que provocan.

En 1970, William Haddon Jr, desarrolló un método para analizar los factores, según la fase del accidente en la que contribuyen (antes, durante y después del accidente), organizados en una matriz bidimensional como la mostrada a continuación. Con ello se analiza la actuación y peso de cada uno de los factores para el desarrollo de contramedidas, para evitar el accidente o mitigar sus consecuencias. Existen matrices con más celdas para el análisis más detallado, inclusive tridimensionales para añadir criterios de otra índole (efectividad, coste, factibilidad,...), y es tan útil, que se emplea en otros campos que requieren el análisis de los agentes implicados y la secuencia de acción para ciertos acontecimientos.

		FACTORES		
FASES		SER HUMANO	VEHÍCULO	ENTORNO
PRE ACCIDENTE	PREVENCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Información (DGT y medios de comunicación) - Concienciación vial (educación vial) - Aplicación de la reglamentación por vía punitiva (medidas sancionadoras) - Conocimiento de la normativa - Actitud - Aptitudes / Experiencia - Estado físico - Conducción bajo los efectos de sustancias que alteran las habilidades 	<ul style="list-style-type: none"> - Buen estado técnico: <ul style="list-style-type: none"> · Sistema de frenado · Sistema de dirección · Sistema de control de la velocidad · Neumáticos · Sistema de alumbrado 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de vía - Diseño y trazado de la vía pública (mantenimiento) - Límites de velocidad - Condiciones climatológicas (Adecuación de la velocidad a las circunstancias)
ACCIDENTE	PROTECCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización de dispositivos de retención - Uso del casco - Enfermedades... 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad - Dispositivos de retención y mitigación (cinturones, airbags,...) - Diseño de la carrocería (masa, rigidez...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Objetos protectores contra choques - Obstáculos en la vía
POST ACCIDENTE	ASISTENCIA	<ul style="list-style-type: none"> - Primeros auxilios - Acceso a atención medica - Seguro médico 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidad de acceso - Riesgo de incendio - Capacidad de extracción - Servicios de auxilio 	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios de emergencia - Proximidades de servicios de emergencia - Congestión del tráfico

Figura 9. Matriz de Haddon

1.1.3 Tipos de seguridad

Atendiendo a la clasificación de Haddon, según en el momento en que entran en acción, se diferencian tres tipos de seguridad en el automóvil:

- 1- **Seguridad pasiva:** cuyo objetivo es disminuir los daños sufridos por los ocupantes durante el accidente y mitigar las consecuencias del “segundo impacto” (véase 1.1.4). Los ejemplos más obvios de este tipo de seguridad son los cinturones y los airbags; mientras que otros equipamientos pasan más desapercibidos como los chasis con deformación programada y celda de seguridad.
- 2- **Seguridad activa:** cuyo objetivo es evitar el accidente. Dentro de esta seguridad encontramos los sistemas de frenado (ABS, TCS, ESP, ...), la suspensión y la dirección, los sistemas de asistencia (SBR, LDW, LKS, ...), la carrocería o los acabados del vehículo.



Figura 10. Visión clásica de la seguridad activa y pasiva

- 3- **Seguridad integrada:** se trata del concepto más moderno en seguridad del automóvil, es una sinergia entre los elementos de seguridad activa y pasiva. Aúna los sistemas que monitorizan el entorno y la conducción, evalúan el riesgo, avisan e intervienen en caso de peligro, mitigan las consecuencias y entran en contacto con las asistencias.



Figura 11. Visión moderna de la seguridad integrada

A día de hoy, la seguridad pasiva es una tecnología al límite de su desarrollo, mientras que tanto la seguridad activa como la integrada continúan siendo el foco de desarrollo en vistas a la disminución de los accidentes.

Finalmente, siendo el **factor humano** la **causa** mayoritaria de los **sinistros**, y ante la **imposibilidad** de que la seguridad activa **evite todos los errores humanos**, y que la seguridad pasiva logre que se pueda **sobrevivir a todos los accidentes**, todo apunta a que la solución más lógica para alcanzar el objetivo mundial “visión ZERO” es **retirar al conductor de la ecuación**. Es decir, el futuro de la automoción es la **autonomía**.

1.1.4 La evolución de la seguridad

Durante la conducción puede ocurrir un contratiempo, además, los seres humanos cometen errores, por lo que los accidentes son inevitables, así que lo más obvio, y la mejor forma de afrontarlos es tratar de aumentar las posibilidades de supervivencia de los ocupantes cuando estos tengan lugar.

En un accidente de tráfico se libera una gran cantidad de energía debida a la energía cinética acumulada por el vehículo, así como por los ocupantes y enseres que transporta. Esta energía se transforma en la fracción de tiempo que dura la colisión, acarreado daños materiales y personales. En función del momento y las partes implicadas durante la colisión de un vehículo, se pueden diferenciar 3 etapas:

- 1- **Primer impacto:** el vehículo colisiona contra un obstáculo, pudiendo ser éste otro vehículo u otro objeto, que se interpone en la trayectoria.
- 2- **Segundo impacto:** los ocupantes se golpean con elementos situados en el interior del vehículo
- 3- **Tercer impacto:** los órganos o vísceras impactan contra aquellas estructuras óseas o musculares que deberían protegerlos.

1- Primer impacto

La sabiduría popular alimentaba el falso mito de que el vehículo más seguro era el más “duro” y rígido. No podían estar más equivocados, dado que, construyendo los vehículos bajo esta premisa, esta energía es transmitida por el chasis del vehículo, hacia el interior del habitáculo, hasta llegar a los ocupantes, con consecuencias fatales.

Béla Barényi (1907 - 1997), fue un ingeniero prolífico que trabajó para Mercedes. Con más de 2500 patentes en su haber, es uno de los más productivos y creativos desarrolladores de automoción que revolucionó el concepto de seguridad, cambiando para siempre el diseño de los vehículos (13).

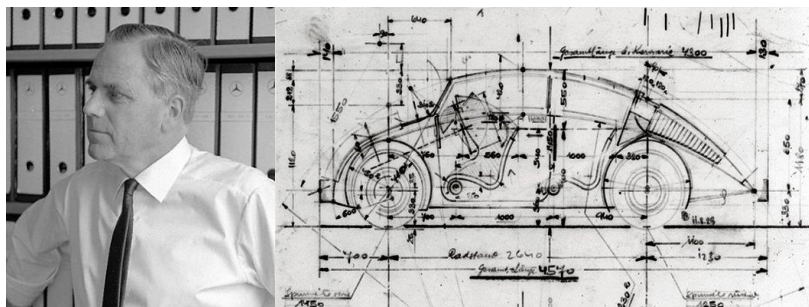


Figura 12. Béla Barényi (14) y su boceto realizado hacia 1924-1925 del “kommenden Volkswagen” (15).

Siendo estudiante de ingeniería en Viena, alrededor de los años 1924 – 1925, realizó unos bocetos sobre el “futuro coche de la gente”, en alemán “kommenden Volkswagen”, lo que demuestra que fue el padre intelectual del famoso VW Beetle. Hasta los años 50 el vehículo no vería la luz, de mano de Ferdinand Porsche, cuya autoría tuvo que disputarse (13,15).

A él le debemos ideas como: la columna de dirección colapsable, o los limpiaparabrisas empotrados (para proteger a los peatones en caso de atropello; fueron diseñados en 1951 y materializados en 1976, en la generación W126 del Clase S)

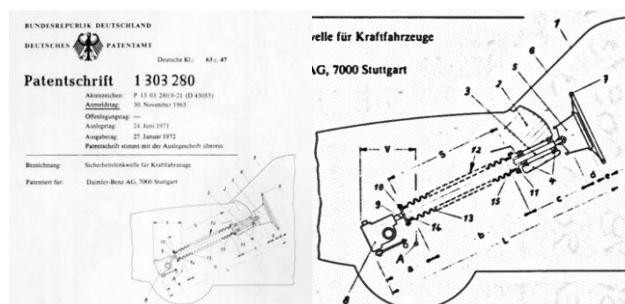


Figura 13. Patente de la columna de dirección colapsable de Béla Barényi, 30 noviembre de 1963 (14).



Figura 14. Generaciones W 112, W 109, W 116 y W 126 (1976) del Clase S de Mercedes-Benz; limpiaparabrisas empotrados (14).

Barényi ideó una “carrocería con seguridad mejorada” que absorbía y disipaba la energía cinética, transformándola durante la colisión, invirtiéndola en la deformación de los extremos delantero y/o trasero del vehículo, de una manera concreta pre-programada; mientras, los pasajeros permanecían a salvo en el interior de una celda de seguridad indeformable (16). Estas ideas se concretaron en varias patentes como las mostradas a continuación.

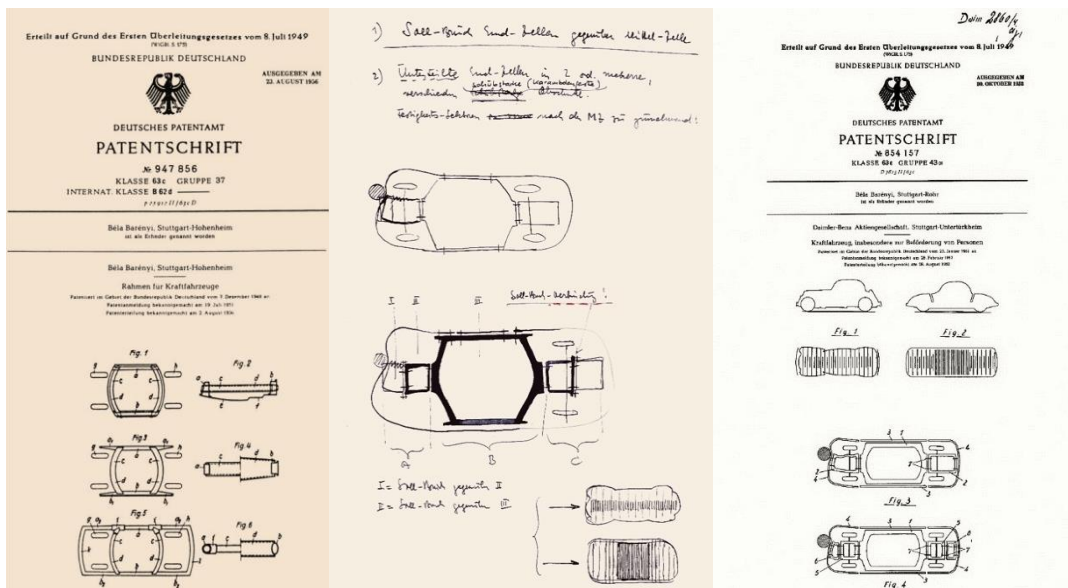


Figura 15. Izq. Patente “Chasis para vehículos motorizados” 1948” (17) / Centr. Boceto del concepto “carrocería con seguridad mejorada” (14) / Dcha. Patente DRP No. 854 157 “Vehículo motorizado, especialmente para el transporte de personas” para Daimler-Benz AG, 1951 (14) todos ellos de Béla Barényi.

En 1959, con la entrada en producción del Mercedes-Benz serie W111 modelo 220b, conocido como “Mercedes colas”, se materializó el concepto de seguridad vislumbrado por Barényi.



Figura 16. Primer crash test realizado por Mercedes-Benz, 10 septiembre 1959 colisión frontal contra barrera rígida, vehículo de la serie W111, Mercedes 220 (1959 - 1968). (14)

2- Segundo Impacto

Pese a que la carrocería del vehículo se ha detenido, los ocupantes siguen la trayectoria marcada por el automóvil, hecho explicado por el principio de conservación del movimiento. Sin nada que obstaculice su desplazamiento hasta colisionar con el interior del habitáculo; en particular, en un golpe frontal los conductores se golpeaban fuertemente en la cara y en el pecho contra el volante. Es este segundo impacto el que supone una amenaza para la vida.

A principios de los años 60 a pesar de los *crash tests* realizados con *dummies*, los científicos no sabían lo que suponía para el cuerpo humano las fuerzas registradas en los ensayos. Era necesario conocer los límites de las fuerzas que una persona puede soportar antes de sufrir lesiones irreversibles.

En el Centro de Estudios de Biomecánica, en la Universidad Estatal de Wayne en Detroit, Michigan, el equipo del profesor Lawrence “Larry” M. Patrick (1920 – 2006), comenzó a estudiar cómo se fracturaban los cráneos, para ello, por muy desagradable que pueda parecer, emplearon cadáveres humanos (*post mortem human surrogate*). (18)

En los primeros ensayos, los cadáveres se dejaban caer de cabeza, desde diferentes alturas, sobre una plancha de metal. Previamente se habían instrumentado, en la zona trasera del cráneo, para recoger las aceleraciones a las que se veían sometidos. Después, se examinaban las consecuencias de los impactos, confrontando las lesiones con las fuerzas calculadas a partir de los datos obtenidos por los acelerómetros.

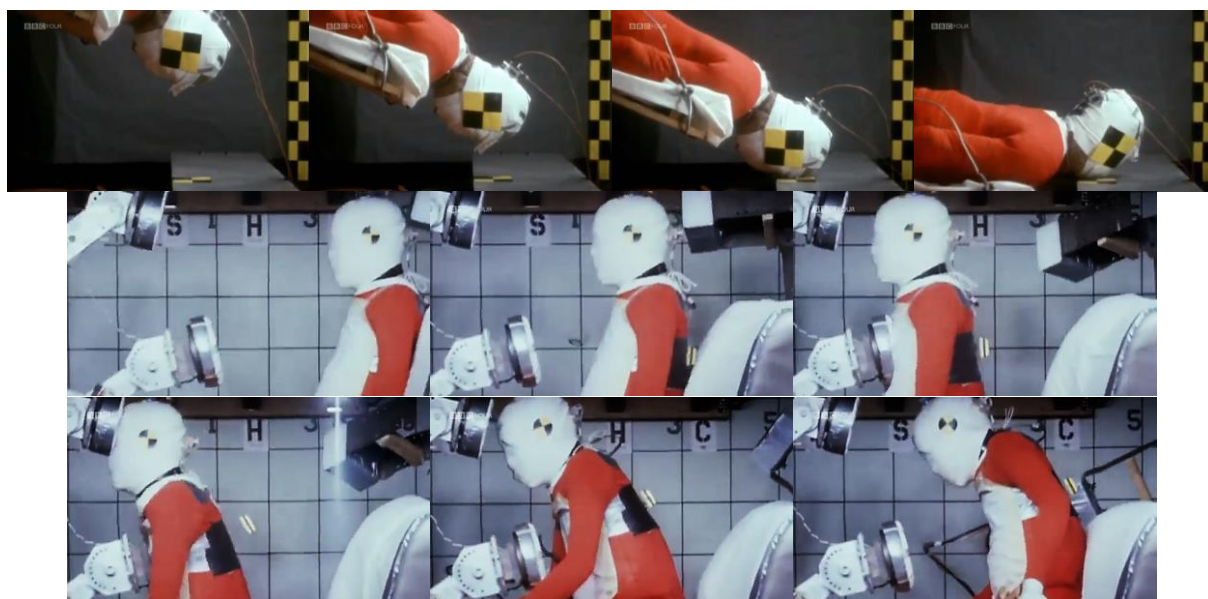


Figura 17. Ensayos con cadáveres Universidad Estatal Wayne en Detroit: estudio sobre fractura de cráneo, secuencia del impacto | estudio de daños en cráneo, y tórax, secuencia del impacto. (19)

A mediados de la década, se comenzaron a hacer ensayos para estudiar los límites de otras partes del cuerpo, tórax, rodillas, ... Tres décadas de ensayos con cadáveres, que fueron cruciales para la obtención de un mapa de las fuerzas que es capaz de soportar el cuerpo humano; sin embargo, seguía siendo insuficiente, porque lo que se necesitaba conocer, realmente, era la tolerancia de un cuerpo humano vivo.

Fue el propio “Larry” el que se ofreció voluntario, exponiendo su integridad física, durante 15 años, a cientos de ensayos para el estudio de la biomecánica del cuerpo humano y la obtención de un mapa, ahora sí completo, de las fuerzas que es capaz de soportar una persona. (20)

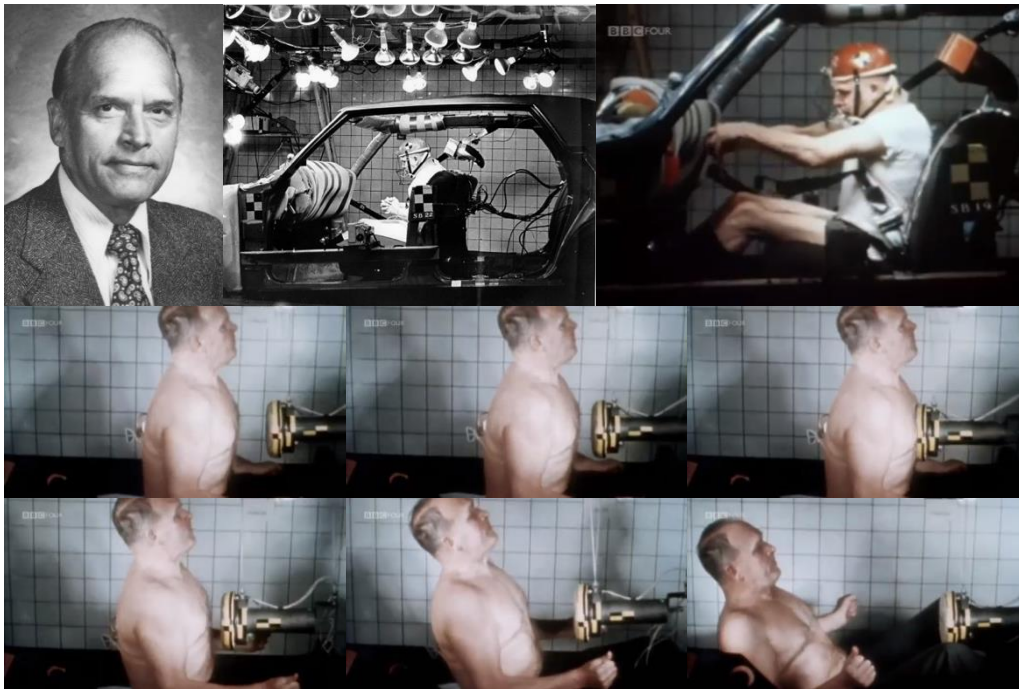


Figura 18. Lawrence "Larry" Patrick; como voluntario: arriba, momentos previos y durante un ensayo; durante un ensayo de péndulo (18,19).

De entre todos los sistemas de seguridad pasiva inventados, el más trascendental y al que más vidas salvadas se le atribuyen, es el cinturón de seguridad. Con las características por las que le conocemos hoy en día, el cinturón de 3 puntos, fue inventado por el ingeniero de Volvo Nils Bohlin (1920 - 2002), y lo instalaron por primera vez en el Volvo P120 en 1959. De ahí en adelante, la marca lo incorporó como equipamiento de serie en todos sus vehículos



Figura 19. Nils Bohlin inventor del cinturón de seguridad de 3 puntos; y Volvo P120, 1^{er} vehículo en incorporarlo (21)/ Cinturón de seguridad de 2 puntos, Volvo PV 444 (1940) (21)

Previamente existían cinturones de 2 puntos, pero suponían una sujeción muy pobre, y en lo que a seguridad se refiere, muy ineficaces. Nils se dio cuenta de que, para la correcta protección de los ocupantes, tanto la cadera como el tronco, debían estar sujetos durante la colisión. Necesitaban un dispositivo que mantuviese sujeta tanto la pelvis como el tórax, que fuera sencillo y de fácil colocación.

Muchos OEMs (*Original Equipment Manufacturer*) eran reacios a la instalación, y el público se mostraba reticente al uso de este y otros dispositivos de seguridad que, a mediados de los 60, ya existían. Sin una imposición/imperativo legal por parte de los gobiernos, ambas partes hacían caso omiso a los estudios excusándose con pretextos banales (costes, comodidad, libertad, ...), dejando pasar por alto los grandes beneficios que podían suponer para la supervivencia.

Desde enero de 1967, en Estados Unidos, los vehículos tendrían que cumplir con 22 nuevos estándares de seguridad; desde la columna de dirección colapsable, al retrovisor; los cinturones tendrían que

instalarse por ley. Al poco tiempo, Europa recogió el testigo imponiendo estándares de protección en caso de accidente similares.

En la década de los 70 comenzó a descender en número de fallecidos en accidentes de tráfico, sin embargo, gran parte de los usuarios continuaba sin ponerse el cinturón de seguridad. Además, en ciertos países, resulta imposible imponer legalmente su uso ya que atenta contra la libertad personal.

Tras 13 años de desarrollo, el airbag para el conductor vio la luz en el año 1981 de manos de otro ingeniero de Mercedes, Guntram Huber, en la serie W/V 126 (22)

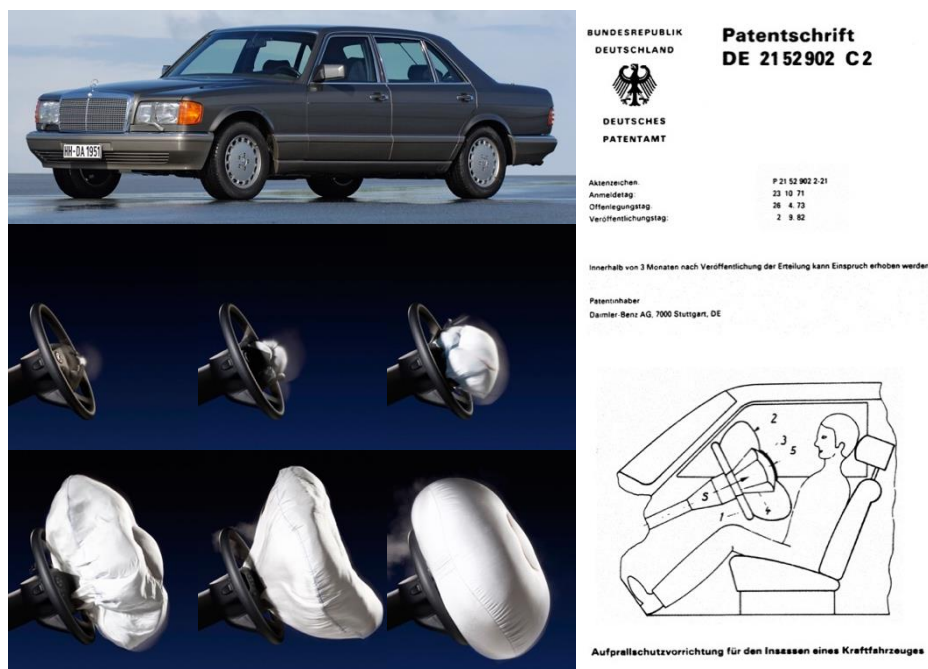


Figura 20. Mercedes clase S, generación 126 1ª en equipar airbag para el conductor; secuencia despliegue airbag; y solicitud de patente del airbag de octubre de 1971 (14).

3- Tercer impacto

El tercer impacto era y es la etapa más desconocida de un accidente de tráfico. Una vez soliviantadas las consecuencias del primer y segundo impacto, no se comprendía porqué la gente salía de los accidentes sin grandes lesiones aparentes, pero en realidad, soportaban severos daños internos en vísceras. Como consecuencia del accidente se pueden encontrar traumatismos craneoencefálicos, laceraciones viscerales, estallidos, hemorragias internas, ...

El carácter de los daños cerebrales comenzó a cambiar. Airbags y cinturones evitaban la fractura del cráneo siendo reemplazados por otra forma de herida letal, los traumatismos craneoencefálicos, que hacía que las víctimas cayeran en coma.

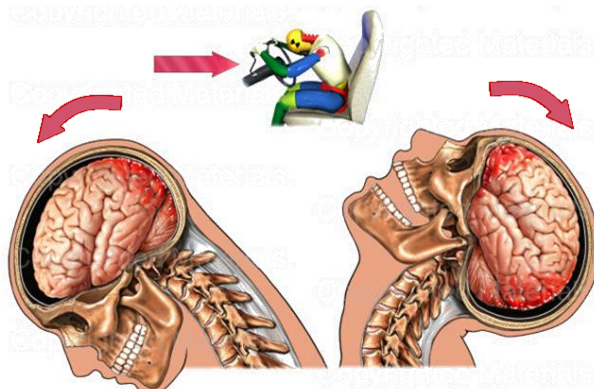


Figura 21. Traumatismo craneoencefálico (TCE) lesión por golpe-contra golpe, en golpe frontal y en golpe por alcance (23).

Tras ciertos estudios de dudosa ética con animales, se llegó a la conclusión de que son lesiones que, por las circunstancias que las propician, y las limitaciones físicas que se dan en los accidentes de tráfico, no se pueden evitar, sin embargo, sus consecuencias si se pueden mitigar. Esto implica, no sólo la actuación de ingenieros, diseñando mejoras en el automóvil, sino también la atención de sanitarios a la hora de un accidente de tráfico.

Todos los avances recopilados en este apartado se clasifican dentro de la seguridad pasiva. Con el paso del tiempo, su capacidad se ha ido mejorando y refinando hasta alcanzar los dispositivos que hoy en día equipan los vehículos disponibles en el mercado. Lo que se persigue es la disipación de la energía para evitar las grandes deceleraciones a las que se ven sometidos los ocupantes del vehículo, y el margen de mejora para este tipo de seguridad es muy limitado, debido a las circunstancias que se dan en los accidentes de tráfico, en las que el tiempo y espacio son escasos. Al no poder mejorarse las consecuencias de los accidentes, el siguiente paso es entonces evitarlos en primer lugar, lo que nos lleva a la seguridad activa. Y es a partir de este punto en el que se desarrolla el contenido del presente trabajo fin de máster.

1.2 Objetivos

La concienciación sobre la importancia de la seguridad está impulsando el cambio de la movilidad, con el propósito de lograr un futuro con cero accidentes y cero víctimas. Esto abre un sinfín de posibilidades y campos para lograr futuros avances. El principal propósito del grueso del trabajo es clarificar el presente y el futuro de la seguridad del automóvil ligado a la conducción autónoma. En particular se pretende:

- Definir la conducción autónoma y sus diferentes estadios.
- Identificar los hitos alcanzados, grado de desarrollo y confiabilidad en las tecnologías.
- Dar a conocer el grado de implantación real en la flota actual.
- Arrojar luz sobre el futuro de la movilidad autónoma.
- Dar a conocer los sistemas de evaluación y valoración que se emplearán.

1.3 Alcance y desarrollo del TFM

Para lograr dar respuesta a los objetivos marcados se ha recopilado información, ordenado y redactado y se ha expuesto dividiendo el trabajo en tres diferentes secciones.

Una primera sección en la que se definen los niveles de autonomía, para a continuación analizar, la evolución de los diferentes sistemas, el trabajo realizado por fabricantes, proveedores de servicios y proveedores de equipos.

Una segunda sección en la que se analizan diferentes *roadmaps*, para mostrar las expectativas que existen con respecto a la llegada de la movilidad autónoma, y la dificultad que supone indagar en el futuro. Se muestran algunos ejemplos de proyectos que está financiando la unión europea.

Y una última sección en la que se muestran las diferentes pruebas, que las asociaciones de consumidores y otras instituciones de seguridad, someten y someterán a los sistemas autónomos y de ayuda a la conducción para evaluar su efectividad.

2 ¿QUÉ ES UN VEHÍCULO AUTÓNOMO?

La autonomía es la condición de independencia de un individuo o una entidad en cierto concepto. Entonces, la autonomía referida al concepto de movilidad de un vehículo sería la facultad para conducirse por sus propios medios; medios para recoger información del entorno (sensores), medios para interpretar la información (unidades de control), y medios para actuar en consecuencia (actuadores).

Un sistema de conducción autónomo es aquel que, a tiempo completo, en cualquier condición de la calzada y del entorno, realiza todas las tareas que implican conducir un vehículo y que pueden ser manejadas por un conductor humano, sin ningún tipo de supervisión.

Por lo tanto, un vehículo que sea dirigido por un sistema de conducción autónomo será considerado un vehículo autónomo.

Las denominaciones usadas por la industria de la automoción para ciertos sistemas avanzados de asistencia a la conducción, o en ciertos proyectos de I+D+i encaminados a la consecución del vehículo autónomo, pueden llevar a la falsa creencia de que ciertas empresas ya ofrecen vehículos o servicios de transporte totalmente autónomos, sin embargo, esta situación no es todavía una realidad.

Para poder discernir correctamente entre un vehículo autónomo de aquel que no lo es, y dentro de los que no lo son, poder ordenarlos según el grado de autonomía, o dependencia del ser humano o de sus tecnologías, es necesario emplear una escala cuyos niveles estén correctamente delimitados y donde los sistemas que los integren queden bien definidos, sin dejar lugar a interpretaciones. Fueron varias las instituciones que trataron de enfrentarse a esta tarea, entre ellas, la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en Carretera en Estados Unidos, conocida como NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), o en Alemania, el Instituto Federal de Investigación de Carreteras, BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen), sin embargo, la clasificación que ha trascendido (más concisa) ha sido la de la Sociedad de Ingenieros de Automoción, SAE (Society of Automotive Engineers).

La clasificación de la autonomía de la SAE consta de 6 niveles, partiendo desde la “no autonomía” correspondiente al nivel 0, hasta llegar a la autonomía total, que corresponde al nivel 5.

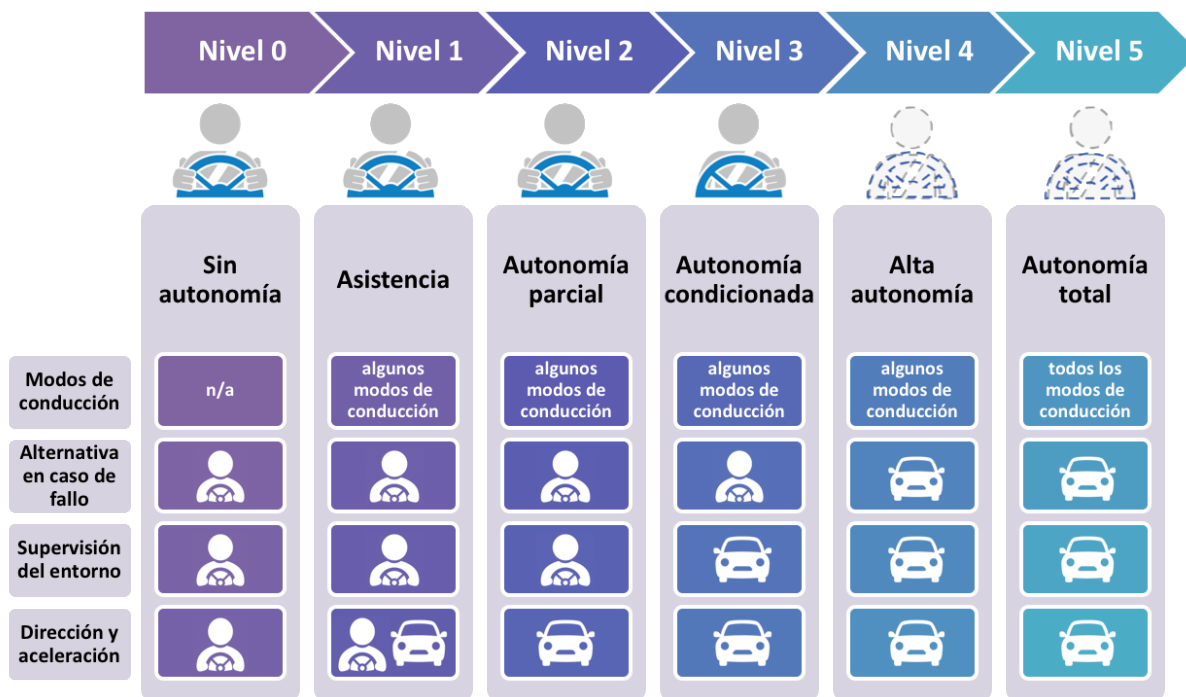


Figura 22. Niveles de Autonomía SAE J3016 (24)

- Nivel 0.** El conductor lleva a cabo todas las tareas que implica conducir, supervisa el entorno y maniobra el vehículo. Controla el vehículo longitudinal y lateralmente. El vehículo no interviene de forma activa, sin embargo, puede supervisar el entorno advirtiéndole al conductor en situaciones de riesgo u ofreciéndole información.
- Nivel 1.** El conductor controla el vehículo, longitudinal y/o lateralmente, pero el vehículo le asiste en algunas tareas.
- Nivel 2.** El vehículo combina funciones autónomas de aceleración y dirección, pero sólo en ciertas condiciones, por lo que el conductor sigue ocupado en la supervisión continua de la conducción y del entorno, listo para retomar el control cuando la situación supere las capacidades del vehículo.
- Nivel 3.** El vehículo realiza todas las tareas de conducción, bajo las condiciones que el vehículo reconoce. El conductor no tiene que supervisar la conducción y el entorno continuamente, pero debe estar preparado para retomar el control en cualquier momento previo aviso.
- Nivel 4.** El vehículo realiza todas las tareas de conducción, bajo cualquier situación que se dé dentro de los casos de uso predefinidos. Durante esas situaciones, el conductor no es necesario, pero tiene la opción de tomar el control del vehículo
- Nivel 5.** El vehículo puede llevar a cabo todas las tareas de conducción en cualquier circunstancia, supervisa el entorno y maniobrando. El conductor no es necesario, aunque podría tener la opción de tomar el control del vehículo.

Hoy en día, la tecnología disponible para los consumidores se encuentra en torno a los niveles 2 y 3 de la escala SAE. Esto quiere decir que los sistemas siguen teniendo muchas limitaciones y, por lo tanto, el conductor sigue siendo el responsable de la supervisión y del manejo del vehículo y debe permanecer alerta en todo momento. Muchos de los sistemas de asistencia están destinados al uso exclusivo en vías interurbanas con buen mantenimiento y en buenas condiciones meteorológicas (24–28).

Algunos, como el proyecto que inició Google para el vehículo autónomo y que actualmente, aunque en fase de pruebas, provee el servicio de taxis Waymo, ya han saltado al nivel 4.

2.1 Sistemas avanzados de asistencia a la conducción ADAS

Todavía queda un largo trecho por recorrer hasta que los vehículos autónomos, propiamente dichos, vean la luz, como se mostrará más adelante. Sin embargo, cada vez es más común encontrarse vehículos de gamas inferiores con sistemas de asistencia a la conducción más y más avanzados. Estos sistemas supervisan la conducción, tanto en dirección lateral como en dirección longitudinal, y entran en acción cuando son requeridos, bien por las circunstancias momentáneas o bien bajo petición del conductor, haciendo que esta tarea se vuelva más cómoda y menos estresante, pero, sobre todo, más segura (29).

Son los llamados ACSF, *Automated Commanded Steering Function*, por la UNECE y dentro de la clasificación SAE (*Society of Automotive Engineers*) de niveles de autonomía estos sistemas se encuentran en el escalafón 2.

Su cometido es asistir al conductor, que no tomar el control, ya que éste sigue a los mandos del aparato y debe mantener las manos en el volante y la vista en la carretera. Las tecnologías disponibles hoy en día están diseñadas para ser empleadas en vías con buena señalización, horizontal y vertical, como autovías y autopistas. Se pueden activar en otros tipos de pistas, pero los fabricantes no lo recomiendan y su uso puede ser inadecuado. Se considera que estos sistemas funcionan correctamente cuando permiten una conducción segura evitando que el conductor confíe en los mismos en exceso, para ello monitorizan la actividad del conductor, y en caso de que sea necesario le recuerdan que debe permanecer alerta.

En la clasificación, a continuación, se describen los sistemas de asistencia a la conducción según la tarea en la que prestan su función, y se ordenan de menor a mayor nivel de asistencia. Muchos de ellos reciben

varios apelativos en función del idioma, del nombre que les haya otorgado cada fabricante y su correspondiente acrónimo.

2.1.1 Sistemas de asistencia a la velocidad

El exceso de velocidad suele ser la causa de muchos de los accidentes ocurridos en carretera, además de ser directamente proporcional a la gravedad de sus consecuencias. Los límites de velocidad impuestos pretenden lograr, si son correctamente asignados, que la velocidad del tráfico esté adecuadamente adaptada al entorno, facilitando un flujo de tráfico eficiente y promoviendo unas condiciones de conducción que garanticen la seguridad de todos los usuarios de la carretera. Si los usuarios respetasen más dichos límites, se podrían evitar una gran cantidad de accidentes, y mitigar las consecuencias de aquellos que tengan lugar.

En el mercado existen varios sistemas diferentes que ayudan al conductor a controlar la velocidad. Los más sencillos emplean el **reconocimiento de señales**, mediante una cámara frontal, para **informar** al conductor del límite de velocidad del trecho que recorre en el momento (SLIF, *Speed Limit Information Function*); algunos además, **advierten al conductor** en el momento en que acaba de sobrepasar el límite de velocidad. Estos son sistemas meramente informativos. Los explicados a continuación intervienen en la acción de aceleración, ordenados de menor a mayor en lo que respecta a la toma de decisiones. (30)

Hoy en día hay un amplio abanico de sistemas de asistencia a la velocidad, sin embargo, fue en 1958 cuando se instaló en un vehículo por primera vez. Éste había sido registrado por Ralph Teetor con el nombre de “*Speed control device for resisting operation of the accelerator*” o más brevemente “*Speedostat*” y fue incorporado en el Chrysler Imperial como “Auto-Pilot”.

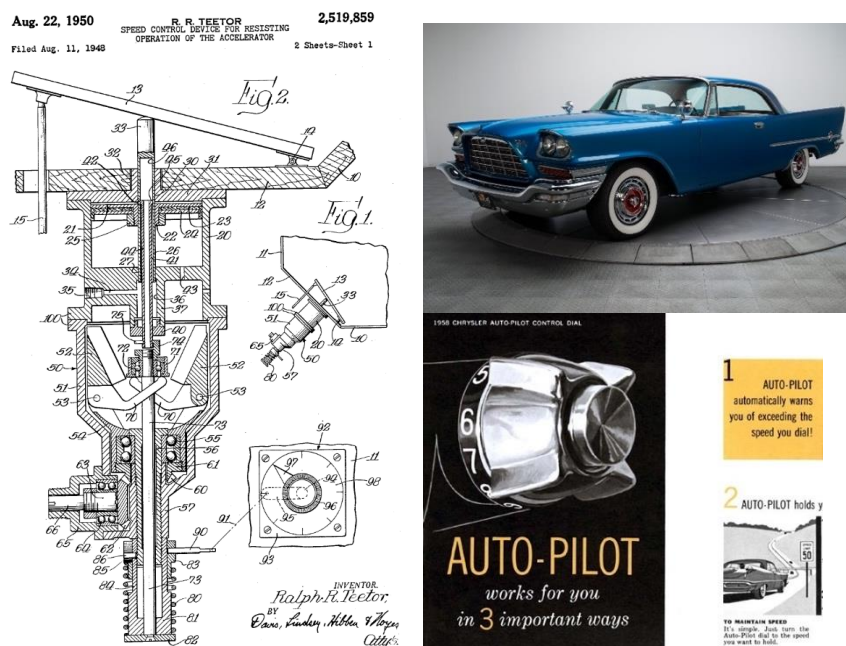


Figura 23. Patente del Speedostat de Ralph Teetor 1948; Chrysler Imperial; y publicidad del Auto-pilot que incorporaba el sistema (21).

Este sistema mecánico permitía al conductor mantener una velocidad sin sobrepasar un límite que él mismo seleccionaba; no obstante, a lo largo de los años se ha ido mejorando, apareciendo nueva tecnología electrónica y haciendo más completos estos sistemas.

El *Cruise Control (CC)*, conocido en castellano como Regulador de Velocidad, permite mantener una velocidad constante sin la necesidad de que el usuario intervenga haciendo presión sobre el acelerador; de manera automática el vehículo adapta la potencia a las exigencias de la orografía por las que discurre la vía, manteniendo la velocidad indicada por el conductor.

Pese a la gran comodidad que supone el *Cruise Control*, es un sistema no libre de riesgos, puesto que mantiene una velocidad sin tener en cuenta el entorno que rodea al automóvil, véase, el trazado, la afluencia de tráfico, las señales, ...

Como solución a ciertas deficiencias de este sistema apareció el *Adaptive Cruise Control (ACC)*, que a diferencia del anterior mantiene una velocidad estable seleccionada por el conductor, pero respetando una distancia con el vehículo precedente, de manera que al alcanzar un vehículo reduce la marcha adaptándose a la velocidad del vehículo delantero, llegando a frenar en caso de ser necesario. El sistema se sirve de cámaras y radares para la detección del otro vehículo, sin embargo, algunos no reaccionan ante vehículos parados, además de no hacerlo ante señales de tráfico. (30,31)

El siguiente nivel es el denominado *Smart or Intelligent Adaptive Cruise Control (SmartACC o iACC)* o *Intelligent Speed Adaptation (ISA)*. Dentro de esta nueva tecnología encontramos, desde los más sencillos que se basan en el reconocimiento mediante cámaras de las señales de límite de velocidad, a los más sofisticados que combinan esta información con un mapa digital. Ambos adaptan la velocidad del vehículo a los límites establecidos, sin ninguna necesidad de intervención por parte del conductor, o con una simple confirmación. Se trata de un sistema de gran utilidad, ya que no supone una gran distracción para el conductor, y además advierte cuando no puede mantener los ajustes establecidos.



Figura 24. Sign Assist (32).

2.1.2 Sistemas de asistencia al aparcamiento

El momento de aparcar o incorporarse a la circulación es un momento delicado, que requiere en ciertas ocasiones gran precisión por parte del conductor dada la proximidad entre los vehículos, otros objetos o incluso peatones. El tipo de siniestros que se producen no suelen suponer una grave amenaza para la integridad de las personas, a no ser que se golpee directamente a un viandante; pero si supone un quebradero de cabeza para las compañías de seguros, dada su alta frecuencia y la cada vez mayor cuantía que suponen las reparaciones, debido a que los nuevos sensores que incorporan los vehículos se ven fácilmente dañados, además de paragolpes, aletas, capós, portones, faros y embellecedores.

Control de distancia de aparcamiento

Conocido como PDC por sus siglas del inglés *Parking Distance Control*, la función de este sistema es la de avisar al conductor, mediante una alerta sonora y en ocasiones también mediante un pictograma, de la proximidad de un obstáculo alrededor del perímetro del vehículo. A medida que el objeto se aproxima la frecuencia de la alerta aumenta. Los dispositivos de detección son sensores por ultrasonidos localizados en los paragolpes y en menor medida en las aletas. Pueden detectar objetos a partir de los 3-6 cm y, en función del rango hasta los 2,5 o 5,5 m, pero sólo a partir de los 15 cm pueden determinar la distancia a la que se encuentra el objeto. (33)



Figura 25. Pictograma ParkPilot (32) | Sensores por ultrasonidos de Bosch (33)

Si se dispone tanto de sensores delanteros como traseros, en función del fabricante, la estrategia sonora, para que el conductor pueda diferenciar en qué lugar se encuentra el obstáculo, varía. Algunos optan por emplear el mismo sonido y sistema de reproducción para cualquier zona de aproximación, dejando que se guíe por el pictograma; otros cambian la tonalidad del sonido para diferenciar entre delante y detrás; y los últimos se ayudan de sistemas de sonido más avanzados para que el conductor reciba el sonido por delante o por detrás en función de la localización del obstáculo.

Alerta de tráfico trasero cruzado

Cuando el vehículo está aparcado en batería, salir marcha atrás del aparcamiento puede suponer un riesgo dada la poca visibilidad que tiene el conductor de la calle a la que se incorpora.

La alerta de tráfico cruzado, conocido por sus siglas en inglés *RCTA*, *Rear Cross Traffic Alert*, se apoya en la tecnología empleada para la detección del ángulo muerto, como sensores por ultrasonidos o radares de corto alcance, además de la cámara trasera. Cuando un vehículo, u otro obstáculo, entra en el campo de alcance de los sensores, justo detrás del vehículo, el sistema advierte al conductor mediante una alerta sonora o mediante vibraciones en el asiento, y algún tipo de advertencia visual, como los testigos del BSD en los retrovisores o el esquema de proximidades del sistema de ayuda al aparcamiento. Si el vehículo sigue retrocediendo ignorando las alertas, y el sistema detecta una situación de riesgo, activará los frenos para evitar el accidente o mitigar sus consecuencias. Algunos sistemas como el de General Motors (GM), necesita una velocidad mínima de 0,8km/h. (34–36)

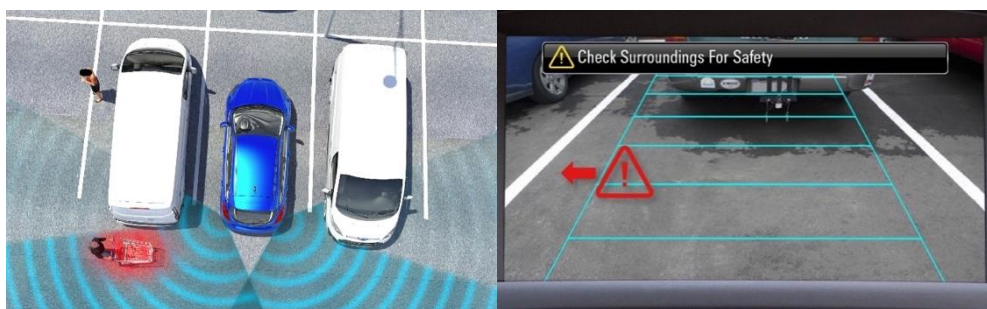


Figura 26. Alerta de tráfico trasero cruzado, RCTA (36).

Asistente de aparcamiento

Estos sistemas están diseñados para detectar un hueco y aparcar de forma semi-autónoma el vehículo tanto en paralelo como en batería. Se conocen como *Intelligent Parking Assist System* o IPAS. En el momento en que el conductor lo solicita, el vehículo emplea los sensores de distancia de aparcamiento para detectar un hueco; al encontrar uno comienza a dar instrucciones para liberar el volante, cambiar de marchas y frenar; el sistema se encarga de la dirección y guía al conductor para dar marcha atrás y marcha delante, según sea necesario hasta centrar el vehículo en el hueco. Existen sistemas más avanzados que frenan de forma autónoma.



Figura 27. Asistente de aparcamiento (32).

2.1.3 Sistemas de asistencia al frenado

El primer sistema de asistencia al frenado que surgió fue el conocido ABS, *antilock brake system*, nacido en Mercedes de manos de Guntram Huber e introducido en el mercado en agosto de 1978, en el Mercedes Clase S W116. El sistema lo desarrollaron en colaboración con Bosch y contaba con 3 sensores, uno en cada rueda delantera y otro en el eje trasero, una unidad electrónica de control y una unidad hidráulica. Si durante el frenado el sistema detectaba que las ruedas se bloqueaban, activaba la bomba que devolvía parte del aceite (de ahí el temblor del pedal), bajando la presión de frenado, lo que liberaba el disco de freno lo justo para permitir el giro de la rueda y aumentar el agarre al asfalto. (37,38)



Figura 28. ABS: comparativas de frenado con y sin sistema, clase S, generación 116; componentes del ABS (37).

En 1995, Mercedes presentó el programa electrónico de estabilidad, conocido por sus siglas ESP, del inglés *Electronic Stability Program* (también se puede encontrar como ESC, cambiando programa por control). El primer vehículo en equiparlo fue el CL 500 (serie 140). No se puede decir que se trate de un sistema de asistencia al frenado como tal, puesto que su cometido es evitar que el conductor pierda el control de la trayectoria, pero se ha incluido en este apartado porque el sistema se apoya en sensores y actuadores del sistema ABS.



Figura 29. Mercedes-Benz CL 500 primer vehículo en equipar ESP; componentes del sistema (39,40).

Cuando el sistema detecta que la trayectoria que sigue el vehículo no es la marcada por el conductor, aplica el freno de forma selectiva en las ruedas y, al mismo tiempo, interviene en la gestión del motor, de forma que evita que el vehículo deslice en situaciones críticas. (40)

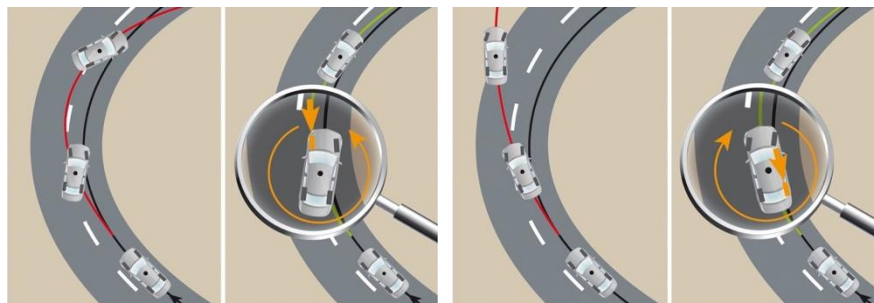


Figura 30. ESP: corrección de sobreviraje y subviraje (39).

Alerta de colisión frontal

Conocido como *Forward Collision Warning*, o por su acrónimo FCW, se trata de un sistema que monitoriza el vehículo precedente y, si detecta una situación de riesgo, alerta al conductor. Este aviso se puede dar mediante una alerta sonora y en ciertos casos también visual, bien un icono o testigo luminoso o una luz reflejada en el parabrisas en el campo de visión del conductor.



Figura 31. FCW: alerta de colisión frontal

Frenado autónomo de emergencia

En este subapartado se han clasificado los diferentes tipos de frenado en función del tipo de asistencia, del obstáculo detectado y de la vía o velocidad de circulación.

Conocido por el acrónimo AEB, del inglés *Autonomous Emergency Braking*, Frenado Autónomo de Emergencia; se trata de un sistema de seguridad diseñado para evitar o minimizar las consecuencias de un siniestro por alcance entre vehículos o contra usuarios vulnerables de la vía (VRU, del inglés *Vulnerable Road Users*). Se sirve de sensores de diferentes tecnologías, como radares, cámaras o LIDAR (acrónimo del inglés, *Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*, este dispositivo permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado), para detectar situaciones críticas al frente advirtiendo al conductor, mediante señales acústicas y/o visuales, y asistiendo al conductor en la frenada, proporcionando mayor presión o, activando los frenos, sin intervención humana, para reducir la velocidad o detener por completo el vehículo. (41,42)

AEB urbano

Este sistema actúa a bajas velocidades, hasta los 30 km/h. Las colisiones por alcance a baja velocidad son una de las causas más comunes de la lesión conocida como "latigazo cervical". Una lesión que puede conllevar migrañas, mareos y dolor en el cuello y en ocasiones de difícil diagnóstico, y fácil simulación que trae grandes quebraderos de cabeza a las compañías aseguradoras. (43)

AEB interurbano

Los accidentes más frecuentes en las carreteras europeas son los golpes por alcance entre vehículos. Tienen lugar en carretera a velocidades moderadas o altas. Como consecuencia de una distracción, el conductor no se percató de que el tráfico por delante de él circula a menor velocidad, está frenando o detenido. (44)



Figura 32. City Emergency Braking (42) | AEB urbano/interurbano con alerta de colisión (45)

AEB para peatones

La velocidad de atropello determina el alcance y la gravedad de las lesiones que puede sufrir un peatón; el AEB enfocado en los peatones puede evitar este tipo de siniestros, o al menos minimizar las consecuencias al reducir la velocidad de impacto.

Estos sistemas se programan para reconocer adultos y niños en diferentes situaciones, diurnas o nocturnas, y con los peatones cruzando la vía o caminando longitudinalmente a la misma.



Figura 33. AEB para peatones (32).

AEB para ciclistas

Dado que la velocidad de desplazamiento de los ciclistas es mayor que la velocidad de los peatones, estos son más difíciles de detectar y el margen de tiempo para la toma de una decisión es más reducido, por ello los fabricantes de vehículos deben utilizar sensores con rangos más amplios. Si el sistema no puede evitar la colisión, al menos este reducirá la velocidad del vehículo, minimizando las lesiones que puede producir al ciclista.

Estos sistemas están programados para detectar al ciclista, tanto atravesando la vía frente al automóvil, como circulando delante en la misma dirección.



Figura 34. AEB para ciclistas (21).

2.1.4 Asistente de mantenimiento de carril

Muchos accidentes tienen lugar cuando, como consecuencia de un error del conductor, bien por una falta de atención o al tomar de forma indebida una curva, el vehículo abandona el carril por el que circulaba, invadiendo el carril contiguo o saliéndose de la calzada, colisionando contra algún elemento de la infraestructura de la vía u otro obstáculo, o contra otro vehículo que circule por el carril contiguo en el mismo u opuesto sentido, dependiendo de si se encuentra en una autovía o en una carretera.

Los sistemas de mantenimiento de carril ayudan a evitar que se produzca una salida involuntaria del carril por el que se circula. Conocidos por las siglas *LKA* o *LKS*, del inglés *Lane Keeping Assist* o *System*. Este sistema advierte al conductor cuando comienza a detectar que se rebasan los límites del carril, bien con una advertencia visual, una señal acústica o con vibraciones en el volante o el asiento, pero además aplicará un par en el volante, sirviéndose de la dirección asistida, para asistir al conductor en la corrección de la trayectoria o para realizar la maniobra sin intervención humana, si no detecta reacción por parte del conductor.

Empleando una cámara frontal, se basan en el reconocimiento visual de las marcas viales sobre la calzada para detectar los límites del carril y calcular la posición relativa del vehículo dentro del mismo.

Debido a la naturaleza de la información recibida, supone un reto para el sistema detectar la señalización horizontal en curvas, cambios de rasante y situaciones de iluminación adversas (amanecer, atardecer, niebla, precipitaciones, ...), y por descontado, si estas no están claramente marcadas. Algunos de estos sistemas, cuando no pueden detectar las marcas viales, bien porque el vehículo precedente les bloquea la visión o bien porque se encuentran en alguna de las situaciones adversas explicadas anteriormente, se guían del vehículo que tienen delante para mantenerse dentro del carril. (31)

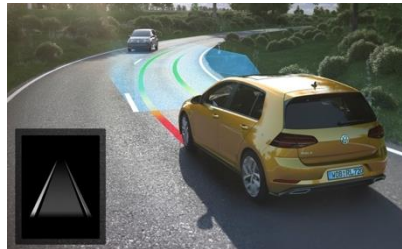


Figura 35. LKA (32).

Es importante remarcar en este punto que, estas tecnologías son tan sólo sistemas de asistencia y por lo tanto, la responsabilidad continúa recayendo sobre el conductor, por lo que debe tener las manos sobre el volante y la atención enfocada a la conducción.

A mayores, existe una configuración del sistema, con una aplicación más extrema de la asistencia, que sólo entra en acción en caso de emergencia, conocida como *Emergency Lane Keeping (ELK)*, interviene girando bruscamente la dirección, cuando detecta una situación crítica, por ejemplo, si se va a salir de la calzada o a colisionar con otro vehículo.

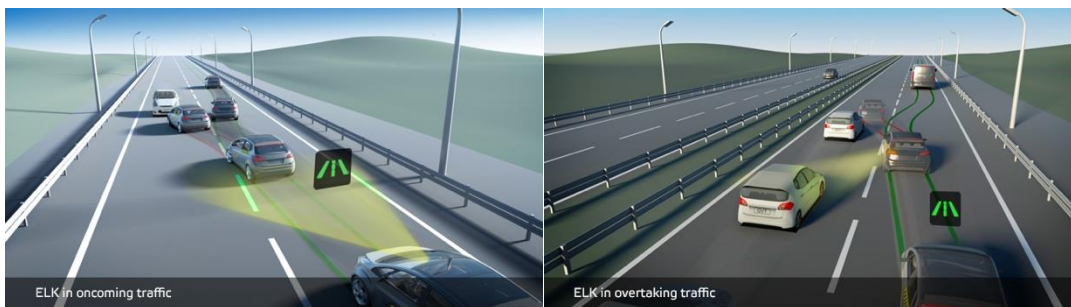


Figura 36. ELK (21).

Según la escala del SAE, la combinación del Sistema de control de crucero adaptativo y del de mantenimiento de carril alcanzaría un nivel 2. Esto se debe a que pueden realizar las funciones de dirección, control de la velocidad y distancia de seguimiento, pero bajo la supervisión de un ser humano que debe permanecer alerta. (46)

2.1.5 Detección de ángulo muerto

Conduciendo por autovía es fácil ver, a través de los retrovisores, a los vehículos que a lo lejos se aproximan por los carriles contiguos, sin embargo, a medida que se acercan y alcanzan lateralmente el vehículo con el que se circula, entran en una zona donde escapan a la vista del conductor. Este fenómeno supone un grave peligro, dado que, desde que el vehículo contiguo alcanza esa zona, hasta que entra en el campo de visión directa del conductor, puede pasar el tiempo suficiente para pasar desapercibido por el conductor y, aunque éste, con la intención de cambiar de carril, compruebe visualmente que el carril contiguo está desocupado, puede iniciar la maniobra colisionando lateralmente con el vehículo que se encuentra en el punto ciego. Teniendo en cuenta las velocidades a las que se circula en este tipo de vías, las consecuencias son fatales. (47)



Figura 37. Detección de ángulo muerto (32) | Mid-range radar MRR (33) | Ford (21).

El sistema de detección de ángulo muerto, *blind spot detection (BSD)* o *monitoring (BSM)* o *blind spot information system (BLIS)*, se encarga de supervisar las proximidades de la zona trasera de ambos laterales del vehículo empleando para ello cámaras, radares de corto y medio alcance (SRR, *short-range radar*; MRR, *mid-range radar*) o sensores por ultrasonidos. Si un vehículo entra en esa zona se encenderá un testigo luminoso en el espejo retrovisor o en las proximidades del mismo, si además el conductor inicia la maniobra para cambiar de carril, el sistema le advertirá haciendo parpadear el testigo o con una alerta sonora. (48)



Figura 38. Blind Spot Detection IIHS (47).

Según el estudio realizado por el *Insurance Institute for Highway Safety (IIHS)*, en septiembre de 2018, la tasa de accidentes ocurridos al cambiar de carril se redujo entre un 14 y un 23% entre los vehículos que equipaban este sistema. Además, se estima que, si todos los vehículos que circulaban en 2015 por Estados Unidos hubiesen contado con BSD, se hubiesen evitado 50.000 accidentes y 16.000 heridos.

Este sistema combinado con la asistencia de mantenimiento de carril también corrige la trayectoria del vehículo si detecta que, en un cambio de carril voluntario, existe un vehículo en el ángulo muerto.

2.1.6 Iluminación

Cerca de la mitad de los fallecimientos ocurridos como consecuencia de un accidente de tráfico tienen lugar en la franja horaria que abarca desde el atardecer hasta el amanecer. Por lo tanto, es de gran importancia, tanto para el conductor como para los sistemas de asistencia basados en cámaras, que haya una buena iluminación del entorno. De esta manera se verán adecuadamente los peligros a los que se puedan enfrentar y actuar en consecuencia para evitar o mitigar las consecuencias de un posible impacto. En zonas urbanas la visibilidad la proporciona, o al menos debería proporcionarla, el alumbrado público, pero en vías interurbanas un buen sistema de iluminación marca la diferencia. Según un estudio realizado por el IIHS en 2018, poco más de la mitad de los vehículos evaluados disponían de faros que iluminan correctamente de noche, limitando el deslumbramiento de los conductores que se aproximan; pero los sistemas de alumbrado que obtenían mejores puntuaciones son opcionales o se incluyen en paquetes que pueden elevar el precio del vehículo.

La mayoría de los faros emplean una de las siguientes fuentes de luz: halógena, HID (high-intensity discharge) conocidas como xenón, o LED. Cada una de ellas se puede combinar con reflector multisuperficie o con un proyector de lente. Los proyectores usan una lente para difundir la luz, mientras que los reflectores usan superficies brillantes para hacer rebotar la luz hacia delante. (31,49)

Dentro de los sistemas de iluminación automáticos existen dos niveles: el asistente de luces largas, o *high-beam assist*; y su versión más avanzada, el sistema de iluminación adaptativo, o *adaptive-driving beam*. El primer sistema emplea la cámara frontal para detectar vehículos que circulan por delante, en el mismo sentido o sentido contrario, para encender y apagar las luces largas sin perturbar al resto de conductores.

Sin embargo, el segundo sistema no se limita a encender y apagar las luces largas, sino que localiza y rastrea los vehículos y, como los faros están formados por una matriz de leds, el sistema se ajusta dinámicamente generando diferentes patrones, mediante el encendido y apagado de las diferentes secciones de la matriz, para iluminar con luces largas, pero generando zonas de sombra alrededor del resto de vehículos para no deslumbrar a los demás conductores

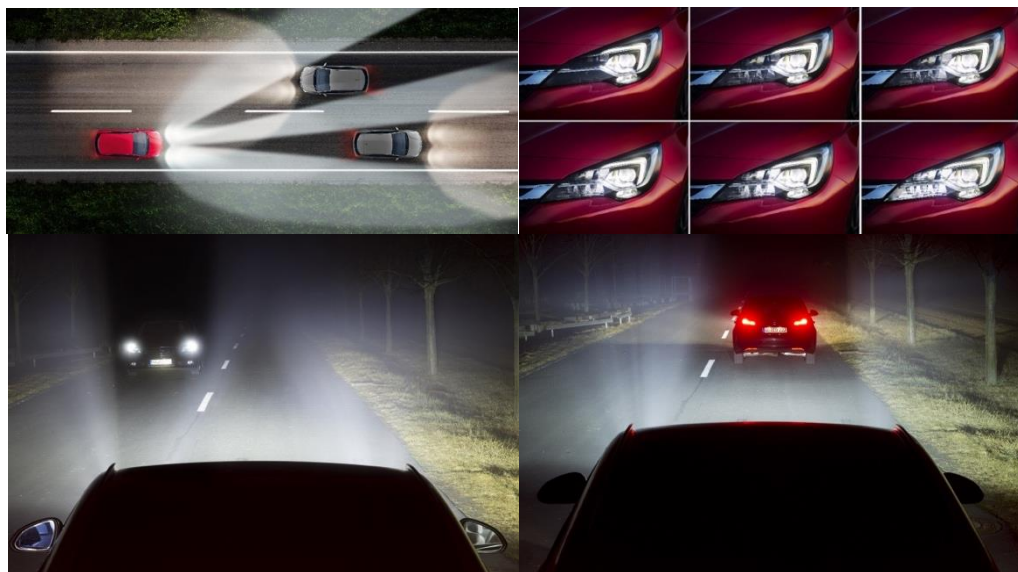


Figura 39. Sistema de iluminación adaptativo Intellilux (45).

Estos sistemas de iluminación adaptativa se están introduciendo en mercados como el europeo o el japonés, sin embargo, tienen problemas legales en mercados como el estadounidense debido a que la ley impone que los patrones de las luces largas y cortas deben ser diferentes, pero este sistema hace que ambos tipos de luz compartan ciertas secciones, lo cual no está permitido.

2.2 Fabricantes de vehículos y servicios de movilidad

En el apartado previo se muestran los sistemas de asistencia que se encuentran en el mercado, pero ciertos OEMs y proveedores de servicios de movilidad han puesto en la calle vehículos con funciones con alta autonomía. Además, otros fabricantes de vehículos están centrando sus esfuerzos de I+D+i en investigación para impulsar el desarrollo de la autonomía y han lanzado vehículos conceptuales y prototipos que están revolucionando el concepto de movilidad.

2.2.1 TESLA

Esta conocida marca estadounidense se ha hecho famosa porque nació con el objetivo de fabricar vehículos cien por cien eléctricos y por el desarrollo del sistema de conducción autónoma denominado *autopilot*. Se trata de un muy avanzado sistema de asistencia a la conducción clasificado como un sistema autónomo de nivel 2 según la escala del SAE, que también puede supervisar la actividad del conductor.

De serie, los vehículos de Tesla aúnan los ADAS de frenado automático de emergencia, advertencia de abandono de carril, advertencia de colisión delantera y lateral, aceleración consciente según obstáculos, detección de ángulo muerto, y además, si incorporan *autopilot* contarán con:

- *Traffic Aware Cruise Control*: este es el nombre por el que han denominado al control de crucero adaptativo inteligente

- *Autosteer*: dirección automática que sólo funciona cuando las marcas viales están claramente marcadas
- *Auto Lane Change*: asiste al conductor al cambiar al carril contiguo, cuando la dirección automática está conectada
- *Autopark*: ayuda a los conductores a aparcar en paralelo o en batería
- *Summon*: se trata de una sección de la aplicación de smartphone que Tesla pone a disposición de sus clientes. Como su nombre indica, con ella el conductor puede “invocar” al vehículo y moverlo de forma remota, siempre que se esté en las inmediaciones del vehículo, para sacarlo o introducirlo en un aparcamiento, sin direccionabilidad, empleando el móvil o la llave.

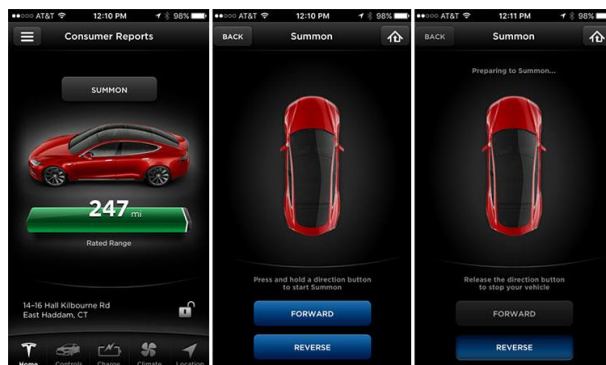


Figura 40. App Tesla, Summon (50).

Cuando el modo “piloto automático” está disponible, el vehículo muestra un testigo con forma de volante en color gris, en el cuadro de instrumentos, junto al velocímetro. Para activarlo, en realidad se ponen en marcha dos sistemas, en primer lugar, el iACC, y a continuación, la dirección automática, entonces el testigo del volante se destaca en color azul. En el proceso, el conductor debe aceptar unas condiciones de uso:

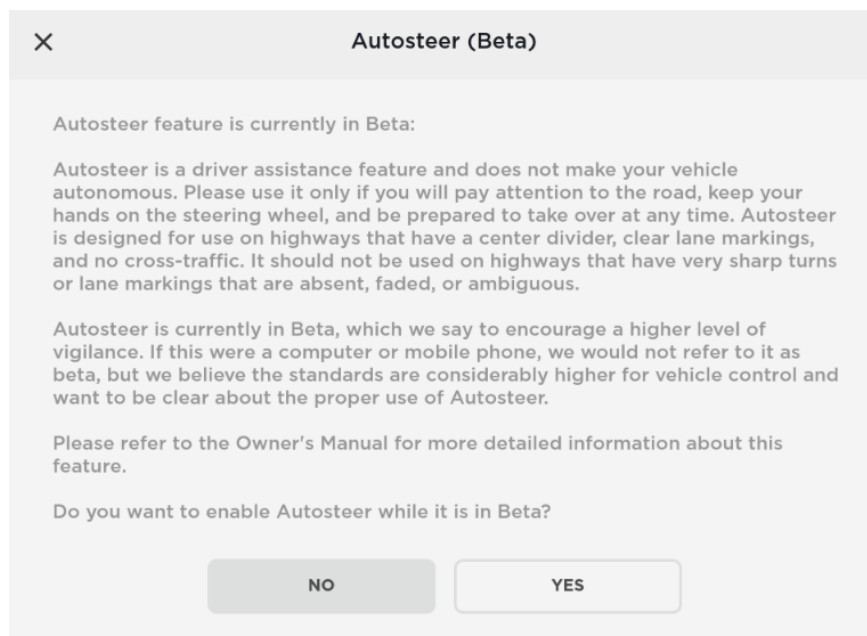


Figura 41. Testigo autopilot disponible y activo | Acuerdo de condiciones de uso del sistema Autosteer (50).

Además, mientras el *autopilot* esté activo, la pantalla mostrará continuamente una advertencia y el sistema monitorizará el par que el conductor aplica sobre el volante. Si la fuerza es insuficiente, o el movimiento de las manos no acompaña el giro del volante, una serie de alertas auditivas y visuales recordarán al conductor que debe mantener las manos al volante. Si el conductor ignora repetidamente las advertencias se bloqueará el uso del piloto automático en ese desplazamiento.



Figura 42. Arriba. Cuadro de instrumentos durante la conducción con autopilot y recordatorio de manos al volante | Abajo. Advertencia de desconexión de Autopilot (50).

Para cambiar de carril el conductor activa el intermitente del lado hacia el que quiere desplazarse y el vehículo esperará a tener el espacio suficiente hasta iniciar la maniobra, mientras, el conductor debe comprobar los retrovisores y los puntos muertos.

Está diseñado para evolucionar con el tiempo, sin embargo, dado el actual estado del arte, la propia marca advierte que, actualmente, no se trata de un sistema de conducción autónoma porque este sistema está preparado para funcionar tan solo bajo la supervisión de un conductor que esté alerta, con las manos en el volante, listo para retomar el control del vehículo en el momento en que sea necesario. El sistema se puede activar desde el carril de aceleración para incorporarse a una autovía hasta que se llega al carril de salida, puede sugerir y realizar cambios de carril y cambiar de autovía.

El sistema recoge información del entorno gracias a las 8 cámaras externas [①x1, ③x2, ④x3 ⑤x2], 1 radar [⑥] y 12 sensores por ultrasonidos [②] que incorporan sus vehículos desde octubre de 2016, y la comparten con la red neuronal desarrollada por Tesla a la que están conectados de forma inalámbrica. La marca dice que, con este equipamiento, el vehículo irá mejorando e incorporando nuevas características gracias a las actualizaciones inalámbricas, y estará preparado para conducir en el futuro, en la mayor parte de los casos, de forma totalmente autónoma. (50)

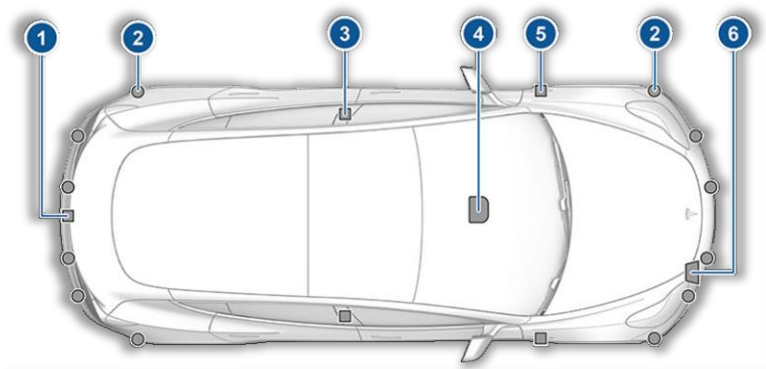


Figura 43. Sensores equipados en vehículos Tesla (51).

2.2.2 WAYMO

El proyecto comenzó en 2009 bajo el amparo de Google como “*The Google Self-Driving Car*”, con el objetivo de desarrollar una tecnología que pudiera transformar el concepto de movilidad, reduciendo las muertes en carretera a causa de errores humanos, recuperando el tiempo perdido en los atascos y poniendo al alcance de la mano destinos diarios para quienes no pueden conducir.

Para comenzar necesitaban demostrar que era posible lograr que un vehículo condujese solo, desarrollaron un software propio y transformaron una flota de Toyota Prius y la pusieron a rodar más de 160.000 kilómetros por carreteras públicas, más de lo que ningún otro vehículo había llegado a conducir. En particular se centraron en la conducción por autopistas, ya que es un entorno más sencillo de controlar. Las tareas en las que se centraron fueron la permanencia en el carril, el mantenimiento de la velocidad y la evitación de colisiones con el vehículo precedente. Con la experiencia adquirida se dieron cuenta de que los sensores que les ofrecía el mercado no se adaptaban a sus necesidades y en 2011 el equipo de hardware comenzó a desarrollar sus propios sensores, incluyendo 3 tipos diferentes de lidar.



Figura 44. Google test cars :Toyota Prius 2009 y Lexus RX450h 2012 (52).

Funcionó y en 2012 se añadió un segundo vehículo de pruebas, un Lexus RX450h; se alcanzaron entonces los 480.000 kilómetros recorridos.

Se invitó a algunos empleados de Google a probar la tecnología en sus desplazamientos diarios, y de esta manera conocer la interacción real entre el vehículo y los usuarios y cómo utilizarían realmente esta tecnología. Los empleados se mostraron realmente contentos, porque el sistema hacía que sus desplazamientos fueran menos estresantes y agotadores; pero también demostraron que no se podía esperar que las personas estuvieran alerta y listas para retomar el control del vehículo si algo sucedía durante los trayectos. Que este comportamiento humano viera la luz, y el compromiso con la seguridad que habían adquirido, hizo que se dieran cuenta de que debían desarrollar un vehículo absolutamente autónomo.

Fue en el año 2013 cuando el equipo de software comenzó a centrarse en el aprendizaje de la conducción por ciudad; un ambiente complejo con peatones, ciclistas, motoristas, obras en la calzada, cientos de objetos, señalización vertical, semáforos, ... Además, un equipo de diseñadores y expertos en hardware comenzaron a desarrollar su propio vehículo autoconducido desde cero. Finalmente contruyeron un prototipo al que bautizaron como Luciérnaga, *Firefly*; este vehículo equipaba sensores, ordenadores, dirección y sistema de frenos personalizados, sin volante ni pedales. La forma del vehículo se debe a que todos los sensores fueron integrados cuidadosamente, y la forma redondeada maximizaba el campo de visión de los sensores del techo.



Figura 45. Firefly, vehículo autónomo prototipo de Google (2013). Diferentes estadios del proyecto: “Engineering mule”, “Uncle mule”, “Beautified Mule” y prototipo final (52).

En 2015 los vehículos comenzaron a rodar por las calles de Mountain View, en California, y de Austin, en Texas. A finales de año tuvo lugar el primer desplazamiento a nivel mundial de un vehículo autónomo realizado en vías públicas, fue Steve Mahan, legalmente ciego, quien tuvo el honor de ser su pasajero.



Figura 46. Steve Mahan primer pasajero vehículo autónomo durante el evento (53).

En mayo de 2016 anunciaron que se asociaban con Fiat Chrysler Automoviles, FCA, para incluir en su flota el minifurgón híbrido Chrysler Pacifica, el primer vehículo de la compañía producido en masa con el equipamiento necesario para la conducción autónoma totalmente integrado, que pusieron en las vías públicas en 2017. En diciembre de 2016, con más de 3.220.000 km recorridos, o el equivalente a que un ser humano condujese 300 años, "The Google self-car driving project" se convierte en "Waymo", una compañía que deriva de Alphabet, bajo el compromiso de diseñar el conductor más experimentado del mundo, un vehículo autónomo, que mejore la movilidad, la simplifique y la haga más segura.



Figura 47. Chrysler Pacifica equipado con Waymo (54).

Proveen un servicio de vehículos autónomos denominado "Waymo One", que funciona a través de su aplicación para smartphones, que lanzaron en versión beta en Google Play, en abril del año actual. Una vez dentro del vehículo el pasajero pulsa el botón azul para iniciar el viaje. Durante el trayecto las pantallas muestran en tiempo real lo que el vehículo está leyendo en el entorno. El servicio se encuentra, al igual que la aplicación, en periodo de pruebas. (55)

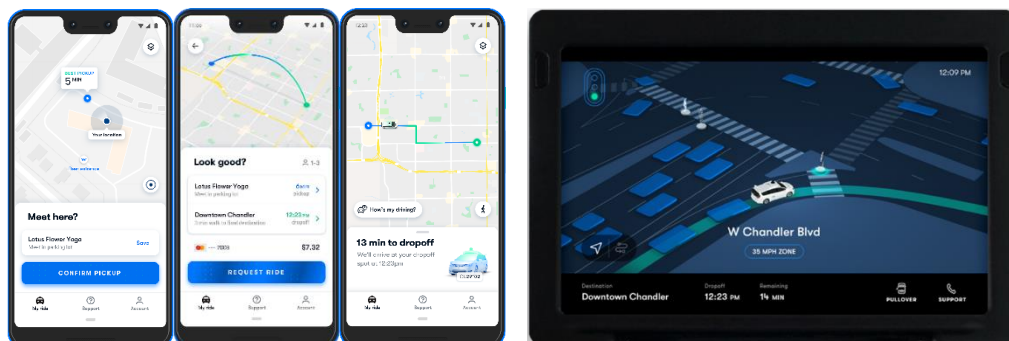


Figura 48. App Waymo (55).

En marzo de 2018 anunciaron su asociación con Jaguar Land Rover, con la intención de traer el nuevo vehículo eléctrico de Jaguar, el I-Pace, aunando el diseño innovador de Jaguar con la tecnología de conducción autónoma de Waymo. Esperan incorporar 20.000 I-Paces a su flota en los próximos 2 años. Se esperaba que las pruebas con los primeros I-Paces tuvieran lugar a finales de año. (56,57)

En la actualidad venden sus sensores para proyectos que trabajan en otros campos como robótica, tecnología agrícola, seguridad,... En marzo de este año, pusieron a la venta uno de sus sensores lidar 3D, el Laser Bear Honeycomb, que es el sensor que equipan en el paragolpes de sus vehículos autónomos. Este lidar tiene un campo de visión de 95° en vertical y 360° en horizontal; devuelve múltiples retornos por pulso, con la ubicación de hasta 4 objetos diferentes en la línea de visión del haz del láser (el follaje de un árbol y las ramas); y tiene un rango mínimo de cero, es decir puede detectar objetos inmediatamente en frente del sensor. (58,59)



Figura 49. Jaguar I-Pace equipado con Waymo (56). | Láser Bear Honeycomb de Waymo (58,59).

El funcionamiento autónomo de estos vehículos se debe al equipamiento dedicado que Waymo ha desarrollado: sensores en los 4 costados del vehículo y el techo, cubriendo 360° alrededor del vehículo: Equipan al menos 4 sensores LiDAR, en techo, aletas y paragolpes delanteros, además de cámaras de alta definición y radares.

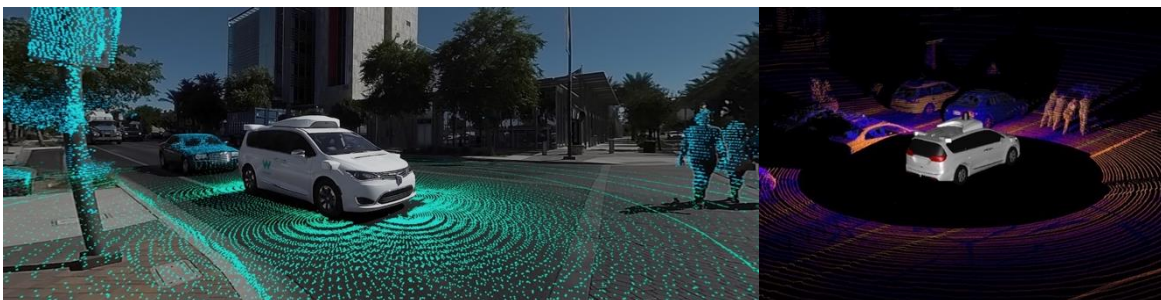


Figura 50. Superposición de la nube de puntos y el entorno real (60). | Mapa 3D generado por la nube de puntos obtenida mediante LiDAR (52).

Los sensores LiDAR emiten millones de haces de láser por segundo para construir un mapa 3D detallado del entorno que le rodea. Además, el vehículo se sirve de los radares, para detectar la distancia y calcular la velocidad a la que se mueven los objetos, y de las cámaras de alta resolución, para interpretar las señales de tráfico y el color de las luces de los semáforos.

El software combina toda esta información para interpretar el entorno en que se mueve el vehículo: sabe donde se encuentra el vehículo en el espacio, identifica todos los objetos a su alrededor, ya sean vehículos (motos, bicis...) o viandantes, incluso otros objetos en movimiento, y predice su trayectoria. Lo hace 360° a su alrededor con un radio de 300 metros.



Figura 51. Interpretación del sistema Waymo del entorno y superposición sobre el entorno real (60).

El siguiente paso es probar la tecnología en camiones, diferente vehículo, pero mismo conductor.

2.2.3 Mercedes-Benz (Daimler)

La repercusión negativa que la Primera Guerra Mundial tuvo sobre la economía obligó a muchas empresas a fusionarse para sobrevivir. Este fue el caso de DMG (Daimler-Motoren-Gesellschaft) y Benz & Cie, que comenzaron a colaborar en 1924 y 2 años más tarde, en junio de 1926, se unieron para fundar "Daimler-Benz AG". Empezaron a desarrollar conjuntamente automóviles de pasajeros bajo la nueva marca Mercedes-Benz.

Hoy en día ya existen modelos de Mercedes con características semi-autónomas, como el Asistente Activo de Parking con Parktronic (que permite el aparcamiento automático con dirección activa y control de frenado para espacios en paralelo y en batería, el sistema indica al conductor la marcha correcta en la pantalla), pero la responsabilidad sigue siendo del conductor, que tiene la opción apagar o anular los sistemas de asistencia.

Sin embargo, Mercedes lleva décadas desarrollando estos sistemas de asistencia con funciones pseudo-autónomas. Por ejemplo:

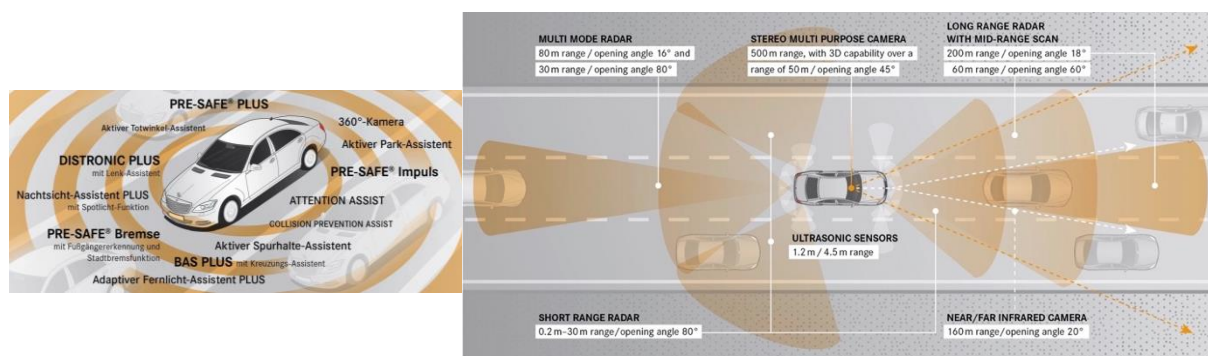


Figura 52. Sistemas ADAS de Mercedes-Benz y sus sensores asociados (14).

- En 1998 lanzó el sistema de control de crucero adaptativo bautizado *distrionic* con capacidad para frenar y acelerar.
- En 2006 llegó el *Pre-Safe Brake*, este sistema frena automáticamente si detecta riesgo de colisión por alcance.
- En 2010 sacaron el **Asistente activo de ángulo muerto** (cuando hay un vehículo en el área fuera del alcance de la vista del conductor y detecta riesgo de colisión, el sistema aplica los frenos del lado contrario) y el **Asistente activo de mantenimiento de carril** (éste, en lugar de emplear la dirección para mantener el vehículo dentro del carril, emplea el sistema de frenos, de la misma manera que el asistente de ángulo muerto), y el **Asistente de aparcamiento activo** (que maniobra gracias a la dirección electromecánica).
- En 2011 presentaron el asistente de prevención de colisiones, que lanza una alarma cuando detecta riesgo de colisión por alcance.
- En 2013 mejoraron el sistema *distrionic* con asistente de dirección y *Stop&Go*, que permite mantener la distancia con el coche precedente y el vehículo en el centro del carril. Y sacaron la versión *BAS Plus* con asistentes de frenado y de tráfico cruzado capaz de detectar también peatones.

En lo que respecta a los sistemas más avanzados de ayuda a la conducción, a finales de 2012 acuñaron el término "*Mercedes-Benz Intelligent Drive*" para referirse a sistemas de asistencia que aunaban confort y seguridad para pasajeros y otros usuarios de la vía. La combinación y evaluación de la información del entorno obtenida por los sensores (cámaras, radares de diferentes rangos, sensores de ultrasonidos, ...) es decisiva, es lo que llaman "fusión de sensores". Los algoritmos inteligentes analizan los datos recogidos por los sensores para detectar la ubicación de los elementos que le rodean dentro de su amplio campo de visión, e identificarlos, ya sean otros vehículos, peatones, animales, marcas viales, señales de tráfico... el objetivo es mejorar la seguridad hasta que la protección sea integral para todos los usuarios

de la vía. En Mercedes opinan que es imprescindible la recogida y análisis de datos en tiempo real de los factores ambientales para el funcionamiento autónomo de un vehículo; además del acceso e intercambio de información más allá del alcance de los sensores del vehículo; es decir, la comunicación Car-to-X, entre vehículos, y entre vehículos e infraestructuras (Vehicle-to-Vehicle, V2V; Vehicle-to-Infrastructure, V2X), este tipo de comunicación permitiría que el vehículo detectase objetos o situaciones imprevistas más allá de sus proximidades y campo de visión, como si pudiera ver a través de obstáculos o ver los peligros que hay en una calle antes de entrar en ella, lo que permite que el conductor o el vehículo se pueda preparar con antelación y evitando así situaciones críticas. También será de gran importancia el acceso a bases de datos como los mapas digitales de alta resolución.

En agosto de 2013, emulando la ruta que siguió Bertha Benz en 1888, de su casa a la casa de sus padres, el Mercedes-Benz S 500 INTELLIGENT DRIVE (sacado de la producción en serie y equipado para la conducción autónoma), lidió con situaciones de alta complejidad por sí sólo, completando el viaje de aproximadamente 100km de distancia, de Mannheim a Pforzheim, de forma totalmente autónoma.(61)



Figura 53. Mercedes-Benz S 500 emuló el viaje realizado por Berta Benth en 1888 en modo autónomo (14).

Un año después, en septiembre de 2014 presentaron el primer camión autónomo, el “*Future Truck 2025*”; un estudio basado en la experiencia obtenida, en julio de ese mismo año, mediante la conducción autónoma de un Mercedes-Benz Actros 1845 a velocidades de hasta 80km/h, en condiciones de tráfico reales en una sección de la “*autobahn*”. Por esas fechas, se convirtieron en uno de los primeros fabricantes de vehículos en conseguir una licencia del estado de California para poner a prueba vehículos autónomos en vías públicas. También hicieron pruebas en las instalaciones del “*Concord Nava Weapons Station*”, un lugar ideal para hacer pruebas de esta clase porque cuenta con un entramado de calles asfaltadas similares al de una ciudad de unos 8,5km².

En enero de 2015, en el *Consumer electronic Show*, Mercedes-Benz presentó su concept car Autónomo F 015 Luxury in Motion y su visión de la ciudad del futuro: el vehículo realizará las tareas que el ser humano no desea o no puede realizar; mientras el habitáculo se convierte en un espacio íntimo en el que gastar el tiempo en actividades lúdicas o para el trabajo, un espacio digital, para información, comunicación, entretenimiento e interacción, entre los pasajeros del vehículo y el exterior. El paisaje urbano cambiará con la aparición de nuevas infraestructuras y zonas de seguridad donde sólo puedan acceder los vehículos autónomos, y se ganarán espacios abiertos al situar los parkings a las afueras de la ciudad eliminando 1/3 del tráfico generado por los vehículos que están buscando un aparcamiento. Fuera de las zonas de seguridad, el tráfico autónomo compartirá la calzada con el tráfico convencional.



Figura 54. Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion (14).

La amplia conectividad y comunicación harán que el tráfico rodado sea mucho más fluido y se necesiten menos carriles, lo que hará la movilidad menos estresante y más confortable y segura. El espacio será compartido por humanos y máquinas, y las principales vías de acceso, ahora congestionadas por el tráfico, se volverán en lugares atractivos para vivir y pasearse. (62)

Los vehículos irán equipados con "Extended Sense", un sistema de sensores de alta resolución, una vigilancia permanente del exterior con capacidades perceptivas mejoradas, que monitorizan los alrededores en todas direcciones. El sistema interpreta lo que ve, con la ayuda de algoritmos especialmente desarrollados para esta tarea y para actuar consecuentemente, transmitiendo información relevante a los pasajeros de la situación del entorno. Estos sistemas tendrán una vista panorámica de 360°, cámaras, radares y sensores por ultrasonidos; localización GPS de alta precisión y mapas de navegación 3D de alta resolución para ubicar el vehículo con una exactitud de centímetros.

Con la alta conectividad, en cualquier lugar y momento, se podrá enviar al vehículo a aparcarse o a un lugar concreto para recoger a los pasajeros, brindando la posibilidad de disfrutar de la movilidad a aquellas personas que antes no podían, como discapacitados o mayores.

Los vehículos se comunicarán con otros usuarios de la vía de forma audiovisual: dispondrán de pantallas led exteriores para dar información, por ejemplo, sobre el modo de conducción (frenado, arrancado,...) o para dar instrucciones (como para, *stop*, o despacio, *slow*); también dispondrá de sistemas para comunicarse con los peatones, por ejemplo, un sistema de proyección láser (si detecta uno con intención de cruzar, proyectará un paso de cebra por donde es seguro cruzar, o indicar el lugar exacto donde ha programado aparcarse), y comunicación auditiva incluyendo un repertorio de sonidos e instrucciones habladas (para que un peatón comience a cruzar "por favor continúe").



Figura 55. Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion, comunicación con otros usuarios de la vía (14).

En verano de 2016 estuvieron probando un prototipo del autobús del futuro con CityPilot en la línea BRT (*Bus Rapid Transit*) en Ámsterdam. En mayo de 2017 participaron en la "Cumbre Mundial del Transporte Público, GPTS, en Montreal (Canadá): soluciones a los problemas de tráfico urbano de hoy y mañana". El transporte público es una de las soluciones para el tráfico, donde presentaron el Autobús del Futuro de Mercedes Benz con CityPilot. (63)



Figura 56. Mercedes-Benz Autobús del futuro (14).

En Octubre 2017, En la conferencia "Push UX", presentaron a través del *Grupo moovel*, subsidiaria de Daimler, un laboratorio para probar lo que es ver el mundo a través de los ojos de un vehículo autónomo, un proyecto que bautizaron "¿Quién quiere ser un coche autónomo?". Con este proyecto pretendían dar respuesta a ciertas preguntas, por ejemplo, ¿cómo cambiaran los vehículos autónomos la movilidad?, ¿cómo ven lo que les rodea?, ¿cómo presentan otros usuarios de la vía (vehículos, ciclistas, peatones)?, ¿qué información emplea el vehículo para moverse en el tráfico?. El piloto asume el papel de unidad de control del vehículo. Se trata de un vehículo no autónomo en el que las decisiones y el control son tomados por un ser humano, cuyo sentido de la vista ha sido sustituido por los sensores que pueden llevar los vehículos autónomos. Las órdenes para dirigir, acelerar y frenar el vehículo se dan a través de un joystick. En las gafas de realidad virtual se muestra la información recogida por la cámara 3D en

tiempo real y encima, se proyecta información sobre los objetos reconocidos por el ordenador, y el sensor Lidar provee mediciones de distancias. (64)

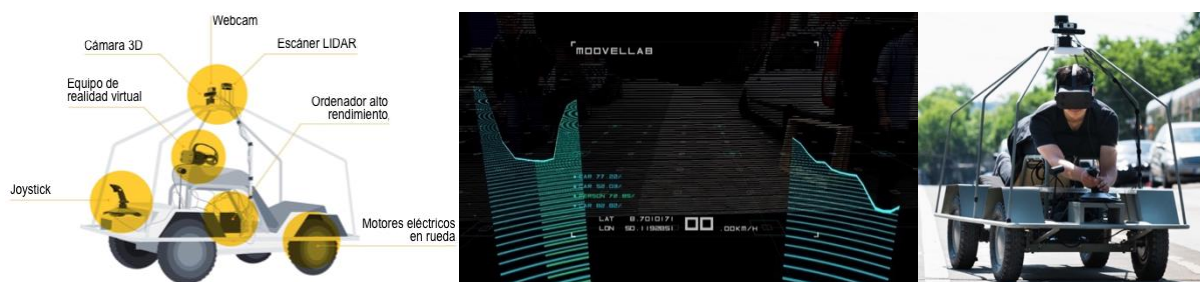


Figura 57. “¿Quién quiere ser un coche autónomo? Grupo moovel (14).

En febrero de 2019 se anunció la asociación, a largo plazo, de Daimler AG y BMW, con la firma de El Memorando del Entendimiento (MoU). Van a trabajar juntos para desarrollar la siguiente generación de tecnologías ADAS y para la conducción autónoma, para lograr el nivel 4 en la escala SAE. Esperan tener la próxima generación de tecnologías disponible para mediados de la próxima década. Con la seguridad como objetivo, trabajarán juntos para ofrecer al público sistemas fiables que sean un valor añadido para los consumidores. Combinarán la experiencia y habilidades de dos líderes en tecnología, en una plataforma flexible, escalable y no exclusiva, lo que es fundamental para impulsar la industrialización de la conducción autónoma, reforzar su capacidad innovadora y acelerar la difusión de esta tecnología. La seguridad de los ocupantes de los vehículos y de los demás usuarios de la vía es lo más importante, y la búsqueda de sistemas que den confianza, son sus focos de atención. También buscarán cooperación con empresas tecnológicas y con otras compañías de automóviles para asegurar el éxito de la plataforma del proyecto. (65,66)

En 2019 se lanzará en San José, Silicon Valley, su primer programa piloto, con la colaboración de Bosch, para vehículos autónomos niveles 4 y 5 en entornos urbanos.

2.2.4 Alianza Renault-Nissan-Mitsubishi

A finales de marzo de 1999 se firmaba en Tokio un acuerdo de colaboración entre Groupe Renault y Nissan Motor Company. Con ello se creaba una organización internacional que definiría la estrategia global que perseguiría un crecimiento rentable que beneficiase la nueva entidad, respetando sus diferentes identidades y promoviendo las sinergias entre ambas; planeaban desarrollar una línea común de plataformas y sistemas motopropulsores. Renault invirtió en Nissan adquiriendo una participación del 36,8%. Arrancaban de esta manera, dentro del ranking de la industria del automóvil, en el cuarto puesto con 4,8 millones de vehículos. (67)

En octubre de 2016 Nissan incorporaba a la Alianza, tras adquirir un 34% de la participación, a la compañía Mitsubishi Motors (68). Hoy en día, las marcas que lidera la alianza son las siguientes:

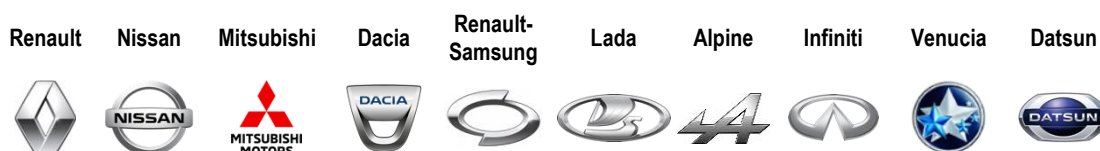


Figura 58. Marcas de los socios de la Alianza Renault Nissan Mitsubishi (69).

Hoy por hoy son una de las grandes alianzas en el mundo de la automoción, anualmente venden más de 10 millones de vehículos en casi 200 países.

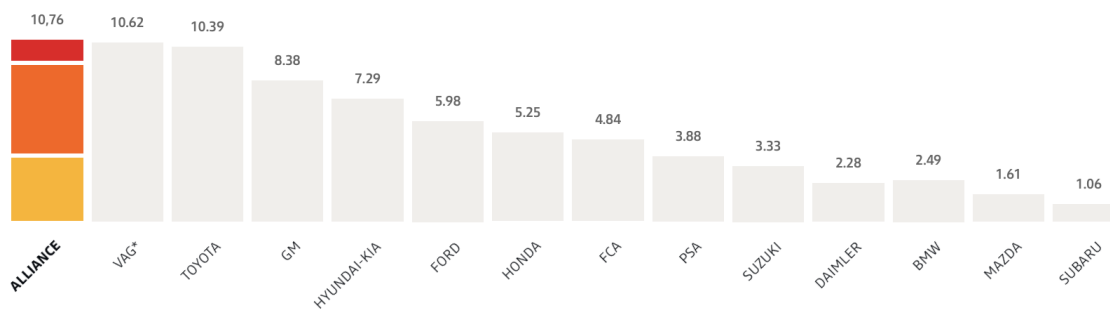


Figura 59. Ventas en 2018 Renault, Nissan, Mitsubishi (millones de unidades) *sin camiones(69).

La Alianza está profundamente comprometida con los objetivos “Zero emissions & Zero fatalities”. En lo referente a los vehículos autónomos, en 2013 abrieron un segundo centro de investigación en Silicon Valley, el Nissan Research Center NRC-SV, para impulsar concretamente el desarrollo de la conducción autónoma y los vehículos conectados. (70,71)

En el *Mobile World Congress* de 2015, Carlos Ghosn, CEO de la Alianza, anunciaba que las primeras tecnologías llegarían a oleadas. La primera de ellas en 2016, con los asistentes para conducción en autopistas, sin cambio de carril, y de tráfico en retenciones. Los hitos que se marcó la Alianza incluían la consecución, para 2018, de un vehículo con alta autonomía para su uso en autopistas, incluyendo cambio de carril, y más adelante, alrededor de 2020, por carreteras de ciudad con autonomía en intersecciones, ambas tecnologías capaces de conducir por sí mismas, de origen a destino, bajo la supervisión del entorno por parte del conductor (SAE 2). También por esas fechas planean lanzar un vehículo con conducción autónoma en autopistas con intervención ocasional del conductor (SAE 3-4). Remarcaba entonces el obstáculo que supondría obtener los permisos de circulación, debido al reto legal, regulatorio y de seguridad, lo que costaría al menos una década (72). Para 2022 pretenden vender vehículos totalmente autónomos (SAE 4-5).

A finales de septiembre de 2016, realizaron varias operaciones para reforzar sus avances en conectividad y servicios de movilidad. Por un lado, adquirieron la compañía francesa de desarrollo de software Sylpheo y por otro, firmaron un contrato de colaboración con Microsoft Corporation para trabajar en la próxima generación de tecnología para servicios de conectividad. Esperan mejorar la experiencia del usuario ofreciendo una navegación más avanzada, mantenimiento predictivo, experiencias móviles externas y actualizaciones remotas. (73,74)

La Alianza opina que la movilidad del futuro será PACE, “*personalized, autonomous, connected and electric*”; por ello apuestan por el desarrollo de servicios de movilidad con flotas de vehículos eléctricos bajo demanda. Por esta razón en febrero de 2017 llegaron a un acuerdo con Transdev (una consultora especializada en el transporte público cuyo cometido abarca desde el preproyecto, hasta la gestión diaria de las redes de transporte público), para colaborar en el desarrollo de un sistema de transporte modular que permita a los clientes reservar viajes y a los operadores trabajar con flotas de vehículos autónomos. En septiembre de ese mismo año anuncian un plan estratégico para impulsar, entre otros objetivos, las tecnologías de conducción autónomas y que se disponen a lanzar 40 modelos con diferentes niveles de autonomía, en los siguientes 6 años. A principios de 2018 comenzaron con una plataforma que bautizaron como Alliance Ventures, para apoyar a empresas emergentes, que se encuentran en una temprana fase de desarrollo y a emprendedores a la vanguardia en los sistemas para próxima generación de la industria automotriz. Bajo ese seudónimo, en noviembre de ese mismo año, decidieron invertir en Transit, una compañía de aplicaciones móviles de transporte multimodal con sede en Montreal, Canadá; y en enero de 2019 en Tekion, una compañía estadounidense que ofrece al mundo de la automoción experiencias digitales con conectividad a través del *Machine Learning* y la Inteligencia Artificial disponibles (75–78)

Los movimientos más recientes se produjeron en junio de este año, con la apertura de un laboratorio de innovación en Tel Aviv, centrado en el desarrollo de sensores para vehículos autónomos, cyber

seguridad y “big data”; y con la firma de un acuerdo de colaboración para el desarrollo de servicios de movilidad con Waymo, tanto para el transporte de pasajeros como de paquetería. (79,80)

Por su parte, Groupe Renault está desarrollando una tecnología de conducción autónoma de confianza para equipar en sus vehículos. En noviembre de 2017 lanzaron el vehículo demostrativo Symbioz, el primero en ser diseñado con vistas a la conducción autónoma, que abre una gran variedad de posibilidades de uso del habitáculo. Este vehículo representa la visión futura de la movilidad que el Grupo tiene para 2030; se desarrolló en colaboración con otros 6 socios que proporcionaron su experiencia en sus áreas específicas: LG, para el desarrollo de la interfaz humano-máquina; Ubisoft, proporcionó el sistema de realidad virtual a bordo; Devialet, para el sistema de sonido; Sanef, para el desarrollo de la comunicación del vehículo con la infraestructura; TomTom, ha colaborado en la geolocalización; e IAV, colaboró con su experiencia en ingeniería para la conducción autónoma. Diseñado para un nivel de autonomía SAE 4, en el que el conductor no tiene que estar pendiente ni será requerido para realizar tareas de conducción. (69,81)



Figura 60. Symbioz Concept car de Renault (81).

En diciembre de ese mismo año Renault anunciaba su colaboración con el Proyecto Scoop, un proyecto europeo que facilita las pruebas para futuras soluciones de conectividad entre vehículos, V2V, y entre estos y la infraestructura, V2X. Renault estaba probando esta tecnología en 1000 Meganés fabricados en Palencia; los vehículos se equipaban con sensores y procesadores que recopilaban y analizaban datos del vehículo (velocidad, giro, freno, datos del ESC, airbags...), comunicándose con otros vehículos y con las antenas de Scoop. Los centros de Scoop avisaban a emergencias si se detectaba un incidente grave. (82)

En 2018, presentaron la trilogía de vehículos conceptuales, eléctricos y completamente autónomos EZ, mostrando su visión de movilidad compartida para las ciudades del futuro: EZ-PRO para transporte de envíos; EZ-GO, para el transporte colectivo público o privado, y el EZ-ULTIMO, como vehículo premium. Pretenden presentar 15 modelos con capacidades autónomas para finales del plan estratégico 2022.

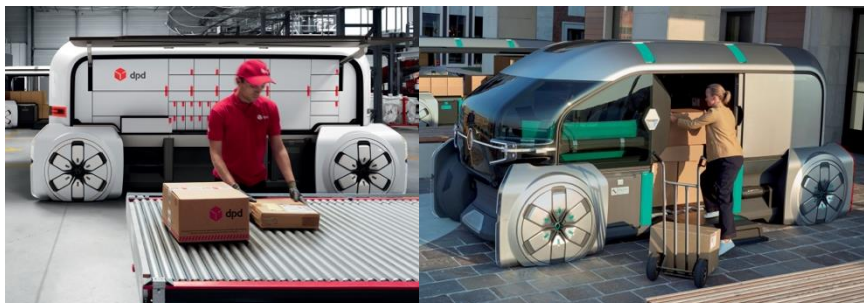


Figura 61. EZ-PRO Concept car de Renault (69).



Figura 62. EZ-GO Concept car de Renault (69).

Nissan anunció en marzo de 2018 su plan de desarrollo de la tecnología ProPilot para equipar en 20 modelos que saldrán a la venta en 20 mercados alrededor del 2022. Como parte de la estrategia ya han lanzado tecnologías ADAS para su uso en autopistas en modelos que ya están a la venta.

2.3 Proveedores de primer nivel: TIER 1

Los proveedores de primer equipo, desde aquellos que sirven dispositivos para el funcionamiento del propio vehículo, hasta los que proveen elementos de confort y entretenimiento, también están desarrollando sus propias soluciones para el futuro de la conducción autónoma, trabajan para cubrir las nuevas necesidades de sensorización e invierten en investigación para encontrar sus propias soluciones y marcar la diferencia con sus competidores.

2.3.1 ZF Y Faurecia

ZF se fundó como Zahnradfabrik GmbH en Friedrichshafen, en el año 1915, comenzó como fabricante de transmisiones para vehículos de pasajeros y comerciales. Actualmente se centra en dos grandes sectores: automoción, con productos para la línea motriz, el chasis y la dirección además de tecnologías de seguridad, electrónica y sensores; e industrial, para maquinaria de construcción, agrícola, ferrocarril, helicópteros, energía eólica y accionamientos y engranajes industriales. (83)

Faurecia nació en 1998 tras la unión de Bertrand Faure y ECIA. La primera nació en 1914 en Francia, como un taller de fabricación de asientos, y se especializó en la mejora del confort del ocupante; la segunda nació en 1987, tras la unión de dos empresas de Peugeot, con lo que se convirtieron en uno de los proveedores europeos más importantes, especializado en sistemas de escape y admisión, asientos, habitáculos, paragolpes y piezas estructurales. Actualmente centra su actividad en cuatro negocios estratégicos: Faurecia Seating, Faurecia Interiors, Faurecia Clarion Electronics y Faurecia Clean Mobility. Tienen en su cartera de clientes a OEMs como el grupo PSA, el grupo VAG o Renault, entre otros. (84)

En junio de 2018 ZF y Faurecia unieron sus fuerzas para diseñar un salpicadero interactivo para vehículos totalmente automatizados, SAE 4 en adelante. Con el crecimiento de la automoción se están demandando nuevas configuraciones y tecnologías que permitan desarrollar diferentes actividades de entretenimiento o de trabajo dentro del habitáculo.



Figura 63. Diseño salpicadero ZF y Faurecia (85).

El diseño de los interiores y del sistema interactivo corrió a cargo de Faurecia, mientras que el ordenador centralizado se engendró en ZF, ProAI. Su propuesta pone en igualdad de condiciones a conductor y copiloto, cuenta con pantallas interactivas e individuales demostrando las diferentes posibilidades de diseño interior, sin perder de vista la seguridad. Carece por supuesto de volante y pedales, sin perder la posibilidad de conducción manual gracias a una palanca, a modo de joystick, ubicada en la consola central, lo que no sólo deja la elección en manos del conductor, desde que lado desea conducir, sino que, al mismo tiempo, simplifica las diversidades originadas a los fabricantes a la hora de adaptar los vehículos para conducir por el lado izquierdo o derecho. (85)



Figura 64. Diseño salpicadero ZF y Faurecia, joystick para conducción manual y pantallas individuales (85).

2.3.2 Continental

Esta empresa de origen alemán es mundialmente conocida por sus neumáticos, sin embargo, desarrollan su actividad en más sectores, dentro y fuera del mundo del transporte: Medicina, EPIs, impresión, soluciones para la industria de la alimentación, soluciones para transporte por tren, aéreo, vehículos personales, vehículos industriales y agrícolas (elementos de la cabina, del motor, de la suspensión, para la conectividad, controles, ordenadores de a bordo, ...) y un largo etcétera. (86)

En lo referente a los vehículos de pasajeros, tienen una sección en particular dedicada a los sistemas avanzados de ayuda a la conducción. Disponen de un catálogo en el que “venden” las bondades de los diferentes sistemas ADAS como frenado de emergencia, alerta de tráfico cruzado, detección de ángulo muerto, control de iluminación, asistente de señales o mantenimiento de carril, y exponen los componentes que fabrican asociados a cada función. Dentro de su catálogo cuentan con:

- **Cámaras** con diferentes características: visión nocturna, alta definición, mono o stereo (2D o 3D), con amplio campo de visión, combinada con un Lidar por infrarrojos de corto alcance, pequeñas para la visión trasera o para una visión 360.

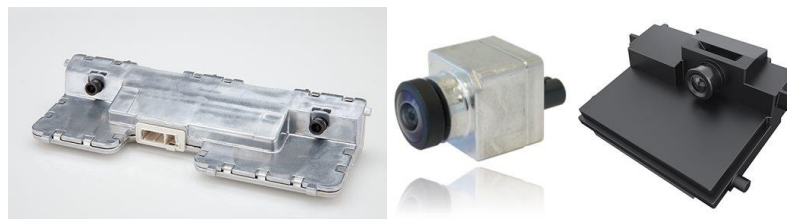


Figura 65. Cámaras de Continental: cámara stereo, cámara visión trasera y cámara con visión nocturna (86).

- **Radars** de corto y largo alcance



Figura 66. Radares de Continental: largo y corto alcance (86).

- **Sensores LiDAR:** 3D de alta resolución con funcionamiento por destellos de corto alcance, HFL de las siglas en inglés *High-Resolution 3D Flash LiDAR*; de corto alcance combinado con cámara



Figura 67. LiDAR de Continental, combinado con cámara y HFL (86)

- **Unidades de control** dedicadas para aplicaciones en el ámbito de la conducción de alta automatización

2.3.3 Bosch

Esta multinacional alemana nació en Stuttgart en 1886, de la mano de Robert Bosch como un taller de ingeniería para mecánica de precisión y electrónica. Actualmente trabajan en un amplio espectro, desde soluciones para el hogar (electrodomésticos, dispositivos para el cuidado personal, herramientas, ahorro energético, casas inteligentes,...), para la industria (tecnología para robotización, dispositivos conectados, herramientas para profesionales, software, elementos para electrónica de consumo, soluciones de seguridad,...) y, finalmente, para la movilidad (servicio de ingeniería, partes y accesorios para automóviles, servicios de mantenimiento, sensorización,...).

En su página web disponen de un catálogo centrado, entre otros, en los sistemas ADAS y conducción autónoma, donde combinan dispositivos con diferentes propósitos. Como muchos de ellos se pueden emplear para varias funciones, distintas entradas acaban dirigiendo a los mismos sensores. (33)

- **Radares de medio y largo alcance** indicados para sistemas AEB, ACC, indicador de distancia con vehículo precedente, ayuda de conducción en tráfico en retenciones, asistente de cambio de carril, alerta de tráfico trasero cruzado

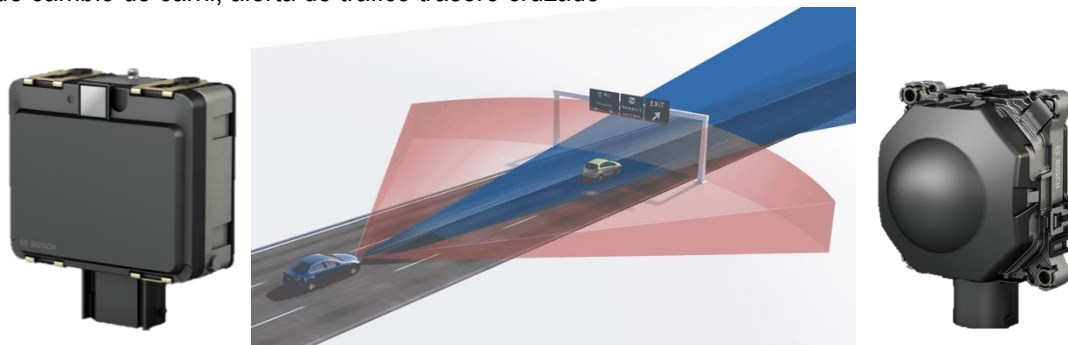


Figura 68. Radares de medio y largo alcance, y su campo de detección (33)

- **Sensores por ultrasonidos** para asistente de aparcamiento y ayuda para conducción en zonas en obras y aparcamiento remoto



Figura 69. Sensores por ultrasonidos y su localización (33)

- **Cámaras de corto alcance** para ayuda de aparcamiento, detección de carril, detección de objetos



Figura 70. Cámaras de corto alcance (33)

- **Cámaras mono o stereo** para detección de objetos, de carriles, de fuentes de iluminación; para sistemas de reconocimiento de señales, mantenimiento de carril, alerta de colisión, alerta de atropello, ACC, asistente de tráfico en retenciones, control inteligente de iluminación, aparcamiento, ayuda de conducción en zonas en obras



Figura 71. Cámaras mono y stereo (33)

- **Sensor del ángulo de la dirección** para ESP, ACC, detección de somnolencia



Figura 72. Sensor de ángulo de la dirección (33)

2.3.4 Sensorización para ADAS

Los sensores son dispositivos de gran importancia para los sistemas de ayuda a la conducción, tanto actuales como para la futura conducción autónoma, ya que son los elementos a través de los cuales los vehículos recogen grandes cantidades de información del entorno que les rodea, elementos fijos o móviles, señalizaciones, marcas viales o usuarios vulnerables, y dependiendo de lo fidedignos que sean, más se podrá adecuar la respuesta del vehículo a cada circunstancia. (87)

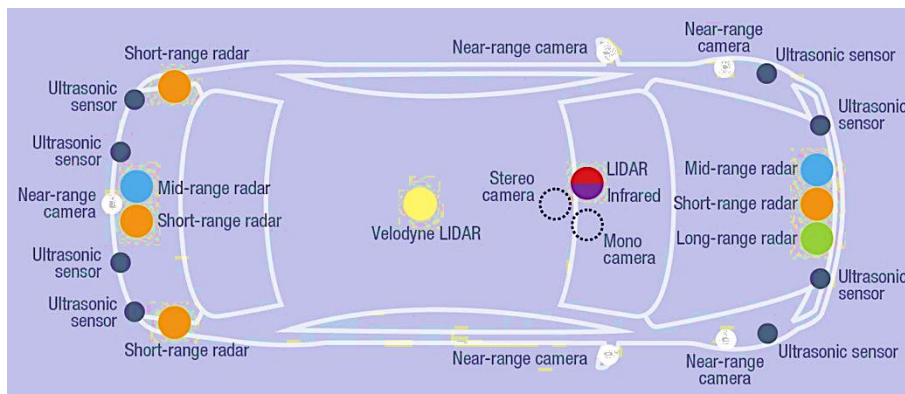


Figura 73. Localización de los sensores para ADAS y vehículos autónomos (87)

3 DESARROLLO DE LA SEGURIDAD

El camino hacia la autonomía total está plagado de buenas intenciones: reducir los siniestros, reducir los fallecimientos, reducir la congestión del tráfico y mejorar la movilidad. Pero todavía quedan muchos inconvenientes y fallos por solventar. (31)

La evolución de la visión de las previsiones a lo largo de los últimos años:

3.1 Evolución de las hojas de ruta

En 2014 el portal Mojo Motors (conocido actualmente como Carfax, se dedica a la recopilación y venta de historiales de vehículos para facilitar la compra segura, ofreciendo información acerca de cualquier vehículo de ocasión) publicaba en su blog un recopilatorio de previsiones obtenido de varias fuentes como Mercedes-Benz, General Motors, Nissan, Volvo, Fehr & Peers ... en 2020 OEMs como BMW, Volvo o Nissan esperaban comenzar a vender vehículos con un nivel de autonomía SAE 3, para 2026 esperaban que todos los vehículos vendidos en Estados Unidos fuesen totalmente autónomos y que en 2030 sólo se pudiesen adquirir este tipo de vehículos. Para 2040 entre el 50 y el 75% del parque rodado sería autónomo, en la década de los 60 ya llegaría al 75% y para la década de los 70 el 95% de los vehículos serían autónomos.

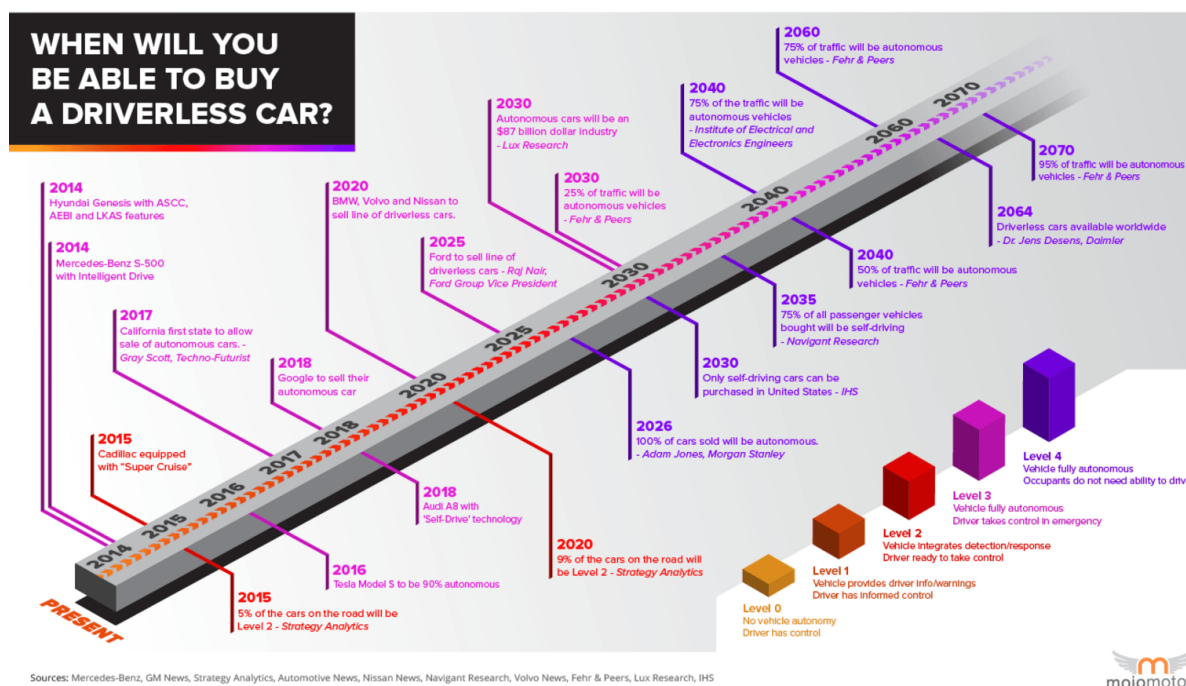


Figura 74. Previsión de Mojo Motors en 2014 para el vehículo autónomo (21)

Esta recopilación de Mojo Motors es la única que se adentra tan lejos en el futuro para realizar un bosquejo de lo que se augura para el porvenir del tráfico rodado autónomo. El resto de publicaciones no van más allá del 2030, puesto que resulta realmente complicado hablar con certeza cuando a día de hoy hay tantas tecnologías en desarrollo y tantas incertidumbres por resolver.

Antes de continuar con las previsiones, se debe explicar qué son los Niveles de Madurez Tecnológica (TRL – *Technology Readiness Levels*). Se trata de una escala de valoración de la evolución de un proyecto tecnológico, que abarca desde el estudio de los conceptos y principios en que se basa la tecnología a desarrollar, hasta que el sistema se encuentra operativo y disponible en el mercado. El proceso se ha clasificado en 9 estadios diferenciados a continuación: (88)

- **TRL 1.** Principios básicos estudiados
- **TRL 2.** Concepto tecnológico formulado
- **TRL 3.** Prueba de concepto experimental
- **TRL 4.** Tecnología validada en laboratorio
- **TRL 5.** Tecnología validada en un entorno relevante, industrial para tecnologías clave facilitadoras (*KET-Key Enabling Technologies*)
- **TRL 6.** Tecnología demostrada en un entorno relevante, industrial para tecnologías clave facilitadoras
- **TRL 7.** Demostración de prototipo en entorno operacional
- **TRL 8.** Sistema completo y cualificado
- **TRL 9.** Sistema real probado en un entorno operacional, fabricación competitiva para tecnologías clave facilitadoras

El estado del arte que implica cada uno de los niveles TRL y el entorno en el que se desarrollan se puede comprender fácilmente con el esquema a continuación:

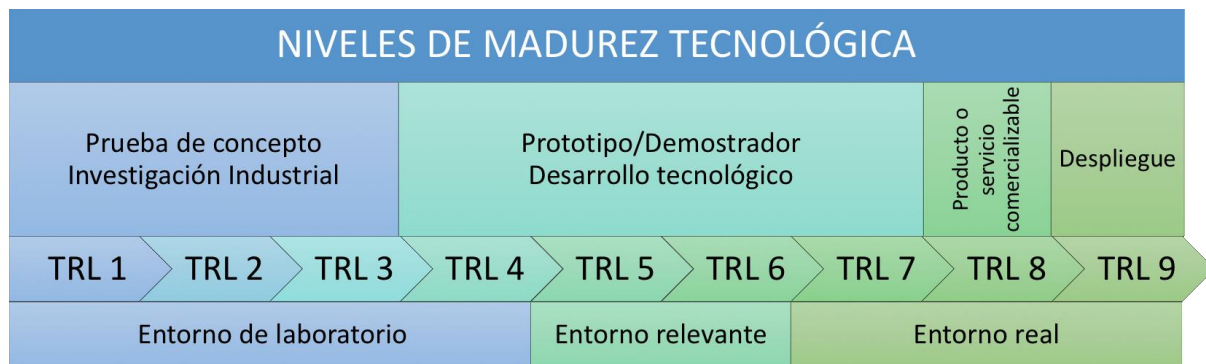


Figura 75. Niveles de maduración tecnológica TRL (21)

Los primeros tres niveles de madurez tecnológica pertenecen al estado conceptual, desarrollados en el laboratorio; en el cuarto ya se cuenta con la tecnología en fase de prototipado probada en laboratorio; en las fases quinta y sexta, los prototipos son puestos a prueba en entornos controlados; en el nivel séptimo, el prototipo ha superado los ensayos y comienza a enfrentarse al mundo real; en la octava fase el producto ha superado con éxito las pruebas en entornos controlados y reales, se puede considerar terminado y listo para entrar en el mercado; finalmente, en el nivel noveno el producto se encuentra en producción serie y se comercializa.

A medida que ha ido pasando el tiempo y las tecnologías se han ido desarrollando a diferentes ritmos, las expectativas para la consecución del vehículo autónomo han ido sufriendo reajustes.

En marzo de 2015 el SMMT, *Society of Motor Manufacturers and Traders*, es decir, la Sociedad de fabricantes y comerciantes de automóviles de Reino Unido publicó un reportaje titulado *Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity*, en el que se hacía un estudio augurando cuándo estarán las tecnologías disponibles, por cada nivel de SAE, de 0 a 5, cómo penetrarán en el mercado, y el beneficio que podrían llegar a suponer para la industria automovilística inglesa.

Preveían que, aproximadamente, para 2018 las tecnologías de nivel SAE 1 ya estarían disponibles, previsión bastante acertada dada la disponibilidad de muchos de estos sistemas en los vehículos que se encuentran actualmente a la venta (LKA, AEB, ACC, iACC, asistente de aparcamiento, ...). Incluso aciertan con el único sistema clasificado como SAE 2, el asistente de tráfico en retenciones, que en vehículos de gama superior se encontraba disponible alrededor de 2015, y que a lo largo de estos años se ha ido mejorando e incorporando en otras marcas. Los sistemas SAE 3, se esperaban entre finales

de esta década y mediados de la próxima; los SAE 4, se pronosticaban para finales de la próxima década, y, al igual que en las últimas previsiones del ERTRAC, no cuentan con suficiente información como para concretar cuándo estarán disponibles los sistemas 100% autónomos, SAE 5, sólo especifican que será más allá del año 2030.

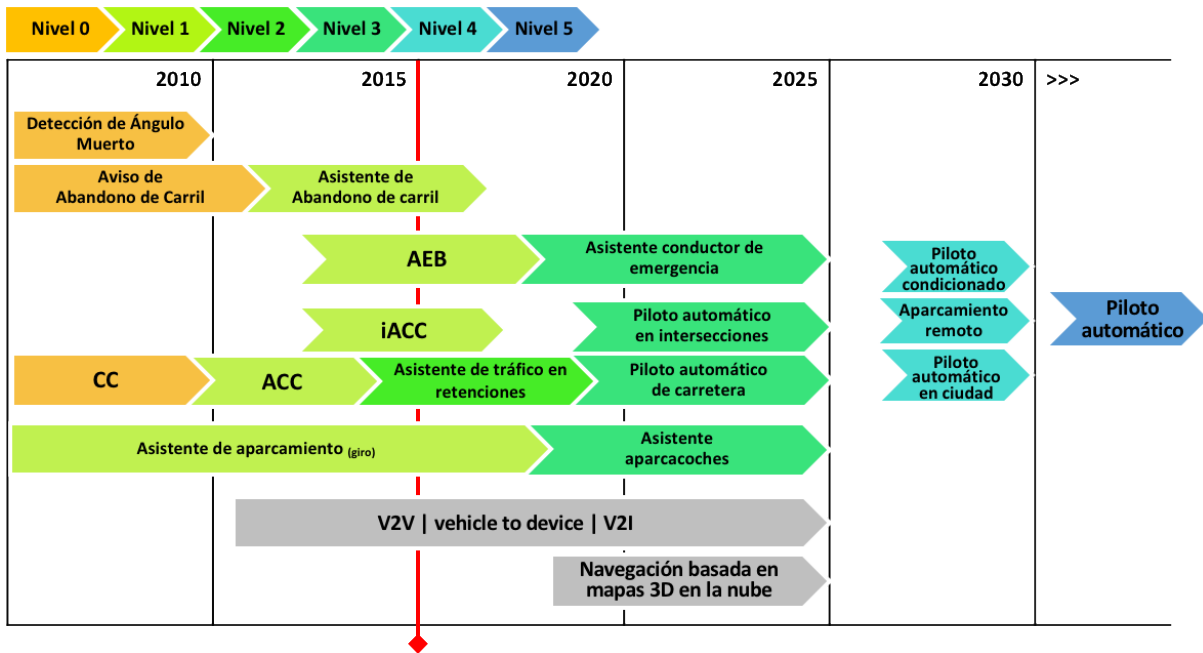


Figura 76. Previsión del SMMT en 2015 de los sistemas ADAS y conectividad

En lo que respecta al vehículo conectado, se espera que el desarrollo de las tecnologías que permitan la comunicación entre vehículos y las infraestructuras siga progresando, hasta poder tenerlo disponible a mediados de la próxima década; al igual que la navegación con mapas 3D (como por ejemplo ocurre con la navegación de Waymo).

El SMMT preveía que la mitad de los vehículos vendidos en 2015 serían vehículos conectados, creciendo su venta hasta llegar al 100% para el año 2026. Para las tecnologías de ayuda a la conducción SAE 3 esperaban una paulatina penetración en el mercado que comenzaría en 2017 e iría creciendo hasta casi el 90% para el año 2028, a partir de ahí comenzarían a desaparecer en favor de las tecnologías de nivel SAE 4-5, que habrían comenzado a aparecer en 2025 y que se habrían hecho con un 25% del mercado para 2030.

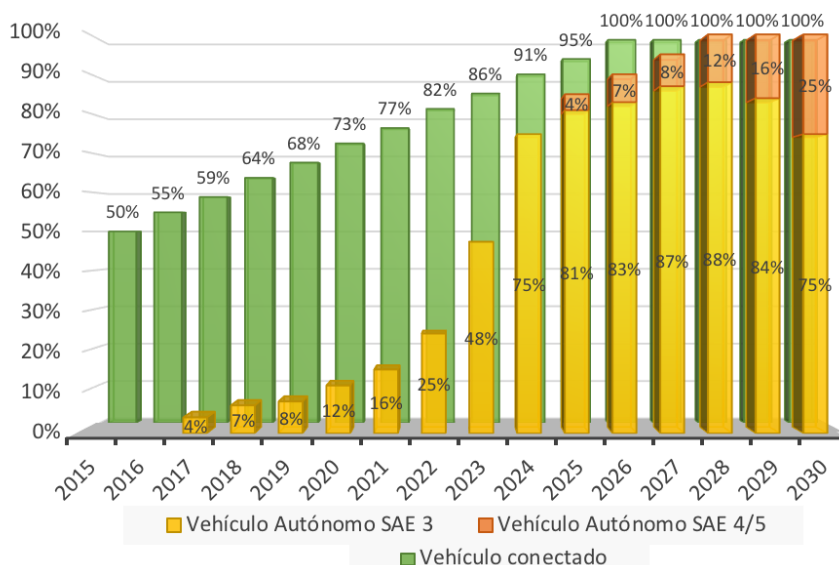


Figura 77. Penetración en el mercado Reino Unido (89)

El ERTRAC, Consejo Consultivo Europeo de Investigación del Transporte por Carretera, realiza un análisis del estado del arte y sus previsiones diferenciando entre vehículo particular, vehículo industrial, y transporte urbano.

En 2015, en comparación con el SMMT, realizaban una previsión más favorecedora. Planteaban que, para los vehículos particulares, partiendo de sistemas de nivel SAE 0 (ABS, ESC, advertencias de salida de carril, de colisión trasera, asistente de cambio de carril, control de distancia de aparcamiento (PDC – *Park Distance Control*), ...) y SAE 1 (ACC, Stop&Go, asistente de aparcamiento, asistente de mantenimiento de carril, ...), los sistemas de asistencia a la conducción fuesen avanzando logrando que las tecnologías en estado de madurez de entre TRL 7 y TRL 9, es decir, ya en últimas fases de desarrollo y sobre entorno real, para un nivel SAE 3 estuviesen asentadas para 2020, las de SAE 4 para 2025, alcanzando los sistemas 100% autónomos, SAE 5, para el año 2030. (26,89) (25)

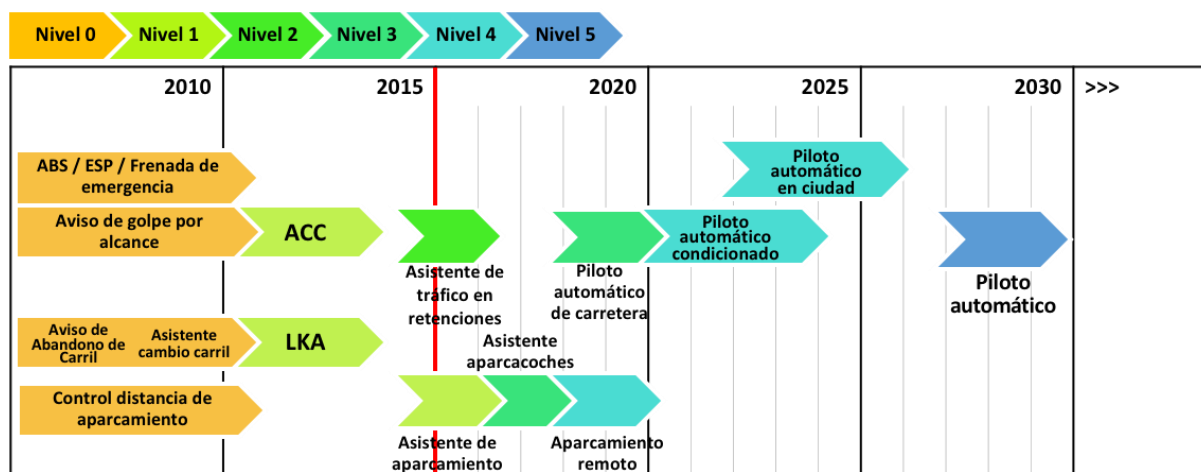


Figura 78. Previsión para vehículos particulares de el ERTRAC en 2015

Para vehículos industriales, el punto de partida era similar al de los vehículos particulares. Se esperaba que los sistemas de niveles SAE 2 y 3, con un estado de desarrollo TRL de entre 7 y 9, para tráfico en retenciones y marcha en convoy estuviesen disponibles entre 2017 y 2022. El sistema de aparcamiento en terminales de SAE 4 se esperaba entre 2017 y 2020. El piloto automático con convoy de nivel SAE 4 se desarrollaría entre 2021 y 2025. Y el camión 100% autónomo SAE 5 se esperaba entre 2015 y 2030. (25)

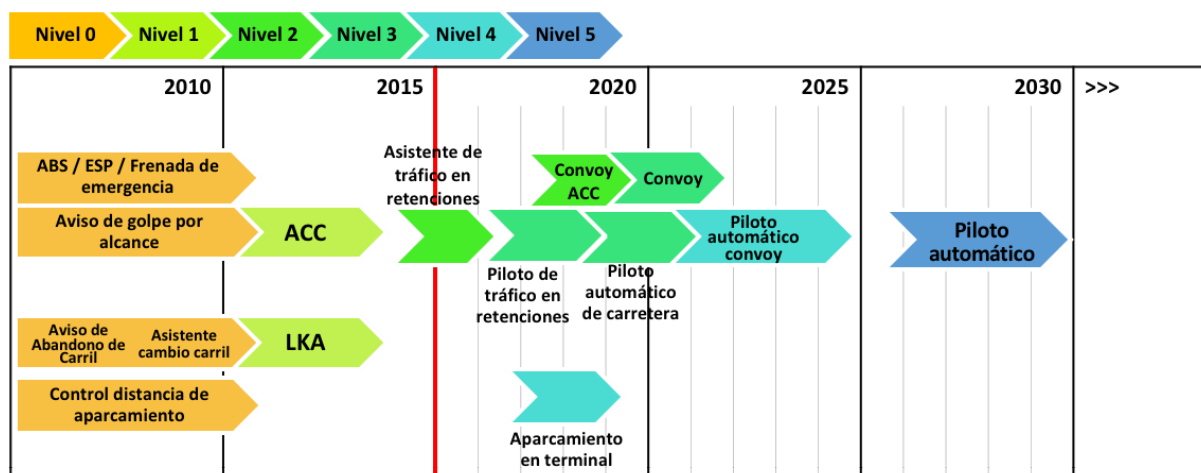


Figura 79. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2015

En lo que respecta a los vehículos destinados a la movilidad urbana, hizo unas vagas previsiones sin tener en cuenta al menos el punto de partida. Esperaban que entre 2016 y 2017 se contase con taxis y autobuses urbanos con un nivel SAE 4, que condujesen bajo condiciones controladas, a baja velocidad y en carriles apartados. Para 2 años más tarde esperaban que diesen un paso adelante en su evolución y pudiesen desenvolverse en sus propios carriles, aunque todavía sin mezclarse con el resto del tráfico. Entre 2026 y 2030, esperaban la aparición de los autobuses urbanos autónomos con nivel SAE 4 y con tráfico mixto; y para las mismas fechas, el taxi 100% autónomo con nivel SAE 5. (25)

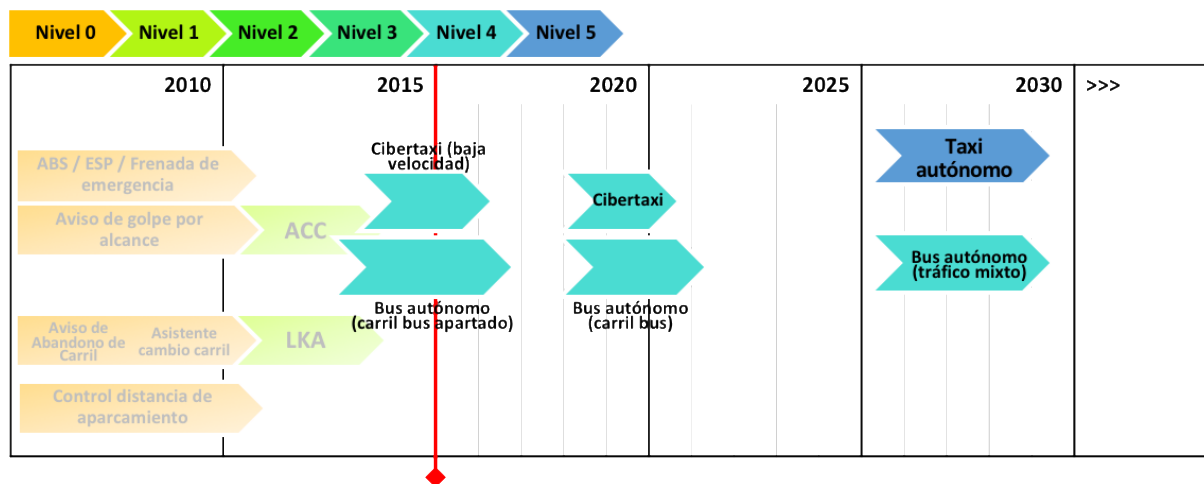


Figura 80. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2015

En las previsiones actuales, de 2019, han dejado de lado los sistemas de aparcamiento, y en comparación con 2015, sus expectativas para los sistemas con nivel SAE 3 y 4, se han vuelto más conservadoras, retrasándose del orden de 2 a 3 años, y esperan la aparición del vehículo autónomo, más allá del año 2030, sin atreverse a concretar una fecha aproximada en el futuro. (90)

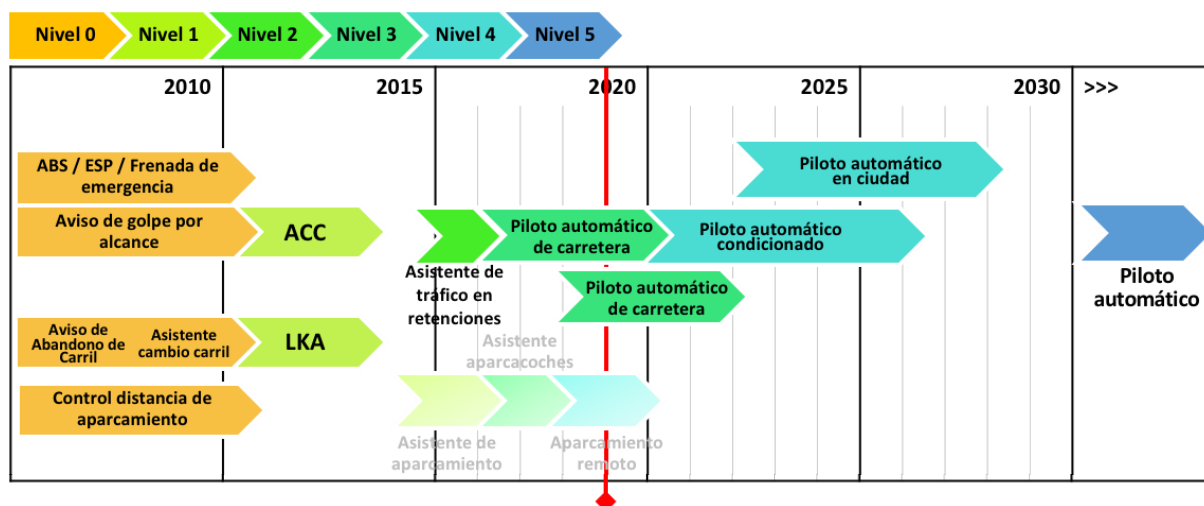


Figura 81. Previsión para vehículos particulares del ERTRAC en 2019

Actualmente se están probando prototipos de camiones altamente automatizados (como es el caso de Waymo), en entornos controlados. ERTRAC espera que alrededor de 2021 den paso a los vehículos con SAE de nivel 4, que operarán de centro a centro (de terminal a terminal, hub-to-hub), que darán paso, hacia 2026, a los vehículos altamente automatizados en carreteras públicas, que podrán estar entre 2026 y principios de la década de los 30. Al igual que para el vehículo particular, han dejado de lado las tecnologías de aparcamiento. Los sistemas con niveles SAE 2 y 3, con un estado de desarrollo TRL de entre 7 y 9, para tráfico en retenciones y marcha en convoy se retrasan 3-4 años. El piloto automático con convoy de nivel SAE 4 se retrasa también entre 2024 y 2030. Y el camión 100% autónomo SAE 5 se retrasa, como el vehículo particular, más allá del año 2030, sin atreverse a concretar una fecha aproximada en el futuro. (90)

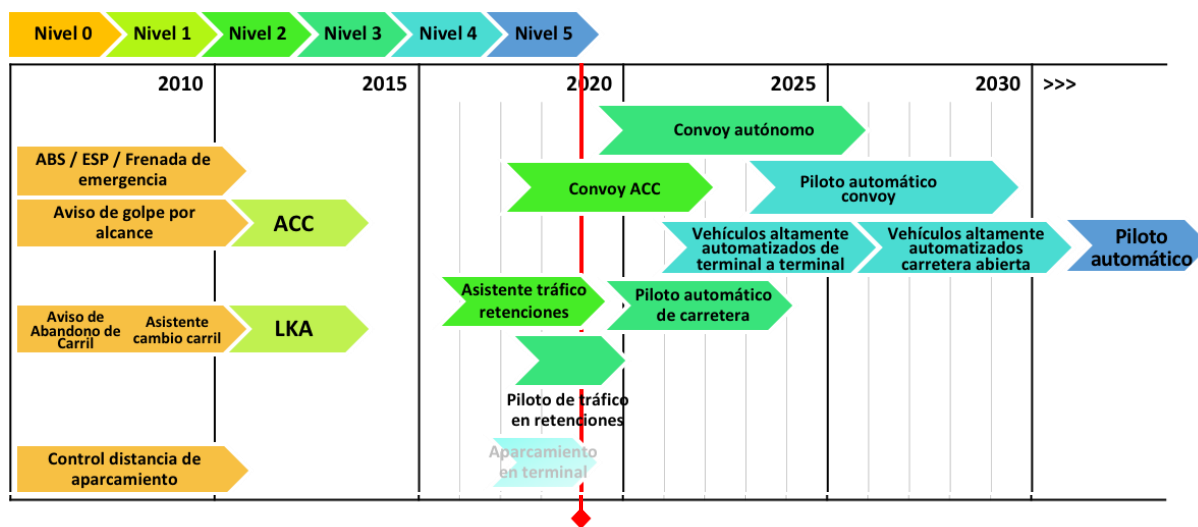


Figura 82. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2019

Para el transporte urbano han hecho un examen más exhaustivo y realista, comenzando con el estado previo de la tecnología ya asentada. Esperan que los sistemas SAE 2 – 3 se desarrollen a la par que los transportes urbanos SAE 4 con carril dedicado, comenzando próximamente y terminando antes de 2025. El siguiente paso esperan que se produzca entre 2025 y 2030, que sería incorporar ambos vehículos al tráfico mixto. Y al igual que para el resto de vehículos, la autonomía total, SAE 5, más allá del año 2030, sin atreverse a concretar una fecha aproximada en el futuro. (90)

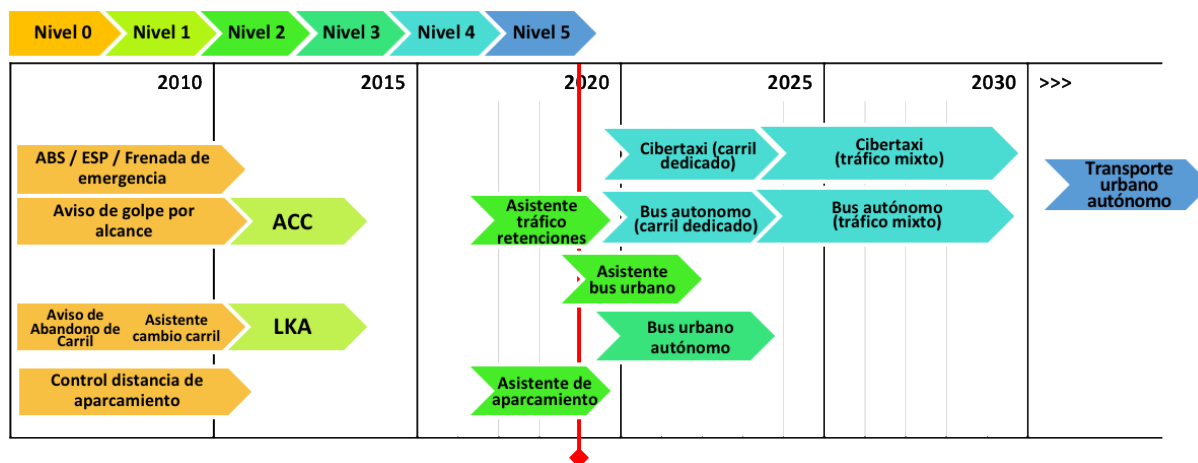


Figura 83. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2019

3.2 Proyectos Europeos

Entidades gubernamentales, como la Unión Europea, están financiando proyectos de investigación relacionados con el vehículo autónomo para impulsar su desarrollo. A continuación se entra en detalle en dos de estos proyectos, ambos relacionados con la futura seguridad pasiva.

3.2.1 Proyecto OSCCAR



Figura 84. OSCCAR Project y su consorcio de socios (91)

El Proyecto OSCCAR se centra en el estudio de la futura seguridad pasiva de los ocupantes. El futuro diseño del interior de los vehículos autónomos generará la necesidad de evaluar nuevos escenarios de accidentes que todavía escapan de las regulaciones y los tests actuales realizados por las asociaciones de consumidores. El habitáculo de los vehículos autónomos proveerá nuevas posiciones de asiento para mayor confort e interactividad entre los ocupantes. Esta nueva situación requerirá de nuevos sistemas de seguridad, y su correspondiente homologación. OSCCAR analizará los nuevos requerimientos de seguridad y definirá sus nuevas necesidades para el desarrollo tecnológico por parte de la industria del automóvil. De esta manera será posible la existencia de nuevas posiciones de asiento con mayor confort y seguridad.

El desarrollo de los nuevos principios y conceptos de protección avanzada se realizará empleando modelos virtuales mejorados del cuerpo humano (omni-direccionales, con alta bio-fidelidad y que tienen en cuenta las propiedades de los tejidos blandos), para analizar casos complejos de accidentes donde los dummies convencionales en tests físicos no resultan de confianza. Además, los modelos virtuales del cuerpo humano permiten tener en cuenta características heterogéneas, como el género, la edad, la estatura o factores demográficos particulares, lo que permitirá mejorar la seguridad individual de los ocupantes.

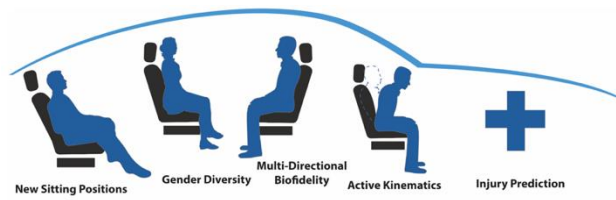


Figura 85. Áreas de desarrollo del OSCCAR Project (91)

En un futuro se embarcarán en una hoja de ruta para implementar de forma generalizada los métodos de ensayo virtuales para otros usuarios de la vía, ciclistas, motoristas, usuarios vulnerables de la vía; y en otros terrenos, como por ejemplo, en deportes. Gracias al consorcio de socios con posiciones clave en el terreno de la industria y la investigación de la automoción, Europa, Norte América y Asia, OSCCAR se encuentra en una posición inmejorable para asegurar el futuro desarrollo y aplicación de sus resultados y logros a nivel global. (91)

A modo de síntesis, los principales objetivos del Proyecto OSCCAR se enumeran a continuación:

- Comprensión de los futuros escenarios de accidentes relativos a vehículos de pasajeros.
- Demostración de los nuevos y avanzados principios y conceptos de protección del ocupante.
- Establecimiento de un marco de evaluación integrado y virtual.
- Contribución a la estandarización de los procedimientos de prueba virtuales.
- Desarrollo de una estrategia para la implementación a gran escala de los métodos de evaluación virtuales.

3.2.2 Proyecto VIRTUAL



Figura 86. Project VIRTUAL y grupo asesor (92)

Su misión es la de contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible señalados por la ONU, en particular, los relacionados con este proyecto que son:

- Salud: reducir el riesgo de lesiones abordando nuevos desafíos para lograr vías más seguras.
- Igualdad de género: considerando tanto hombres como mujeres en la evaluación de la seguridad.
- Innovación y crecimiento económico: siendo la fuerza que impulsa el desarrollo, abriendo el acceso a las herramientas necesarias en ambiente competitivo.
- Ciudades sostenibles: enfocando sobre la movilidad urbana, los usuarios vulnerables y los diferentes medios de transporte público.
- Educación de calidad: permitir a los técnicos el uso de las herramientas y modelos más modernos, para ampliar sus conocimientos sobre modelos de cuerpo humano y tests virtuales.
- Producción responsable: reduciendo el número de pruebas físicas a cambio de pruebas virtuales, minimizando el número de prototipos necesarios.

La Comisión Europea ha iniciado una revisión de las normas de seguridad vigentes para tener en cuenta los nuevos desarrollos. Los tests virtuales permiten una gama mucho más amplia de características específicas de los ocupantes de lo que nunca sería viable en las pruebas físicas, incluidos factores como la edad o el tamaño. VIRTUAL abordará dichas limitaciones y buscará nuevos enfoques.

En línea con la visión actual de la seguridad en las carreteras europeas, Virtual avanzará más allá del estado del arte proveyendo modelos, herramientas y protocolos para tests virtuales para seguridad en la carretera. Con el aumento de la complejidad de las configuraciones en los accidentes, es necesaria una evaluación más compleja de los nuevos sistemas de seguridad, para identificar aquellos que mejor actúan. Los tests físicos son caros y limitados con respecto a los escenarios que pueden replicar y los dummies que pueden usar.

Durante mucho tiempo se ha esperado que los ensayos virtuales complementen los físicos y así reducir el número de tests físicos necesarios, y a la vez, abordar una mayor variedad de escenarios. A pesar de los avances en este campo todavía falta mucho hasta lograr la meta. Más allá de esta contribución, Virtual proveerá una sólida base al almacenar los avances actuales en herramientas y recursos de código abierto.

En VIRTUAL apuestan por un enfoque de acceso abierto: un software con código independiente que proveerá una solución total para ensayos virtuales desde los modelos hasta las especificaciones, protocolos y soporte al usuario

Con la ayuda de los modelos de cuerpo humano, será más fácil evaluar las consecuencias de los accidentes en los que los dummies no funcionan o no son de confianza. Actualmente los modelos de cuerpo humano son un obstáculo para los nuevos competidores que desean entrar en el mercado de la seguridad, dado el altísimo nivel tecnológico. Virtual reducirá esta barrera ofreciendo acceso abierto con un nivel de detalle adecuado y un tiempo de ejecución eficiente.

El proyecto dará cabida a todo tipo de partes interesadas, desde investigación hasta la industria, pasando por los cuerpos reguladores y las asociaciones de consumidores, y casas de software independientes. El proyecto plantea proveer soluciones para ensayos virtuales directamente aplicables. (92)

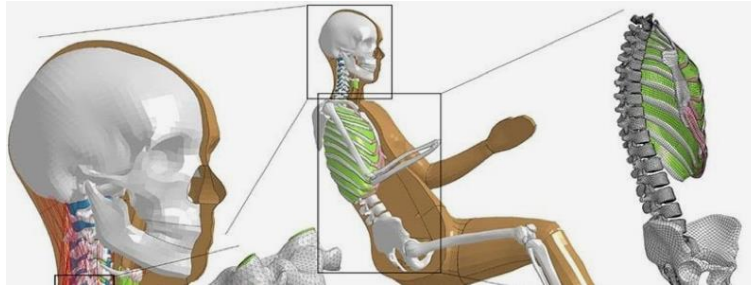


Figura 87. Primer HBM disponible en una plataforma OpenVT (92)

4 EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

4.1 Instituciones

Existen varias instituciones a lo largo del mundo cuyo cometido es evaluar la utilidad, fiabilidad y sobre todo la seguridad de los elementos y sistemas que incorporan nuestros vehículos. Algunas de ellas son gubernamentales y se dedican, simplemente, a comprobar que estos sistemas llegan al umbral mínimo exigido por ley; sin embargo, hay otras que evalúan y clasifican el rendimiento de estos sistemas. Lo interesante de este tipo de valoración, no es solo la luz que arroja sobre la posición de unas marcas con respecto a la competencia, ayudando a los ciudadanos a decidir, según sus necesidades, qué vehículo merece la pena por la seguridad que equipa; sino que, al fomentar la competitividad entre los OEMs y mejorar un ranking en continua evolución, haciendo que las pruebas sean cada vez más restrictivas y exigentes, y diseñando nuevas pruebas para valorar los nuevos sistemas que van surgiendo, logran impulsar la innovación y la aparición de nuevas mejoras.

4.1.1 Euro NCAP

Este es el caso del Programa Europeo de Evaluación de Nuevos Coches, más conocido como Euro NCAP, de las siglas de *European New Car Assessment Programme*.

Durante los años 70 y 80 algunos gobiernos europeos estuvieron trabajando con el Comité Europeo de Vehículos Experimentales (EEVC), para desarrollar procedimientos para la evaluación de la seguridad de los vehículos en caso de colisión o atropello, con miras a incorporar estos ensayos a la legislación europea, cosa que no fue vista con buenos ojos por el sector automovilístico.

En 1994 el Departamento de Transporte de Reino Unido se decidió a crear su propio programa de evaluación de vehículos con vistas a la expansión por el resto de Europa. A finales de 1996, la Administración Nacional Sueca de Carreteras (SNRA), la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) y la Organización Internacional de Ensayos, fundaron Euro NCAP.

El programa de evaluación ha sido desde sus inicios ambicioso y completo, con el fin de llevar a cabo pruebas comparativas; los ensayos se llevan a un nivel superior al requerido por la legislación vigente.

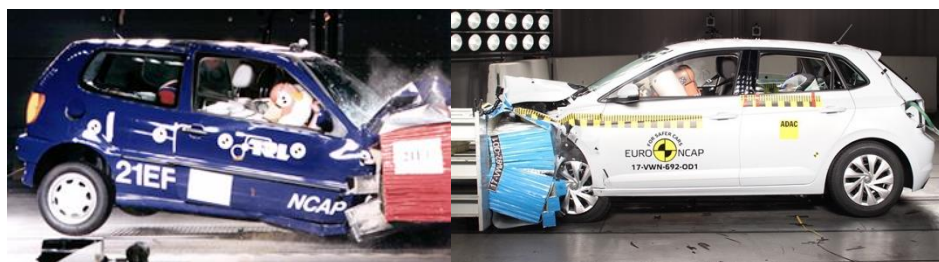


Figura 88. Crash tests de Euro NCAP sobre VW Polo: 1^{er} (1997) y más reciente (2017) (93)

Euro NCAP creó un sistema de valoración de seguridad de cinco estrellas. La puntuación se determina a partir de una serie de ensayos que ellos mismos diseñan y ejecutan. Las pruebas representan colisiones y situaciones de riesgo que podrían tener lugar en condiciones de conducción real en las vías públicas, pudiendo causar lesiones o fallecidos tanto entre los ocupantes del vehículo como otros usuarios de la carretera.

Los ensayos en los que se ponen a prueba sistemas de seguridad pasiva son los siguientes:

- Impactos del vehículo contra diferentes obstáculos. En estos ensayos se valora tanto la protección del ocupante adulto como la del ocupante infantil para diferentes edades y sus correspondientes sistemas de retención
 - frontal: parcial y completo
 - lateral: carro y poste



Figura 89. Evaluación Euro NCAP de seguridad pasiva: impactos (93)

- Latigazos cervicales: los asientos anclados a una plataforma se aceleran de forma repentina, y se evalúa la retención del movimiento de la cabeza del dummy.

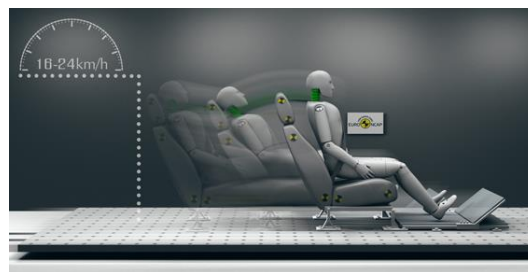


Figura 90. Evaluación Euro NCAP de seguridad pasiva: asiento(93)

- Protección para usuarios vulnerables: estas pruebas se centran en los daños provocados en atropellos. Simulando diferentes partes del cuerpo se golpean diferentes superficies del frente del vehículo (paragolpes, faros, capó y luna), y se evalúa su comportamiento.








Figura 91. Evaluación Euro NCAP de seguridad pasiva: atropello(93)

Por otro lado, realizan pruebas para valorar la seguridad activa. Como, por ejemplo, el control electrónico de la estabilidad, conocido como ESP o ESC, se introdujo en la valoración en 2009, en 2014 se convirtió en un equipamiento obligatorio para vehículos nuevos, y por ello, en 2016, Euro NCAP dejó de probarlo. También valoran sistemas avanzados de ayuda a la conducción como se mostrará más adelante con mayor detenimiento.



Figura 92. Evaluación Euro NCAP de seguridad activa: ESC(93)

Cuanto mayor es el rendimiento del vehículo, mayor es el número de estrellas recibidas. Los vehículos que se limitan a cumplir con los requisitos legales no reciben estrellas, lo que no quiere decir que sean inseguros, sólo que no son tan seguros como los competidores que si las reciben. Según el sistema de valoración de la seguridad actual, el significado del número de estrellas es el siguiente

-  → Protección contra colisiones con buen rendimiento general. Tecnología de prevención de colisiones presente y sólida.
-  → Protección contra colisiones con buen rendimiento general. Tecnología de prevención de colisiones puede estar presente.
-  → Protección contra colisiones con buen rendimiento general. Tecnología de prevención de colisiones pobre.
-  → Protección contra colisiones con rendimiento nominal. Tecnología de prevención de colisiones pobre.
-  → Protección contra colisiones mínima.

Como la tecnología, las pruebas y el ranking están en constante evolución es necesario conocer el año en que se evaluó cierto vehículo para poder interpretar correctamente el resultado que obtuvo. No se pueden comparar vehículos de diferentes años, es decir, una puntuación de 5 estrellas mas antigua no se puede equiparar a una actual, las pruebas ahora son más restrictivas y exigentes y los sistemas evaluados han cambiado, porque se han convertido en estándar y han aparecido nuevos. En particular en 2009 el sistema sufrió un cambio radical en el método de evaluación y reparto de puntos. En las imágenes a continuación se puede ver la evolución de la valoración sobre distintas generaciones del Volkswagen Passat

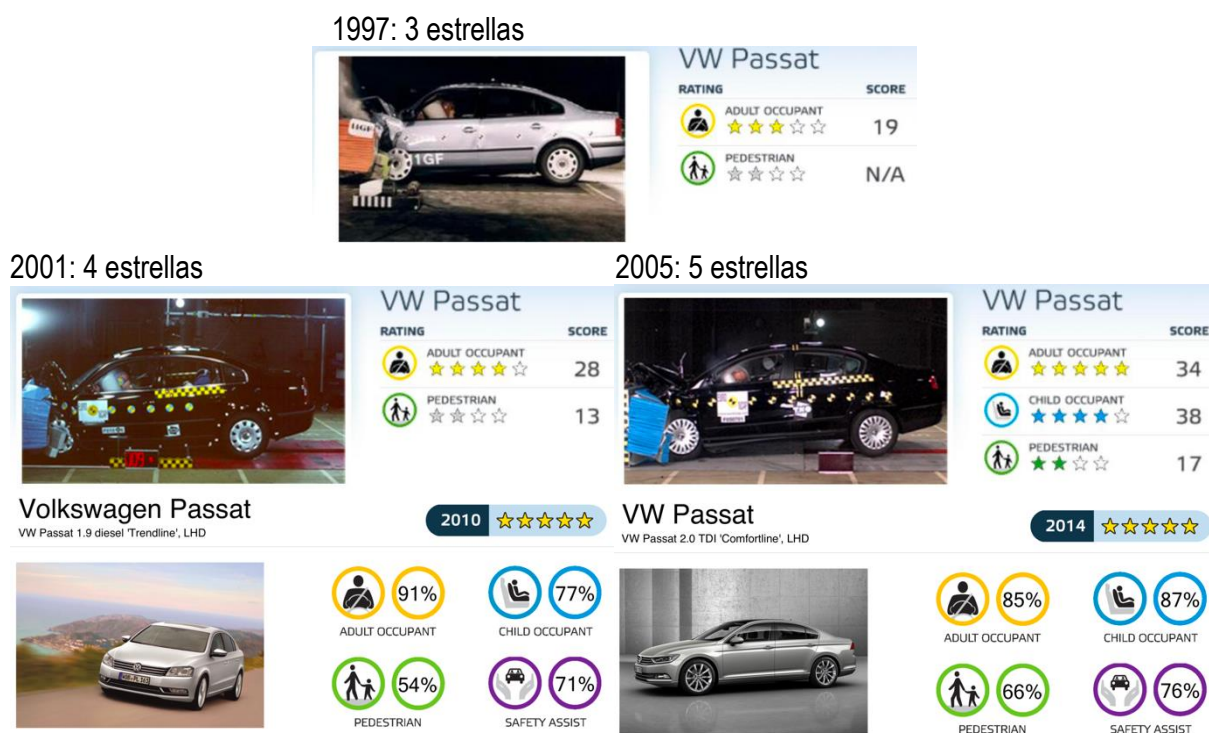


Figura 93. Evolución de la valoración Euro NCAP del VW Passat (93)

Desde 2016 ciertos vehículos muestran una valoración dual. Por un lado, se evalúa el equipamiento de seguridad que el fabricante proporciona de serie, el nivel mínimo, y por otro lado se valora el equipamiento adicional, de forma que el consumidor puede comparar los resultados y valorar las ventajas de los equipamientos extra que puede incorporar en su nuevo vehículo.

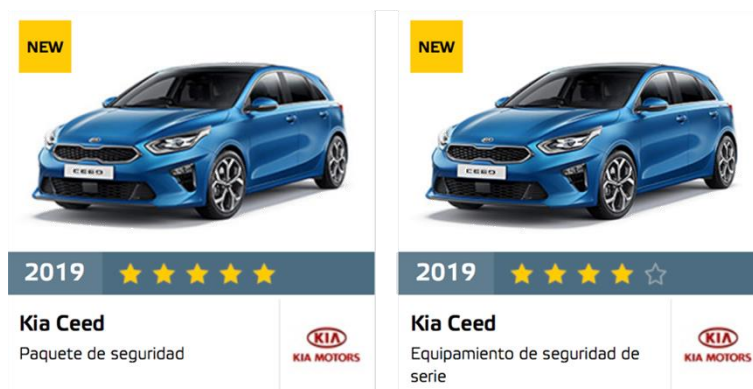


Figura 94. Valoración dual Euro NCAP (93)

4.1.2 The Insurance Institute for Highway Safety (IIHS).

Es una organización independiente, sin fines de lucro, científica y educativa dedicada a la reducción de pérdidas (fallecimientos, lesiones y daños en la propiedad) ocasionadas por accidentes de tráfico. Son una institución de referencia en la prevención y minimización de las consecuencias de los accidentes de tráfico. El instituto de datos de pérdidas en carretera, HLDA, comparte y apoya esta misión con estudios científicos realizados a partir de datos de las aseguradoras sobre pérdidas económicas y humanas, publicando los resultados por marca y modelo de vehículo.

Ambas organizaciones son apoyadas por aseguradoras de vehículos y asociaciones de seguros.

Fue fundada en 1959 por las 3 mayores compañías de seguros de Estados Unidos. Su propósito inicial era apoyar propuestas en el terreno de la seguridad vial, pero una década más tarde se convirtió en una organización de investigación independiente. Sus estudios se centraron en la prevención de accidentes y mejora del comportamiento del vehículo durante éstos. Abrieron para ello, en 1992, el centro de investigación del vehículo, donde se llevan a cabo los crash tests. Además, también comenzaron a evaluar los diseños de las carreteras. El ranking de vehículos que publican por su rendimiento en seguridad ayuda a los consumidores e impulsa a los fabricantes a diseñar coches más seguros, que es su propósito principal. El número de personas que fallece en carretera ha bajado desde 1979 gracias a la mejora de la seguridad de los coches. Desde 2013, con la aparición de los primeros sistemas de asistencia a la conducción, la industria ha tomado un nuevo rumbo.

4.2 Protocolos de evaluación de sistemas autónomos

En este apartado se analizan las pruebas que realizan Euro NCAP e IIHS para la evaluación de ciertos sistemas ADAS. En los anexos se adjuntan los protocolos con más detalle sobre la situación de cada una de las pruebas (velocidades, objetivos, solapamientos,...).

4.2.1 Coche contra coche: AEB y FCW

El frenado autónomo de emergencia y la alerta de colisión por alcance se evalúan en las mismas pruebas. El vehículo se lanza a diferentes velocidades y en escenarios diferentes, contra un vehículo simulado (GVT). Anteriormente se empleaba el llamado *Euro NCAP Vehicle Target*, que replicaba tan solo la parte trasera de un vehículo, pero desde 2018, este vehículo es más realista porque, dependiendo de las configuraciones de los exámenes, los sensores pueden llegar a detectar el lateral del vehículo. Durante los ensayos el conductor no frena, y se evalúa cómo el sistema reduce la velocidad y en que momento advierte al conductor. Se obtienen más puntos si se evita el accidente, pero también se ganan puntos por reducir la velocidad.



Figura 95. GVT- Vehículo objetivo global, vehículo simulado para pruebas ADAS (94)

El frenado autónomo de emergencia y la alerta de colisión por alcance se evalúan bajo el siguiente protocolo de EuroNCAP:

Si los sistemas tienen alguna opción de configuración se selecciona el nivel intermedio o intermedio superior. Si el vehículo equipa algún sistema de protección de peatones desplegable se desconecta. Se prueba en los siguientes 3 escenarios:



Figura 96. AEB urbano/interurbano (43,44).

- **CCRs – Coche contra Coche golpe Trasero**, el GVT se encuentra **parado** y el vehículo examinado se lanza a velocidades representativas para urbano e interurbano.



Figura 97. Evaluación AEB en escenario CCRs (29)

- **CCRm – Coche contra Coche golpe Trasero**, el GVT se encuentra en **movimiento** a velocidad constante pero siempre menor que el vehículo probado, éste se lanza a diferentes velocidades.

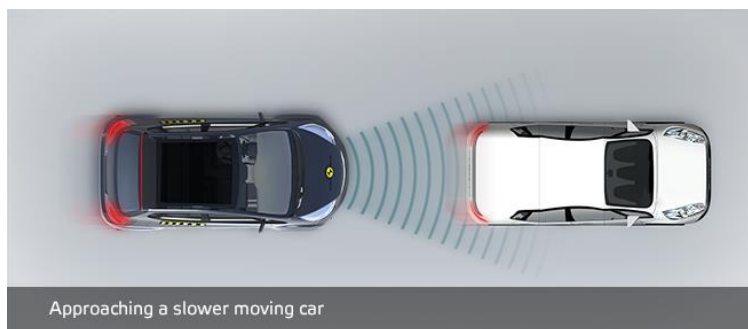


Figura 98. Evaluación AEB en escenario CCRm (29)

- **CCRb – Coche contra Coche golpe Trasero**, el vehículo y el GVT circulan a velocidad constante, entonces el GVT comienza a **frenar**.

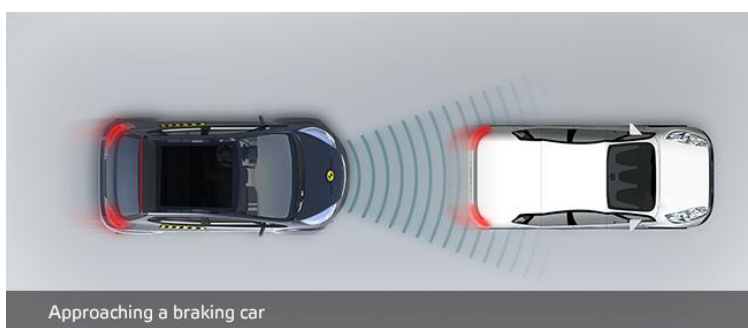


Figura 99. Evaluación AEB en escenario CCRb (29)

4.2.2 Conche contra usuarios vulnerables: AEB VRU

La velocidad es determinante para las lesiones que puede sufrir un usuario vulnerable de la carretera, tras ser atropellado por un vehículo. Existen sistemas de frenado de emergencia autónomo que detienen el vehículo por completo antes de chocar contra un VRU (normalmente, un peatón o un ciclista) o, al menos, reducen la velocidad de impacto, lo que minimizará las lesiones que la persona pueda sufrir.

Para la evaluación de la detección de peatones, Euro NCAP realiza pruebas en tres escenarios, con el peatón interponiéndose en la ruta del vehículo y con el peatón andando en la misma dirección que el vehículo, con condiciones ambientales, lumínicas diferentes. Para simular a la persona se emplean dummies articulados, de adulto y de niño, que mueven las piernas como si se tratase de una persona real.

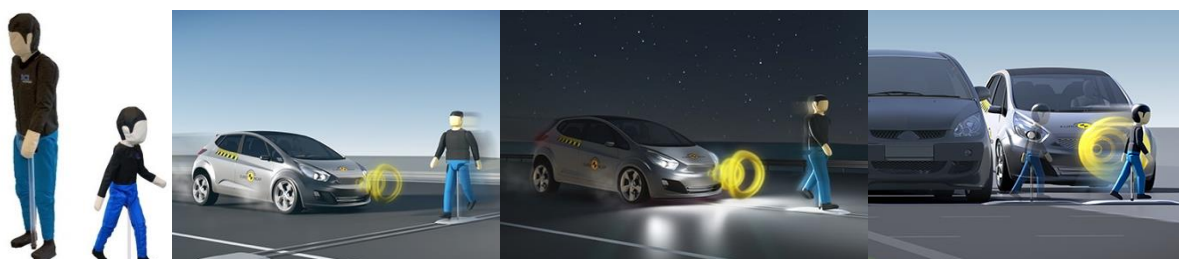


Figura 100. Evaluación Euro NCAP de AEB para peatones: dummies empleados (95) y escenarios (96).

Para la detección de ciclistas, Euro NCAP realiza los ensayos en dos escenarios: en el primero, el ciclista se interpone en la ruta del vehículo, y en el segundo, el ciclista pedalea en la misma dirección que el vehículo. Ambos escenarios reproducen situaciones típicas en las que podrían producirse accidentes mortales. Para simular al ciclista se coloca una bicicleta en una plataforma móvil y sobre ella se monta un *dummy* articulado, diseñado específicamente para imitar el pedaleo de los seres humanos. Detectar

a los ciclistas es más complicado que detectar peatones ya que al desplazarse con mayor velocidad, se cuenta con menor tiempo para percibirlos y tomar la decisión de frenar.

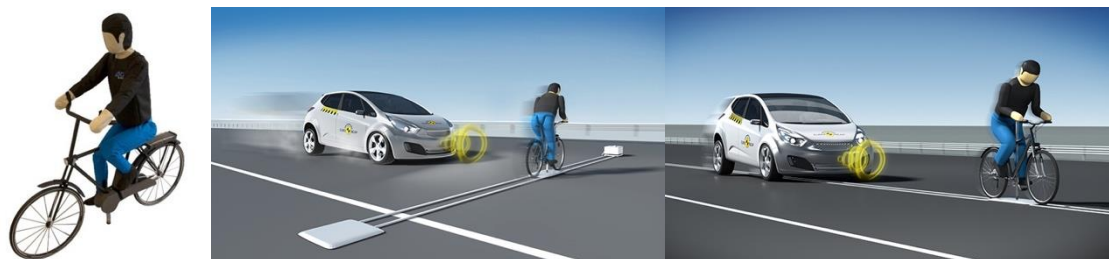


Figura 101. Evaluación Euro NCAP de AEB para ciclistas: dummy empleado (95) y escenarios (97).

Euro NCAP otorga la máxima puntuación a aquellos vehículos que evitan por completo una colisión. En aquellos casos en los que el sistema AEB no pueda detener el vehículo por completo, pero sí reduce su velocidad, recibirá algunos puntos, porque cualquier reducción en la velocidad de impacto, será de gran importancia para minimizar la gravedad de las heridas.

4.2.3 Asistentes de velocidad

Por un lado, para evaluar la función de información del límite de velocidad (SLIF), se circula con el vehículo, en manual y con control de crucero, alrededor de 100km en vías públicas, ciudad, carreteras secundarias y autovías. La actuación del sistema se graba y se verifica su concordancia con respecto a los límites marcados, para identificar discrepancias importantes.

La función de advertencia se evalúa conduciendo por tramos con al menos 3 límites diferentes de velocidad, sobrepasando la velocidad límite en 10km/h y manteniendo esta velocidad el tiempo suficiente para evaluar la secuencia completa de la alarma.



Figura 102. SLIF (30).

Por otro lado, para evaluar la función de control de la velocidad (SLF), el limitador propiamente dicho, se realizan tests a 3 velocidades típicas para cada tipo de vía:

- Vías urbanas, a 50km/h
- Carreteras interurbanas, a 80km/h
- Autovías, a 120 km/h

En una de las pruebas, una vez ajustada la velocidad del limitador se circulará con el vehículo 15km/h por debajo de ésta; entonces se acelerará el vehículo hasta que se active el sistema.

En otra, se ajusta la velocidad del limitador a 120km/h y se acelera hasta alcanzar hasta activar el sistema; en ese momento se baja lo suficiente la velocidad ajustada en el limitador para disparar la alerta. Se registra cuánto tiempo le lleva al sistema iniciar la alerta.

En la última prueba se ajusta la velocidad del limitador dentro de los márgenes de la vía de prueba y obligar al vehículo a sobrepasar esa velocidad, acelerando o bajando una cuesta, de forma que el freno motor no sea capaz de mantener la velocidad. Registrar la velocidad a la que la alerta se inicia. (95)

4.2.4 Control de crucero inteligente (iACC)

El control de crucero puede funcionar de forma independiente o con otros sistemas de ayuda a la conducción. Por su similitud con el AEB, el ACC se evalúa en una versión extendida de la prueba que ya se realiza para el frenado de emergencia. Estos sistemas están preparados para adaptar su velocidad a la del vehículo al que se aproximan, o que está frenando, suelen funcionar bastante bien excepto cuando se aproximan a un vehículo parado, los algoritmos de estos sistemas tienen problemas para identificar un elemento parado.

Los escenarios más peligrosos y exigentes de estos escenarios son los llamados 'cut-in' y 'cut-out', en los que un vehículo se interpone, o deja de interponerse, de forma repentina, en la trayectoria del vehículo en evaluación. Con esta maniobra, el vehículo que la realiza, puede representar un peligro, o dejar un peligro a la vista, con muy poco margen de reacción.



Figura 103. AEB escenarios cut-in y cut-out (29)

Los sistemas de asistencia a la velocidad están actualmente incluidos en las pruebas de evaluación de Euro NCAP, pero no se ha llegado a realizar nada con iACC, porque son muy pocos los vehículos probados que equipaban este sistema.

Además de los tests que se realizan para las funciones principales, Euro NCAP está verificando la información proporcionada por los OEMs en los medios de comunicación, publicidad y en los manuales de usuario, para comprobar que no se están realizando exagerando o falsificando las características, y que proporcionan de manera suficientemente clara las limitaciones de los sistemas.

Euro NCAP reconoce los beneficios de este tipo de sistemas de asistencia a la conducción y promueve la instalación de tecnologías que ayuden al conductor a mantener la velocidad (29).

En IIHS los ingenieros si que están realizando series de pruebas en pistas para ver como los ACC se enfrentan a vehículos detenidos, a vehículos que cambian de carril (cut-in y cut-out) y evaluar como aceleran y deceleran. (31)

En uno de los escenarios se aproximan al GVT a 50km/h, con varias configuraciones: con el ACC desconectado y el AEB conectado con el ACC encendido y configurado cerca, a media distancia y lejos. Con ACC encendido algunos vehículos han impactado contra el GVT. Se debe resaltar que los manuales de usuarios advierten que esto puede suceder.

En otro escenario se sigue a un vehículo que se detiene hasta parar y acelera. Los vehículos probados en este ensayo deceleran suavemente.

En el siguiente escenario, se sigue a un vehículo que de repente abandona el carril para dejar ver un GVT parado, cuando el tiempo para colisión ronda los 4,3 segundos.

Los resultados obtenidos en pistas con el entorno bajo control son con seguridad mucho mejores que los resultados que se podrían obtener en una situación de conducción real y más completa. Con los resultados que han obtenido aseguran que el ACC no está listo para funcionar correctamente en todas las situaciones.

4.2.5 Asistente mantenimiento carril

Euro NCAP premia los sistemas de asistencia y emergencia de mantenimiento de carril, en unas pruebas estandarizadas llevadas a cabo en un circuito de prueba. Estos sistemas se enfrentan a diferentes tipos de marcas viales, incluyendo líneas continuas y discontinuas, además de situaciones en las que el borde la calzada no está marcado por ninguna línea. Se evalúa el funcionamiento en función de la proximidad del vehículo a las líneas que marcan el borde del carril o de la calzada. Se otorgan puntos extra para vehículos que equipan sistemas de advertencias de abandono de carril y sistema de detección de ángulo muerto. (98)



Figura 104. LKA (29).

Al otro lado del Atlántico, los ingenieros del IIHS se han centrado en dos situaciones que suponen un reto para estos sistemas, las curvas y cambios de rasante. Han realizado test en carreteras públicas con y sin tráfico alrededor.

Para evaluar el sistema de mantenimiento de carril activo, recorren 3 secciones diferentes de una carretera, y realizan 6 ensayos en cada tramo. Los radios de las curvas variaban entre 1300 a 2000 pies.

En carreteras plagadas de colinas, los sistemas de mantenimiento de carril basados en cámaras se veían sobrepasados, porque al alcanzar la cima las marcas viales desaparecían de su campo de visión.

Otro hecho que detectaron los ingenieros es que algunos vehículos, cuando hay tráfico es lento, son incapaces de leer las marcas viales que delimitan el carril y comienzan a usar al vehículo delantero como guía, por ello son propensos a seguirle cuando este entra en el carril de salida, incluso cuando el conductor trata de permanecer en el carril (31).

4.2.6 Test de ayuda a la dirección

En Euro NCAP se ha creado una batería de pruebas para evaluar el sistema de centrado en el carril, que asiste al conductor continuamente para mantener el vehículo centrado. La cantidad de soporte en la dirección depende de la velocidad a la que se circule. Un buen sistema continuará asistiendo al conductor durante una maniobra sin resistirse ni desconectarse. En otra prueba miden el esfuerzo que hay que realizar en el volante para esquivar un pequeño obstáculo en la vía (15).

4.2.7 Alerta tráfico trasero cruzado

En IIHS han desarrollado un protocolo para evaluar la capacidad del sistema de tráfico cruzado para detener un vehículo que circula marcha atrás, con diferentes ángulos, en dirección a un poste, u otro vehículo, un despiste muy habitual. Las pruebas se basan en el protocolo desarrollador por RCAR (35):

- REVERSING CAR-TO-CAR, 16" OVERLAP: Marcha atrás contra otro vehículo con 16 pulgadas de solapamiento. Esta prueba simula la salida de un aparcamiento en batería marcha atrás, en dirección a un vehículo parado. Incluye tres variantes: dando marcha atrás recto y girando hacia ambos lados.

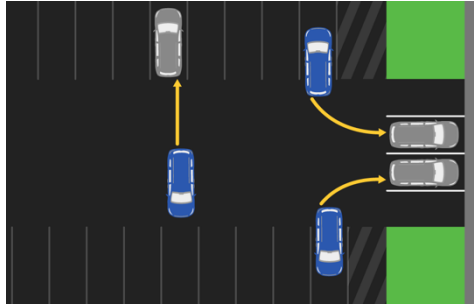


Figura 105. Pruebas para evaluación de RCTA: contra vehículo 16" solapamiento (35)

- REVERSING CAR-TO-CAR, 45° ANGLE: Marcha atrás contra otro vehículo con una posición final a 45° chocando la esquina del paragolpes del vehículo contra el centro del paragolpes del vehículo diana. Esta prueba simula la salida de un aparcamiento en batería marcha atrás, en dirección a un vehículo parado. Incluye tres variantes: dando marcha atrás recto y girando hacia ambos lados.

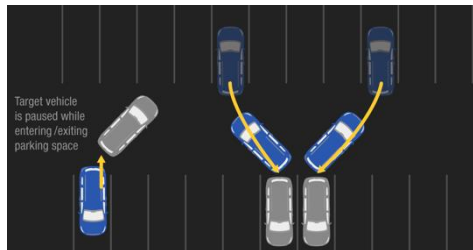


Figura 106. Pruebas para evaluación de RCTA: contra vehículo 45° (35)

- REVERSING CAR-TO-CAR, 10° ANGLE: Marcha atrás contra el lateral de otro vehículo parado adyacente con un ángulo de 10°.

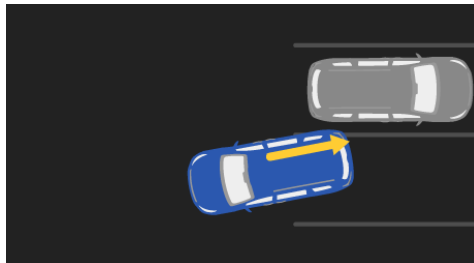


Figura 107. Pruebas para evaluación de RCTA: contra vehículo 10° (35)

- REVERSING TOWARD FIXED POLE: Marcha atrás contra poste fijo. Simula dar marcha atrás contra un poste o una columna de un garaje. El vehículo circula marcha atrás directo contra un bolardo que está alineado con el punto medio entre el medio y la esquina del paragolpes.

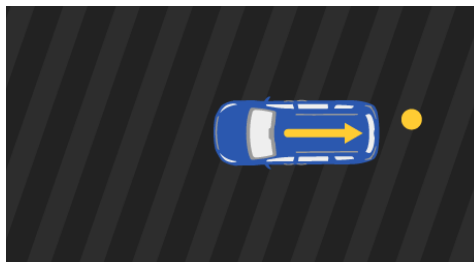


Figura 108. Pruebas para evaluación de RCTA: contra poste fijo (35)

4.2.8 Iluminación

En el IIHS los ingenieros han desarrollado un sistema de clasificación de la iluminación que no favorece a ningún tipo de tecnología, sino que premia aquellos sistemas que proporcionan una amplia iluminación sin deslumbrar al resto de conductores. Los vehículos son evaluados de noche en la pista que tienen en su centro de investigación de vehículos.

Se mide con los vehículos en movimiento porque el balanceo que sufren varía la dirección del haz de luz que proyectan sus faros. Las medidas se toman a 10 pulgadas (25cm) del suelo para visibilidad, y a 3 pies y 7 pulgadas (1,1m) para deslumbramiento, con un dispositivo especial que ellos mismos han armado, un “árbol de sensores”. Se mide la luminancia de luces cortas y largas mientras el vehículo circula en 5 escenarios diferentes: en tramo recto, en curva cerrada a izquierdas (500 pies de radio, 152,4m), en curva cerrada a derechas, en curva gradual a izquierdas (800 pies de radio, 243,85m) y en curva gradual a derechas.

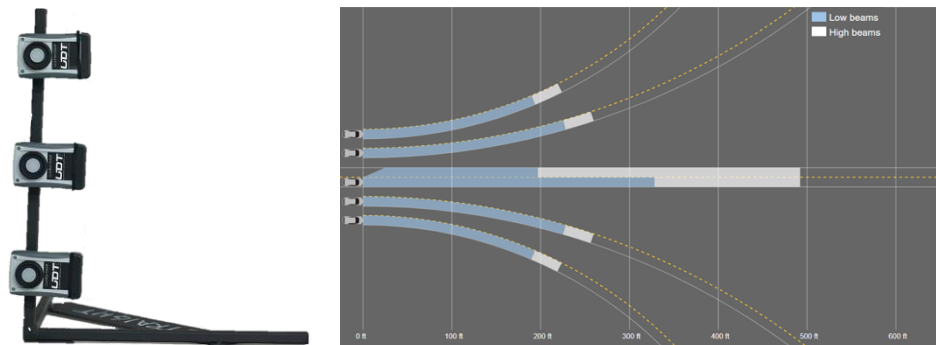


Figura 109. Árbol de sensores de luminancia | Gráfico de los escenarios y los rangos de luces (28)

Para evaluar la visibilidad, los ingenieros miden a que distancia se proyecta la luz con un límite mínimo de 5 luxes. Y a su vez miden que el deslumbramiento que producen las luces cortas al resto de conductores, que se aproximan o circulan por delante, no sea excesivo. En cada pasada miden la iluminación en el margen derecho, en curvas también en el margen izquierdo del carril y en rectas el margen izquierdo de una calzada de doble carril. En las imágenes a continuación se muestra como varía la iluminación en función de la clasificación; el peatón está situado a 50 pies (15,25m) del vehículo, mientras que los ciervos se encuentran a 200 pies (61m). (49,99,100)



Figura 110. Evaluación de iluminación en IIHS: pobre vs aceptable (28)

5 CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones.

Tras realizar una completa revisión sobre la evolución de la seguridad “clásica” en automoción desde sus primeros pasos hasta llegar a las tecnologías con que contamos a día de hoy; analizar la evolución y el estado del arte de los Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción, ADAS, y su futura trayectoria hacia la conducción autónoma, desde el punto de vista de los diferentes actores que intervienen, fabricantes, proveedores e instituciones en seguridad, atendiendo a las acciones que están llevando a cabo para impulsar los avances tecnológicos en materia de conducción autónoma; se han extraído las siguientes conclusiones:

La movilidad autónoma presenta una oportunidad para abordar algunos retos importantes del transporte por carretera, que pueden beneficiar tanto al transporte de pasajeros como al de mercancías: seguridad, eficiencia energética, fiabilidad de los horarios, accesibilidad urbana. Estas son las necesidades clave identificadas en la Agenda Estratégica de Investigación de ERTRAC (Consejo Consultivo Europeo de Investigación del Transporte por Carretera). Además, se pueden añadir otras mejoras como ofrecer soluciones de movilidad para usuarios con discapacidades, para el transporte compartido o público. Estas mejoras involucran diferentes áreas del sistema de transporte, los vehículos, las infraestructuras... por lo que la solución necesita un enfoque integrado.

5.1.1 La seguridad, primera razón para automatizar los vehículos

En lo que ha seguridad se refiere, las tecnologías que conforman la protección pasiva están llegando al límite de su madurez, es decir, se está empezando a tener grandes limitaciones para encontrar nuevas evoluciones que mejoren el comportamiento de la carrocería durante los accidentes. La única forma de mejorar la seguridad es entonces, evitar que ocurran los accidentes, que es donde entra en juego la seguridad activa, pero a pesar de los avances siguen ocurriendo siniestros.

En más del 90% por ciento de los accidentes el detonante es un error humano, lo que nos lleva al enfoque más moderno a la seguridad, la seguridad integral: que abarca desde los sistemas que supervisan, advierten y/o corrigen ciertos aspectos de la conducción humana, hasta la llamada de emergencia eCall. Estos avances han logrado que las tasas de accidentes y víctimas se reduzca, lo que ha demostrado el gran beneficio que suponen muchos ADAS, pero están lejos de lograr que se alcance el objetivo “cero accidentes”, porque quien sigue a los mandos del vehículo es el ser humano. Para lograr alcanzar la meta, hay que evitar el detonante de los accidentes, el ser humano, por lo que es necesario retirar a las personas de la tarea de conducción.

5.1.2 Estado del arte de la movilidad autónoma

Aunque ya existen vehículos con funciones autónomas, y su fiabilidad y su ámbito de desempeño cada día son más amplios, la experiencia real vivida con ellos (todavía bajo la supervisión de un ser humano), ha demostrado que todavía no son fiables en la totalidad de situaciones que se pueden dar en la carretera. Los accidentes en los que se han visto involucrados vehículos con este equipamiento nos han permitido corroborar sus límites. Por ejemplo, los de la marca estadounidense Tesla, que en el momento del accidente llevaban activo el “autopilot”, o vehículos en pruebas, como el Volvo, en el que la compañía de servicios de transporte Uber estaba probando diferentes sensores y configuraciones, que se llevó por delante a una ciclista. En este último caso, la supervisión humana falló como consecuencia de una distracción, además, los sistemas de seguridad avanzados que equipaba el vehículo estaban desactivados a propósito para evitar que interfiriesen en el estudio.

5.1.3 Fecha en que llegará la movilidad autónoma

Las expectativas con respecto a la llegada del vehículo autónomo han ido cambiando con el tiempo, pero también variaban en función de la opinión de cada experto. En algunas de las primeras previsiones ya se esperaba que a día de hoy contásemos con vehículos totalmente autónomos, pero la verdad es muy

diferente. Todavía quedan grandes escollos por superar, en lo que a regulaciones y limitaciones técnicas se refiere, pero el esfuerzo que están realizando los OEMs, los fabricantes de primer equipo y los estudios que están llevando a cabo para impulsarlo, muchos de ellos financiados por instituciones como la UE, demuestra el interés real y allanan el camino para su consecución. Todo apunta a que, como muy temprano, los vehículos con movilidad totalmente autónoma, SAE 5, verán la luz más allá de 2030.

5.1.4 Beneficios a consecuencia de la movilidad autónoma

No hay pocas razones para alcanzar la movilidad autónoma:

Por muy superficial que pueda parecer, traerá beneficios económicos, porque al evitar que se produzcan accidentes, se evitarán daños a las vías, lo que reducirá los gastos en mantenimiento de las infraestructuras; también se reducen los gastos generados por los servicios de emergencias, desplazamientos de los cuerpos de seguridad, de los bomberos, la asistencia médica. Los gastos sanitarios más allá de la atención en la localización del siniestro, como heridas leves, o más graves que requieran hospitalización, o incluso los gastos derivados del tratamiento de lesiones que se arrastran de por vida.

El coste en vidas humanas también se verá reducido, ya no es sólo la pérdida de un allegado o un ser querido y el batacazo emocional que supone; sino que es la pérdida de un activo en el mundo laboral, la riqueza que podría haber generado durante los años que habría podido estar en activo.

Con el transporte por carretera altamente automatizado cambiarán las pautas de movilidad: los conductores podrán gestionar mejor sus tiempos de desplazamiento, porque el tráfico será más fluido y eficiente, evitando retrasos, algunos estudios sugieren un 12% en la mejora de la puntualidad, y mejorando la exactitud del tiempo invertido en los desplazamientos, hasta un 21%, incluso en hora punta (25,101).

En lo referido a la energía, se optimizarán su gestión y las características de rodaje del vehículo permitiendo una conducción más eficiente; potencialmente, las emisiones de CO₂ se pueden reducir hasta en un 20%, gracias a la comunicación entre vehículos y la comunicación entre ellos (V2V) y la infraestructura (V2X).

5.2 Principales aportaciones del autor del TFM

La conducción autónoma es un tema candente, pero dada la fase de desarrollo en la que se encuentran inmersos gran parte de los sistemas, y la competitividad y el comprensible secretismo del sector, resulta difícil conocer el estado y las capacidades reales de los sistemas de ayuda a la conducción, para tener unas expectativas reales con respecto a su rendimiento.

Lo que se pretende, en el presente trabajo fin de máster, es recopilar información de fuentes fidedignas y analizar la evolución de la seguridad del automóvil para arrojar luz sobre la fase de desarrollo en la que se encuentra la tecnología: qué hay de verdad y qué hay de divagación. Centrando la atención en los sistemas avanzados de ayuda a la conducción, que son la antesala de los vehículos autónomos, y en los primeros sistemas con autonomía en condiciones muy delimitadas, para clarificar qué es lo que pueden hacer los coches que están disponibles en el mercado, y que tecnologías están en fase de desarrollo (actualmente en niveles SAE 2 a 3), en qué están invirtiendo los actores implicados, cómo se cree que evolucionarán y cómo se ponen y pondrán a prueba.

5.3 Sugerencias para trabajos futuros

La movilidad autónoma abre una gran cantidad de campos que serán de gran relevancia para la consecución de los vehículos autónomos. Algunos de ellos se han mencionado en este trabajo fin de máster, pero muchos no se han podido incluir y merecen tanta atención como implicación tienen en la autonomía. Entre ellos los siguientes:

La **comunicación V2V y V2X**, entre vehículos y la infraestructura y las actualizaciones de *software*: ¿qué **requisitos** se les exigirá, qué **información** compartirán, qué **medios** se van a imponer para asegurarlos ante el **hackeo** y garantizar la **seguridad** de todos los usuarios?

Algunos de los grandes obstáculos con que se encontrarán los vehículos autónomos, están relacionados con el **marco legal y regulatorio** por el que se regirán estos vehículos; **responsabilidades** y compromisos de los OEMs, los TIER1, los dueños y los usuarios, o qué papel jugarán las **aseguradoras**.

A medida que avancen los niveles SAE de los automóviles autónomos, ¿qué **atención y participación** se requerirá del **conductor**?, ¿será cada vez más **ajeno** a la tarea de conducción, o se le pedirá estar **involucrado**?

Como se ha expuesto en el trabajo, se pretende llegar a una situación de equilibrio entre los **ensayos físicos**, realizados con *dummies*, y los ensayos **virtuales**, pero será importante marcar un **estándar** (estandarizar) para que los procedimientos de validación y los requisitos de los ensayos sean **eficaces** a la hora de demostrar la **fiabilidad, seguridad y robustez** de la tecnología, y **comunes** a lo largo de todo el planeta, y así facilitar la **verificación** de los sistemas y **compartir** los resultados.

El **éxito** de la movilidad autónoma no sólo dependerá de los hitos que la tecnología alcance y la fiabilidad que demuestre, sino también de la **aceptación social** que logre por parte de la sociedad y los usuarios. Existen estudios en los que se ha puesto a prueba la **confianza** y la **percepción** que los transeúntes o los pasajeros depositaban en estas tecnologías.

El peso de la **ética** en la programación de las tecnologías será un factor determinante: en caso de que un accidente sea inevitable, ¿cuál es **el menor de los males**?; existen estadísticas que demuestran que los sistemas de reconocimiento basados en cámaras tienen dificultades para reconocer personas negras, ¿cómo programar para evitar este tipo de **discriminación**?, ¿qué otros **aspectos demográficos** pueden favorecer o perjudicar a ciertos colectivos?

Por supuesto, se puede ahondar más en los **aspectos técnicos**: de los **sensores**, en la detección y percepción del entorno; de los **controladores**, los algoritmos, el peso que tiene en la combinación los datos recogidos por los sensores; y de los **actuadores**.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Steam Carriage, 1834 [Internet]. The Glasgow Story. 2004 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.theglasgowstory.com/>
2. Terry S. First fatal automobile accident, 1834 [Internet]. SCIENCE PHOTO LIBRARY. [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.sciencephoto.com/>
3. John Scott Russell: Steam Carriage [Internet]. Grace's Guide to British Industrial History. 2016 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.gracesguide.co.uk/>
4. Lagunas Claret T. 1896, primera multa de tráfico y primer fallecimiento por accidente [Internet]. RACC Blog. [cited 2019 May 1]. Available from: <http://blog.racc.es/>
5. Flores Corzo V. Henry Lindfield, primer conductor que fallece tras un siniestro vial. Circula Seguro. 2012.
6. British Library; Findmypast. The British Newspaper Archive [Internet]. The British Newspaper Archive. 2019. Available from: <https://www.britishnewspaperarchive.co.uk/>
7. Avila. Tremendo accidente automovilista. ABC [Internet]. 1930 Dec 11;8. Available from: <http://hemeroteca.abc.es/>
8. Pajares JL. Avilas.es. Flickr.
9. Efe, Europa Press. Nueve muertos y 5 heridos graves al salirse de la vía un autobús en Ávila. El Mundo [Internet]. 2013 Jul 8; Available from: <https://www.elmundo.es/>
10. DGT. Accidentes con víctimas mortales 24 horas en vías interurbanas. [Internet]. 2019. Available from: <http://www.dgt.es/>
11. World Health Organization. Global status report on road safety 2018. 2018. 424 p.
12. DGT. Anuarios Estadísticos Generales (1960 - 2017) [Internet]. Dirección General de Tráfico; Available from: <http://www.dgt.es/>
13. Daimler AG. Béla Barényi: 100th anniversary of the pioneer of passive safety [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2007 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://media.daimler.com/>
14. Daimler AG. Galería virtual [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2019 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://media.daimler.com/>
15. Daimler AG. Béla Barényi, the lifesaver [Internet]. Mercedes Benz website. 2019. Available from: <https://www.mercedes-benz.com/>
16. Daimler AG. Passive safety with a future [Internet]. Mercedes Benz website. 2019 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.mercedes-benz.com/>
17. Béla Barényi [Internet]. Automotive Hall of Fame. 2019 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.automotivehalloffame.org/>
18. Wayne State University. Larry Patrick, pioneer auto safety researcher, 85 [Internet]. Today@Wayne. 2006 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://today.wayne.edu>
19. Boyles S. Impact! A Horizon Guide to Car Crashes [Internet]. United Kingdom: British Broadcasting Corporation (BBC); 2013. Available from: <https://www.bbc.co.uk/programmes/b03f438q>
20. Roach M. I was a human crash-test dummy. Salon [Internet]. 1999; Available from: <https://www.salon.com/>
21. Volvo Car Group. Photo Archive [Internet]. Global Newsroom. [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.media.volvocars.com/>
22. Daimler AG. The road to passive safety (since 1951) [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2007

- [cited 2019 Jun 12]. Available from: <https://media.daimler.com/>
23. Nucleus Medical Media. Nucleus Medical Media Catalog [Internet]. [cited 2019 Apr 18]. Available from: <https://www.nucleusmedicalmedia.com/>
 24. NHTSA. Automated Vehicles for Safety [Internet]. NHTSA Webpage. 2019 [cited 2019 May 23]. Available from: <https://www.nhtsa.gov>
 25. European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC). Automated Driving Roadmap. 2015;
 26. Scharring K, Nash S, Wong D. Research on the Impacts of Connected and Autonomous Vehicles (CAVs) on Traffic Flow Summary Report Department for Transport. 2016.
 27. Smith BW. SAE LEVELS OF DRIVING AUTOMATION [Internet]. The Center for Internet and Society. [cited 2019 Jun 15]. Available from: <http://cyberlaw.stanford.edu>
 28. SAE. SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles [Internet]. SAE International Webpage. 2018 [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://www.sae.org/news/press-room/>
 29. Euro NCAP. 2018 Automated Driving Tests [Internet]. Safety Campaigns. 2018 [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 30. Euro NCAP. Sistema de control de velocidad [Internet]. Euro NCAP webpage. 2009 [cited 2019 Apr 14]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 31. IIHS, HLDI. Status Report No. 4. Vol. 53. 2018.
 32. Volkswagen AG. Volkswagen Newsroom [Internet]. Volkswagen Newsroom webpage. [cited 2019 May 18]. Available from: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en>
 33. Bosch Group. Bosch Mobility Solutions. Bosch Mobility Solutions website. 2019.
 34. IIHS, HLDI. Status Report, No. 6. Vol. 52. 2017.
 35. IIHS, HLDI. Status Report No. 1. Vol. 53. 2018.
 36. Ford Motor Company. Alerta de tráfico cruzado [Internet]. Ford webpage. 2019 [cited 2019 Apr 23]. Available from: <https://www.ford.es/>
 37. Daimler AG. ABS: Full steerability in emergency braking maneuvers [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2005 [cited 2019 May 28]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 38. Daimler AG. Mercedes-Benz S-Class – a pace setter and a fine example of vehicle safety [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2013 [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 39. Daimler AG. 40 Years of Assistance Systems: From anti-lock braking system to Mercedes-Benz Intelligent Drive [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2018 [cited 2019 May 28]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 40. Daimler AG. March 1994: Mercedes-Benz presents ESP® to the world [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2009 [cited 2019 May 29]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 41. Euro NCAP. Glossary [Internet]. Vehicle Safety. [cited 2019 May 1]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 42. Volkswagen AG. City Emergency Braking [Internet]. Volkswagen Newsroom. Available from: <https://www.volkswagen-newsroom.com/>
 43. Euro NCAP. AEB City [Internet]. Euro NCAP webpage. 2014 [cited 2019 Apr 26]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 44. Euro NCAP. AEB interurbano [Internet]. Euro NCAP webpage. 2014 [cited 2019 Apr 26]. Available

- from: <https://www.euroncap.com/>
45. Opel. Opel pressroom [Internet]. Opel pressroom. 2019 [cited 2019 Jun 4]. Available from: <https://int-media.opel.com/>
 46. IIHS. IIHS examines driver assistance features in road, track tests [Internet]. IIHS web page. 2018 [cited 2019 Mar 17]. Available from: <https://www.iihs.org/>
 47. IIHS. Lane departure warning, blind spot detection help drivers avoid trouble. IIHS web page. 2017.
 48. Euro NCAP. Blind Spot Monitoring [Internet]. Euro NCAP webpage. 2010 [cited 2019 Apr 11]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 49. IIHS, HLDI. Status Report No. 8. Vol. 53. 2018.
 50. Tesla. Autopilot [Internet]. Tesla Press Information. [cited 2019 Apr 4]. Available from: <https://www.tesla.com/>
 51. Tesla. Model 3. Owner's Manual. In 2019. p. 191.
 52. Waymo: Transforming mobility with self-driving cars [Internet]. The Moonshoot Factory. 2016 [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://x.company>
 53. Waymo Team. From post-it note to prototype: The journey of our Firefly [Internet]. Medium. 2017. Available from: <https://medium.com/waymo/>
 54. Waymo Team. A first look at our Waymo fully self-driving Chrysler Pacifica Hybrid minivans [Internet]. Medium. 2016 [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://medium.com/waymo/>
 55. Waymo Team. Android users: Download the Waymo app and sign up to ride [Internet]. Medium. 2019 [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://medium.com/waymo>
 56. JAGUAR LAND ROVER. Waymo and Jaguar Land Rover announce long-term partnership, beginning with self-driving Jaguar I-Pace. Jaguar Land Rover News Webpage. 2018.
 57. Waymo Team. Meet our newest self-driving vehicle: the all-electric Jaguar I-PACE [Internet]. Medium. 2018 [cited 2019 Mar 16]. Available from: <https://medium.com/waymo>
 58. Waymo. Laser Bear Honeycomb [Internet]. Waymo Webpage. 2019. Available from: <https://waymo.com/lidar/>
 59. Waymo Team. Bringing 3D perimeter lidar to partners [Internet]. Medium. 2019 [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://medium.com/waymo>
 60. Waymo Team. Recreating the self-driving experience: the making of the Waymo 360° video [Internet]. Medium. 2018. Available from: <https://medium.com/waymo/>
 61. Daimler AG. A pioneer goes into retirement [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2016 [cited 2019 May 26]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 62. Daimler AG. The Mercedes-Benz F 015 Luxury in Motion: Forerunner of a mobility revolution [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2015 [cited 2019 May 25]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 63. Daimler AG. Mercedes-Benz at the Global Public Transport Summit in Montreal: Solutions to the urban traffic problems of today and tomorrow: Mercedes-Benz at the GPTS in Montreal/Canada [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2015 [cited 2019 May 25]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 64. Daimler AG. New moovel lab project – “Who Wants to Be a Self-Driving Car” [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2017 [cited 2019 May 25]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 65. Daimler AG. Daimler AG and BMW Group to jointly develop next-generation technologies for

- automated driving [Internet]. DAIMLER Global Media Site. 2019 [cited 2019 May 26]. Available from: <https://media.daimler.com/>
66. Daimler AG. Level up: Why we cooperate with BMW on automated driving [Internet]. The Daimler-Blog. 2019 [cited 2019 May 26]. Available from: <https://media.daimler.com/>
 67. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault and Nissan join forces to achieve profitable growth for both companies. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web [Internet]. 1999 [cited 2019 Apr 24]; Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 68. Nissan News. Nissan strengthens alliance with acquisition of 34% stake in Mitsubishi Motors [Internet]. Nissan News Official Europe Newsroom. 2016 [cited 2019 Apr 21]. Available from: <https://europe.nissannews.com/>
 69. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Alliance Renault Nissan Mitsubishi [Internet]. The Alliance Webpage. [cited 2019 Apr 23]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 70. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault-Nissan Alliance opens new Silicon Valley Research Center to enhance advanced research and development [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2013 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 71. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault-Nissan to launch more than 10 vehicles with autonomous drive technology over the next four years [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2016 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 72. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Ghosn outlines vision for autonomous drive technology, welcomes competition in EVs [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2015 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 73. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault-Nissan acquires French software-development company [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2016 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 74. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault-Nissan and Microsoft partner to deliver the future of connected driving [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2016 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 75. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault-Nissan Alliance and Transdev to jointly develop driverless vehicle fleet system for future public and on-demand transportation [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2017 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 76. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Alliance 2022: New plan targets annual synergies of €10 billion and forecasts unit sales of 14 million & combined revenues of \$240 billion [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2017 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 77. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Alliance Ventures invests in Transit to advance multi-modal transportation and mobility-as-a-service strategy [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2018 [cited 2019 Apr 24]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 78. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Alliance Ventures invests in Tekion the next-gen digital cloud platform for automotive retail. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web [Internet]. 2019 Jan 16; Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 79. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Renault and Nissan open the new Alliance innovation lab Tel Aviv [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web. 2019 [cited 2019 Jun 20]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
 80. Alliance Renault Nissan Mitsubishi. Grupe Renault and Nissan sign exclusive alliance deal with Waymo to explore driverless mobility services [Internet]. Alliance Renault Nissan Mitsubishi Web.

- 2019 [cited 2019 Jun 20]. Available from: <https://www.alliance-2022.com/>
81. Grupe Renault. Symbioz Demo Car Press Kit EN [Internet]. Groupe Renault International Media Website. 2017 [cited 2019 Apr 23]. Available from: <https://releasd.com/p/847d>
 82. Grupe Renault. Renault works with SCOOP to prepare infrastructure for tomorrow's autonomous, connected cars [Internet]. Groupe Renault International Media Website. 2017 [cited 2019 Apr 23]. Available from: <https://media.group.renault.com/>
 83. ZF Friedrichshafen AG. ZF Press Center [Internet]. ZF Press Center. 2019 [cited 2019 Apr 9]. Available from: <https://press.zf.com/>
 84. Faurecia. Faurecia website [Internet]. Faurecia website. [cited 2019 Apr 9]. Available from: <https://www.faurecia.com/>
 85. ZF Friedrichshafen AG. ZF and Faurecia's Trendsetting Cockpit Interactive Display Demonstrates Safety-Focused Interior Design Alternatives Without Steering Wheel and Pedals [Internet]. ZF Press Center. [cited 2019 Jun 9]. Available from: <https://press.zf.com/>
 86. Continental AG. Advanced Driver Assistance Systems [Internet]. Continental Automotive webpage. 2019 [cited 2019 May 29]. Available from: <https://www.continental-automotive.com/>
 87. IIHS, HLDI. Status Report, No. 8. Vol. 51. 2016.
 88. Niveles de madurez tecnológica – Technology Readiness Levels (TRLs) [Internet]. Oficina Europea de I+D. Madrid; 2016 [cited 2019 Jun 23]. Available from: <https://oficinaeuropea.ucm.es/>
 89. KPMG, SMMT. Connected and Autonomous Vehicles – The UK Economic Opportunity. 2015.
 90. European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC). Connected Automated Driving Roadmap. 2019;1–56. Available from: <https://connectedautomateddriving.eu/about-cad/>
 91. OSCCAR PROYECT Future Occupant Safety for Crashes in Cars [Internet]. Oscar Project Webpage. 2018 [cited 2019 Jun 25]. Available from: www.osccarproject.eu
 92. Project VIRTUAL [Internet]. VIRTUAL webpage. 2019 [cited 2019 Jun 25]. Available from: <https://projectvirtual.eu/>
 93. Euro NCAP. Euro NCAP Valoraciones y premios [Internet]. Euro NCAP webpage. 2019 [cited 2019 Jun 5]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 94. DRI Advanced Test Systems. Soft car 360° [Internet]. DRI Advanced Test Systems Webpage. [cited 2019 May 2]. Available from: <http://www.dri-ats.com/>
 95. Euro NCAP. PROTOCOLS [Internet]. [cited 2019 Jun 15]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 96. Euro NCAP. AEB para peatones [Internet]. Euro NCAP webpage. 2016 [cited 2019 Apr 26]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 97. Euro NCAP. AEB para ciclistas [Internet]. Euro NCAP webpage. 2018 [cited 2019 Apr 26]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 98. Euro NCAP. Sistemas de asistencia de cambio de carril [Internet]. [cited 2019 Apr 23]. Available from: <https://www.euroncap.com/>
 99. IIHS, HLDI. Status Report No 3. Vol. 51. 2016.
 100. IIHS. Vehicle ratings > About our tests [Internet]. IIHS web page. 2019 [cited 2019 Jun 1]. Available from: <https://www.iihs.org/>
 101. Gruyer D, Choi S, Boussard C, D'Andrea-Novel B. From virtual to reality, how to prototype, test and evaluate new ADAS: Application to automatic car parking. In: IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings. 2014.

ANEXOS

1.1 Hojas de ruta

En este apartado se encuentran recogidos los gráficos originales de las hojas de ruta que se han tenido en cuenta para los roadmaps.

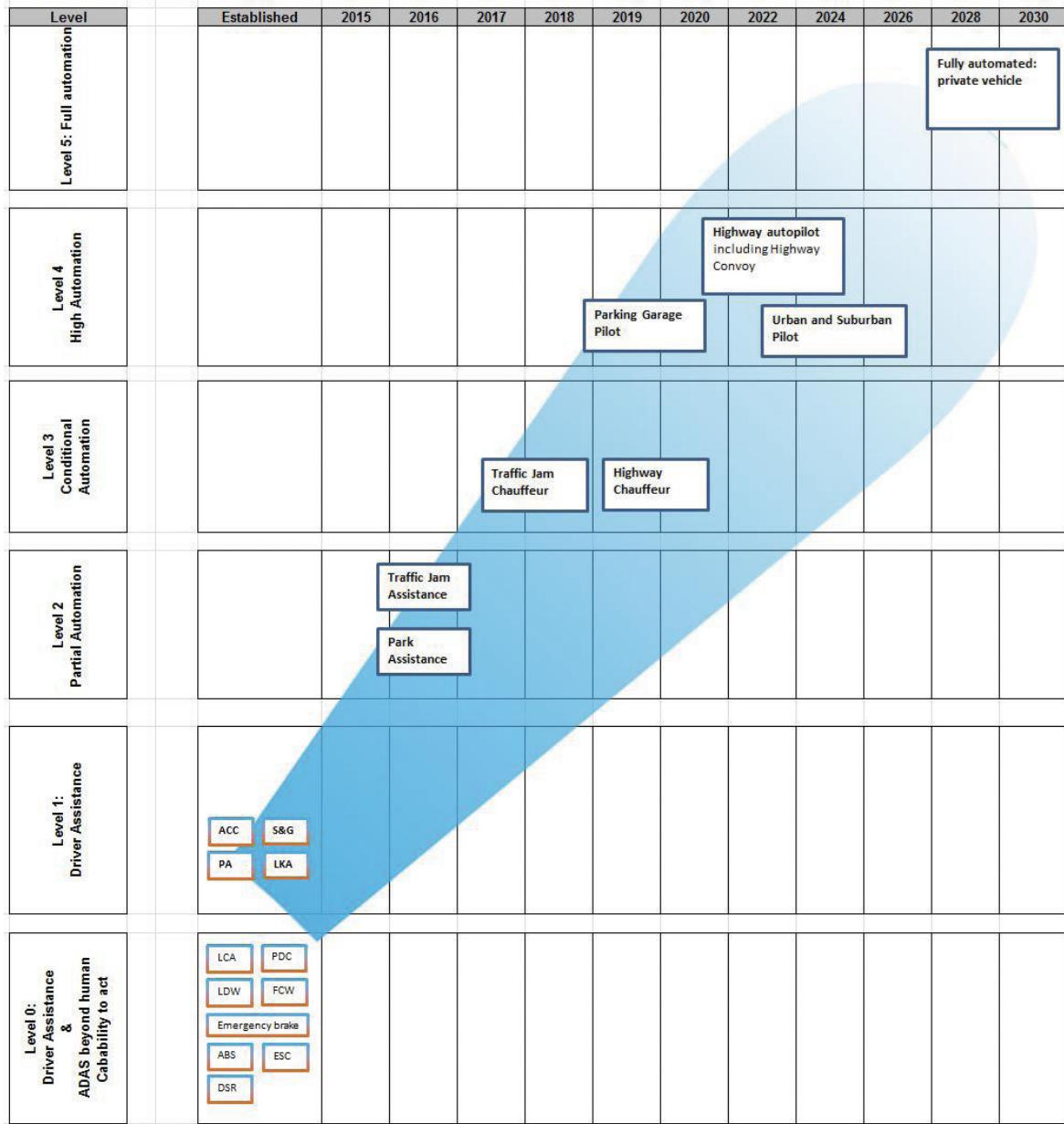


Figura 111. Previsión para vehículos particulares de el ERTRAC en 2015

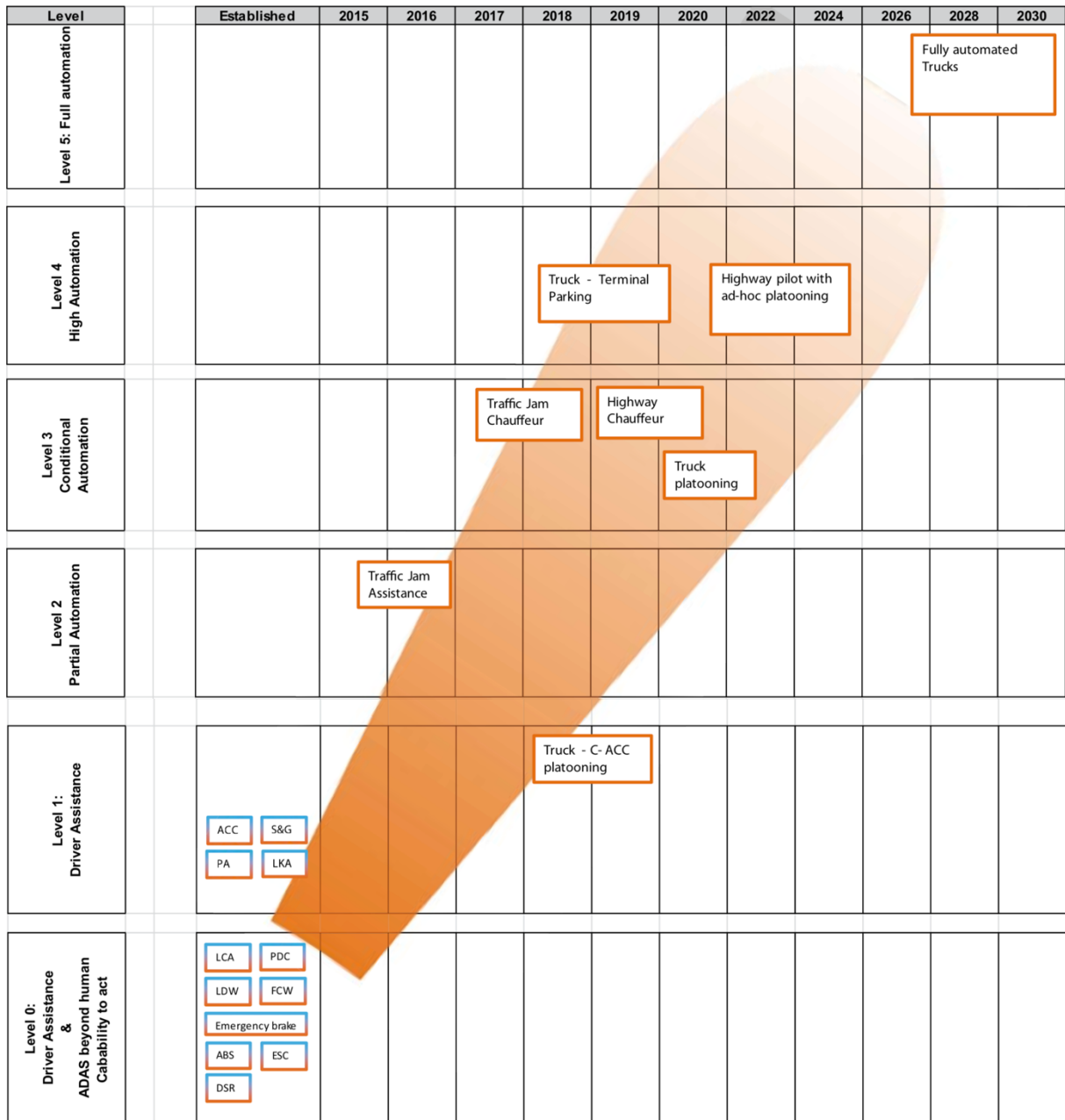


Figura 112. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2015

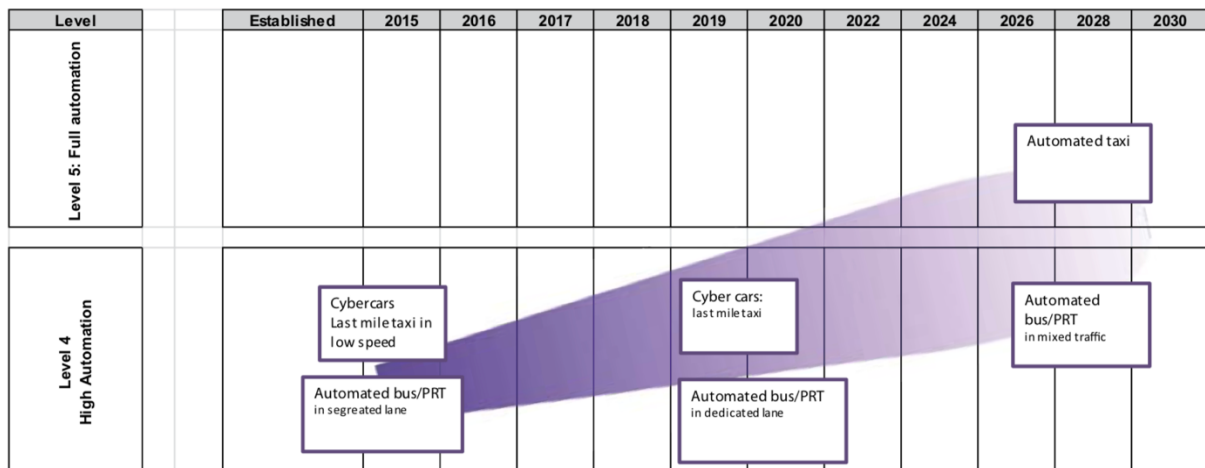


Figura 113. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2015

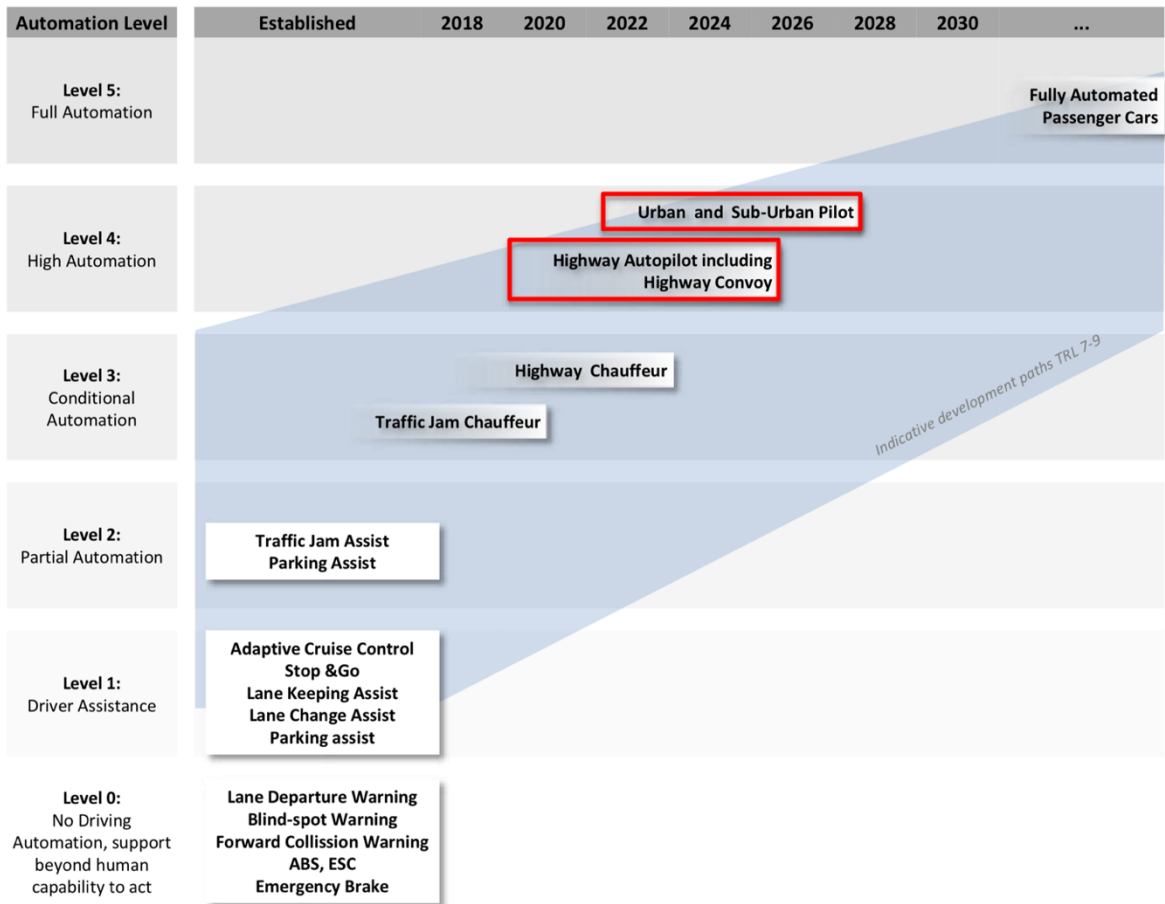


Figura 114. Previsión para vehículos particulares de el ERTRAC en 2018

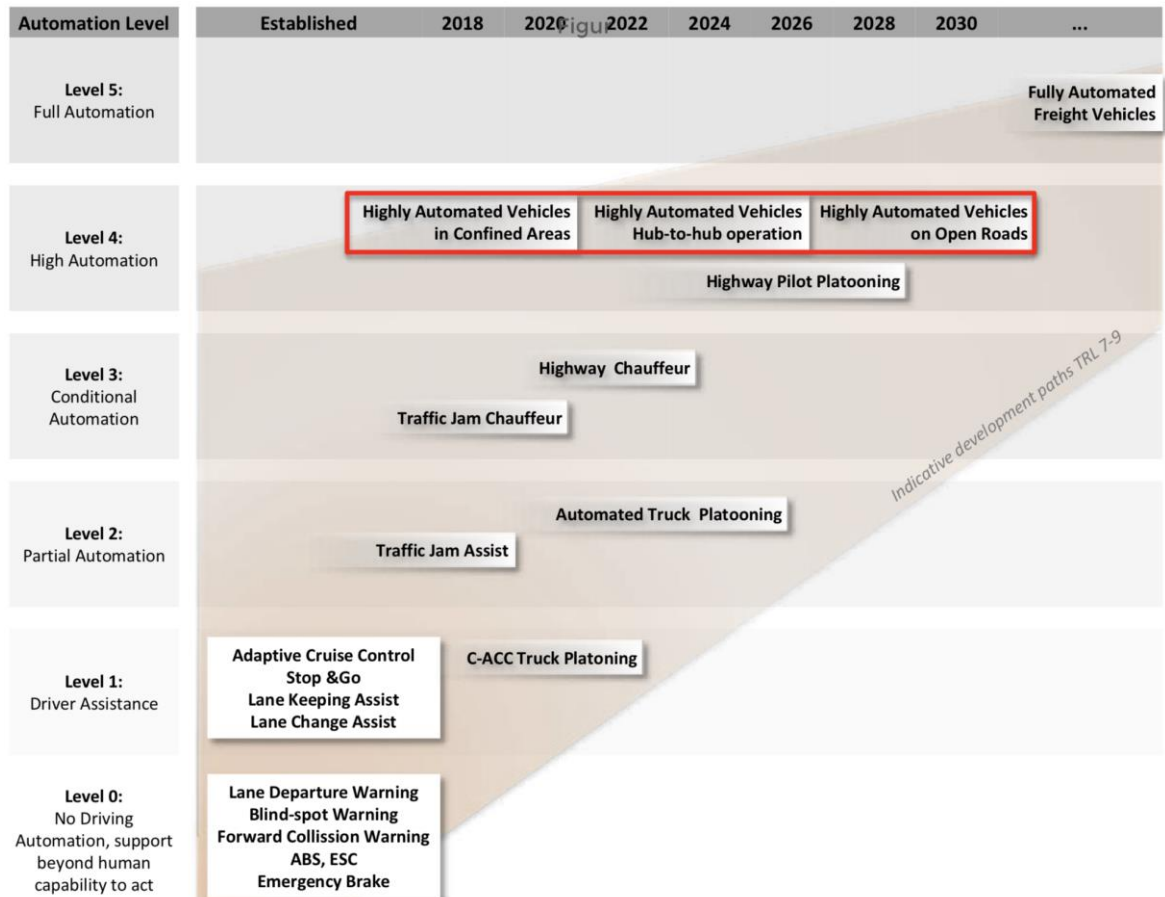


Figura 115. Previsión para vehículos industriales de el ERTRAC en 2018

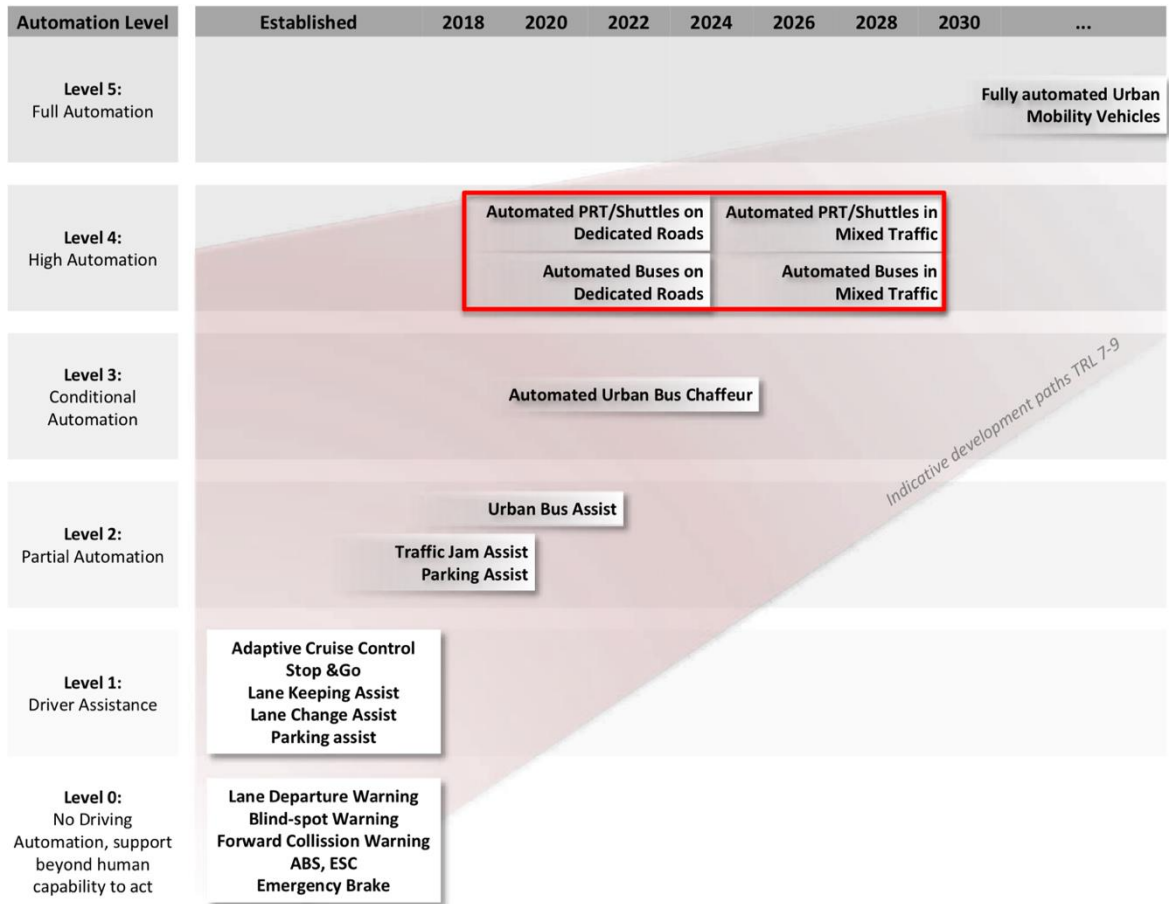


Figura 116. Previsión para transporte urbano de el ERTRAC en 2018

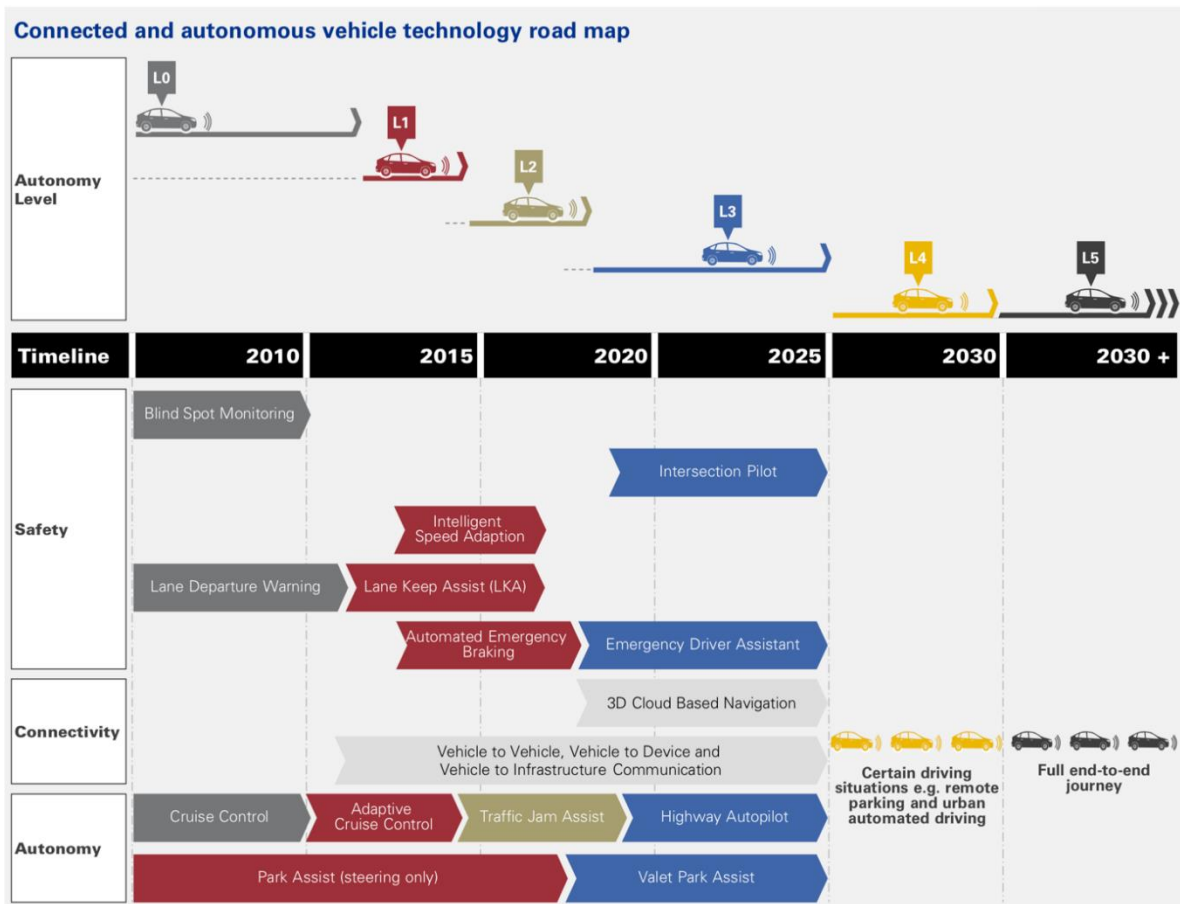


Figura 117. Previsión del SMMT en 2015 de los sistemas ADAS y conectividad

1.2 Protocolos Euro NCAP AEB

1.2.1 Coche contra coche: AEB y FCW

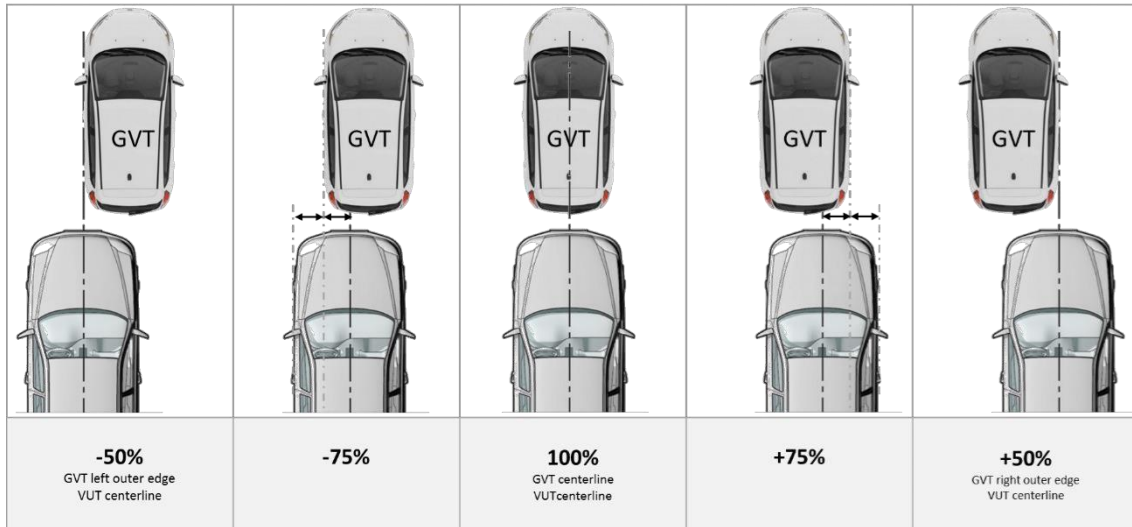


Figura 118. Evaluación AEB solapamiento entre VUT y GVT (25)

Los "vehículos a prueba", VUT, se evalúan con un solapamiento con el GVT que puede ir desde el -50% hasta el 50%, variando de 25 en 25%, y con AEB y FCW, separados y combinados, en 3 escenarios diferentes:

- CCRs – Con diferentes solapamientos, aproximándose a un vehículo objetivo global, GVT, parado. En urbano la velocidad varía entre 10 y 50 km/h, y en interurbano entre 30 y 80km/h, en ambos casos con incrementos de 5km/h.

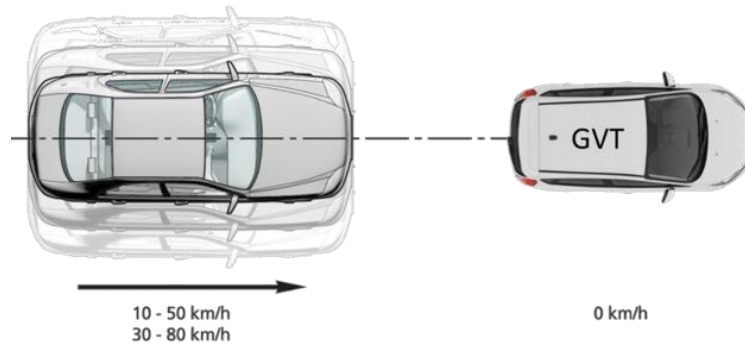


Figura 119. Evaluación AEB en escenario CCRs (15,25)

- CCRm – Con diferentes solapamientos, aproximándose a un GVT que se mueve a velocidad constante 20km/h, el VUT se acerca a una velocidad de entre 30 y 80km/h, con incrementos de 5km/h.

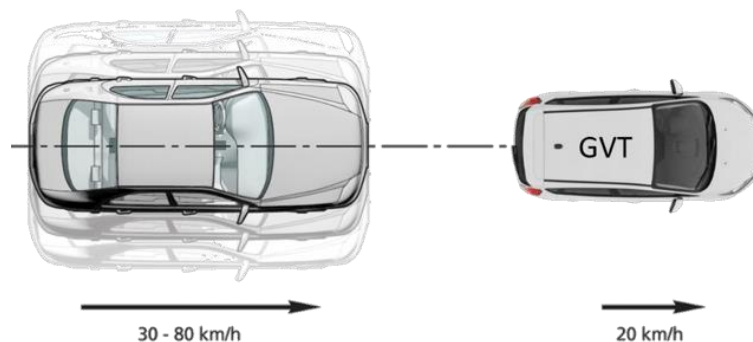


Figura 120. Evaluación AEB en escenario CCRm (15,25)

- c. CCRb – Con un solapamiento del 100%, siguiendo, a una distancia de 12 o 40m, a un GVT que se mueve a velocidad constante, 50km/h y decelera a 2 o a 6m/s².

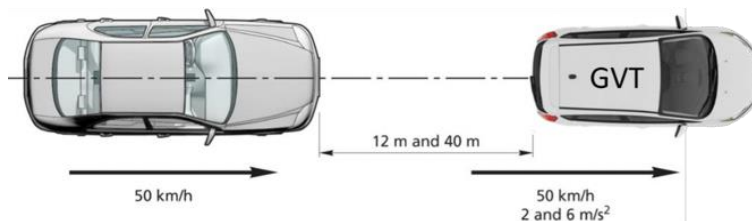


Figura 121. Evaluación AEB en escenario CCRb (15,25)

Antes de realizar los ensayos los OEMs deben enviar una tabla para cada escenario, según la combinación de velocidad y solapamiento, siguiendo el código de colores de la figura inferior, en función de la velocidad a la que impactará contra el GVT.

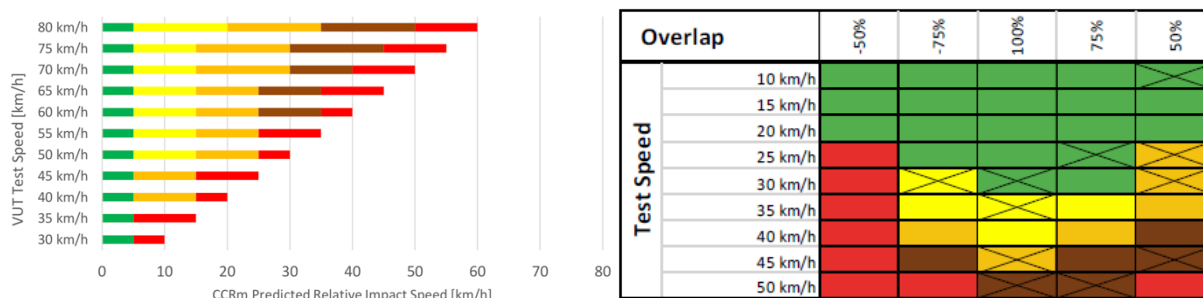


Figura 122. Evaluación AEB: código de colores según velocidad de impacto y ejemplo de tabla de OEM (25)

Los escenarios exactos en los que se evaluará el vehículo se elegirán de forma aleatoria dentro de la tabla proporcionada por el OEM excluyendo los puntos rojos. Se realizarán 10 tests para cada sistema (AEB Urbano, AEB Interurbano y FCW) (95).

1.2.2 Coche contra usuarios vulnerables: AEB VRU

Para la evaluación de la detección de peatones, Euro NCAP realiza pruebas en tres escenarios, con el peatón interponiéndose en la ruta del vehículo y con el peatón andando en la misma dirección que el vehículo, con condiciones ambientales, lumínicas diferentes. Reducir la velocidad es crucial para evitar el accidente o minimizar las lesiones que el peatón pueda sufrir. Se emplean dummies articulados



Figura 123. Evaluación AEB para VRU: dummies (95)

El frenado autónomo de emergencia para usuarios vulnerables de la vía se evalúa bajo el siguiente protocolo de EuroNCAP:

Si los sistemas tienen alguna opción de configuración se selecciona el nivel intermedio o intermedio superior. Si el vehículo equipa algún sistema de protección de peatones desplegable se desconecta. Las velocidades del vehículo varían dentro de los límites marcados en cada escenario con incrementos de 5km/h:

AEB Pedestrian						
	CPFA-50	CPNA-25	CPNA-75	CPNC-50	CPLA-50	CPLA-25
Type of test	AEB					FCW
VUT speed	20-60 km/h					50-80 km/h
Target speed	8 km/h	5 km/h				
Impact location	50%	25%	75%	50%	50%	25%
Lighting condition	Day	Day & Night		Day	Day & Night	
Vehicle lights (night)	Low beam			High beam		
Streetlights (night)	Streetlights as per Annex B			No streetlights		

AEB Bicyclist			
	CBNA-50	CBLA-50	CBLA-25
Type of test	AEB		FCW
VUT speed	20-60 km/h	25-60 km/h	50-80 km/h
Target speed	15 km/h		20 km/h
Impact location	50%		25%
Lighting condition	Day		

Figura 124. Evaluación AEB para VRU: características de los escenarios, velocidades de VUT y VRU (95)

- a. CPFA-50 – Un peatón adulto se cruza en la trayectoria del vehículo corriendo, del lado más alejado del conductor hacia el más cercano. Golpea en el vehículo en el 50% del ancho del vehículo. Sin frenar.

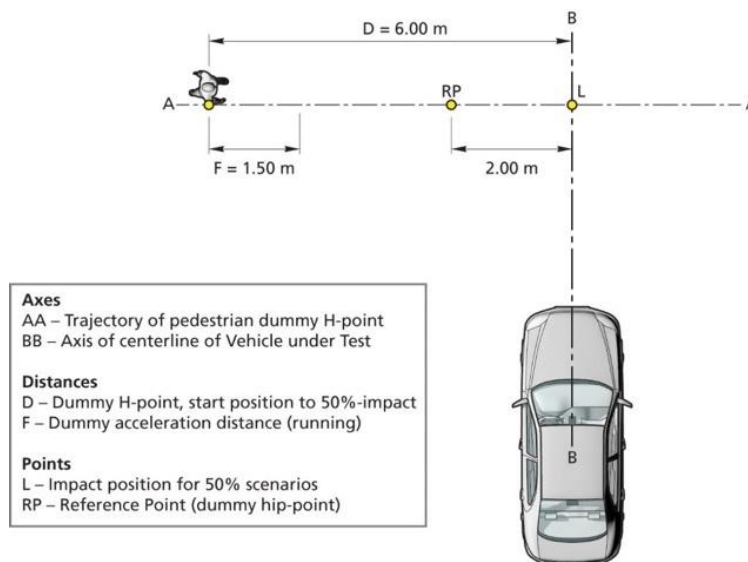


Figura 125. Evaluación AEB para VRU: CPFA-50 (95)

- b. CPNA-25 – Un peatón adulto se cruza en la trayectoria del vehículo andando, del lado más cercano del conductor hacia el más alejado. Golpea en el vehículo en el 25% del ancho del vehículo. Sin frenar.

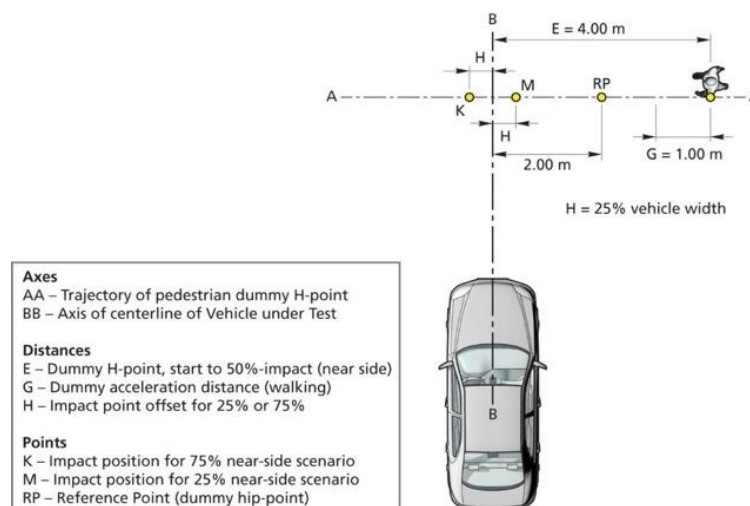


Figura 126. Evaluación AEB para VRU: CPNA-25 y CPFA-75 (95)

- c. CPFA-75 – Un peatón adulto se cruza en la trayectoria del vehículo andando, del lado más alejado del conductor hacia el más cercano. Golpea en el vehículo en el 75% del ancho del vehículo. Sin frenar.
- d. CPNC-50 – Un peatón menor se cruza en la trayectoria del vehículo corriendo, sale de detrás de una obstrucción del lado más cercano del conductor hacia el más alejado. Golpea en el vehículo en el 50% del ancho del vehículo. Sin frenar.

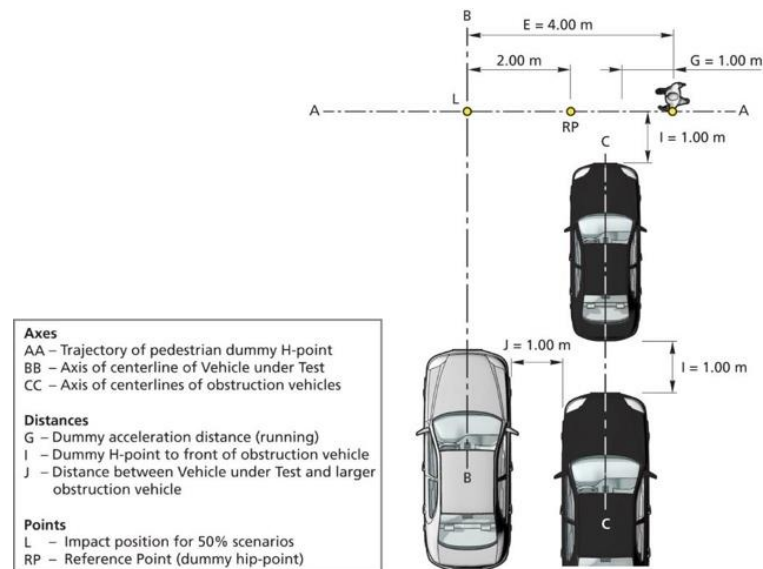


Figura 127. Evaluación AEB para VRU: CPNC-50 (95)

- e. CPLA-25 – Un peatón adulto camina en la misma dirección del vehículo. Golpea en el vehículo en el 25% del ancho del vehículo. Sin frenar, se realiza maniobra de evasión sólo después de la alerta FCW.

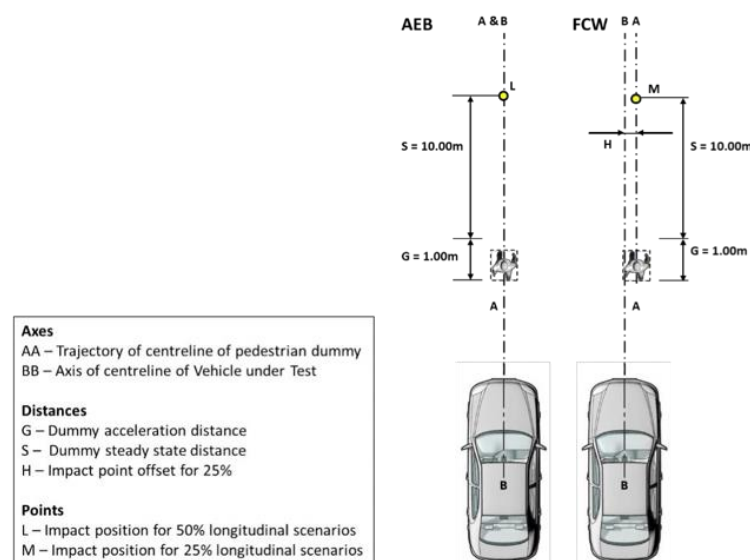


Figura 128. Evaluación AEB para VRU: CPLA-25 y CPLA-50 (95)

- f. CPLA-50 – Un peatón adulto camina en la misma dirección del vehículo. Golpea en el vehículo en el 25% del ancho del vehículo. Sin frenar.
- g. CBNA-50 – Un ciclista se cruza en la trayectoria del vehículo circulando desde el lado más cercano del conductor hacia el más alejado. Sin frenar

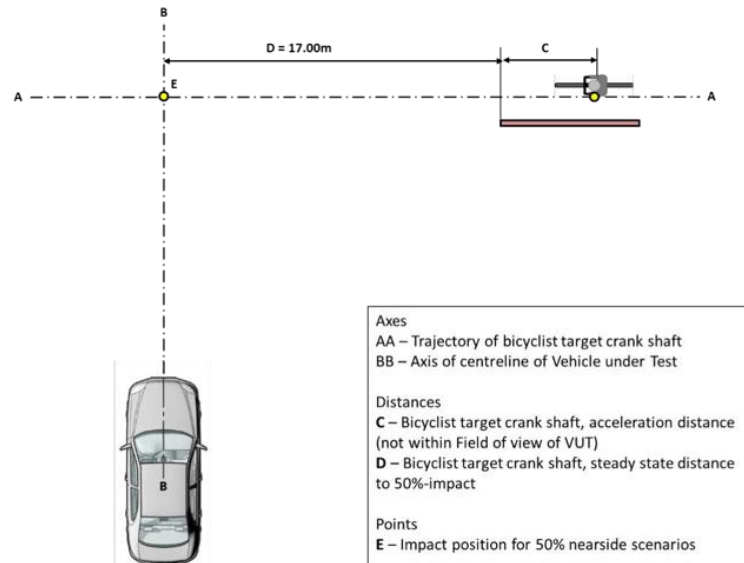


Figura 129. Evaluación AEB para VRU: CBNA-50 (95)

- h. CBLA-25 – Un ciclista circula en la misma dirección del vehículo. Golpea en el vehículo en el 25% del ancho del vehículo. Sin frenar, se realiza maniobra de evasión sólo después de la alerta FCW.

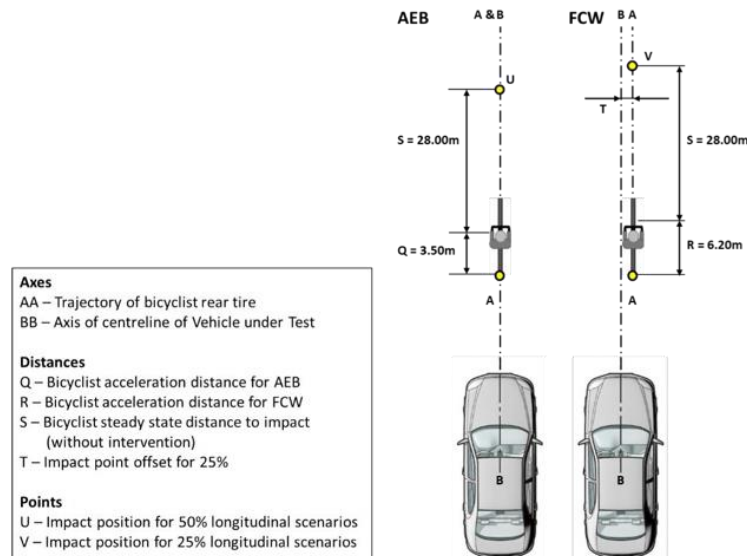


Figura 130. Evaluación AEB para VRU: CBNA-50 | CBLA-25 y CBLA-50 (95)

- i. CBLA-50 – Un ciclista circula en la misma dirección del vehículo. Golpea en el vehículo en el 50% del ancho del vehículo. Sin frenar.

1.2.3 Asistencia a la dirección

Si los sistemas tienen alguna opción de configuración se selecciona el nivel intermedio o intermedio superior. Los sistemas de centrado en el carril deben estar apagados.

Se evalúa el funcionamiento de los LSS (*Lane Support System*) en tres escenarios posibles (no existen test específicos para detección de ángulo muerto):

- ELK – Mantenimiento de carril de emergencia:
 - o Evaluando el límite de la calzada: sin marcas viales, sólo línea central discontinua, carril delimitado por líneas discontinuas, y carril delimitado por discontinua y continua. Se prueba a velocidades laterales de entre de 0.2 a 0.5m/s con incrementos de 0,1m/s.

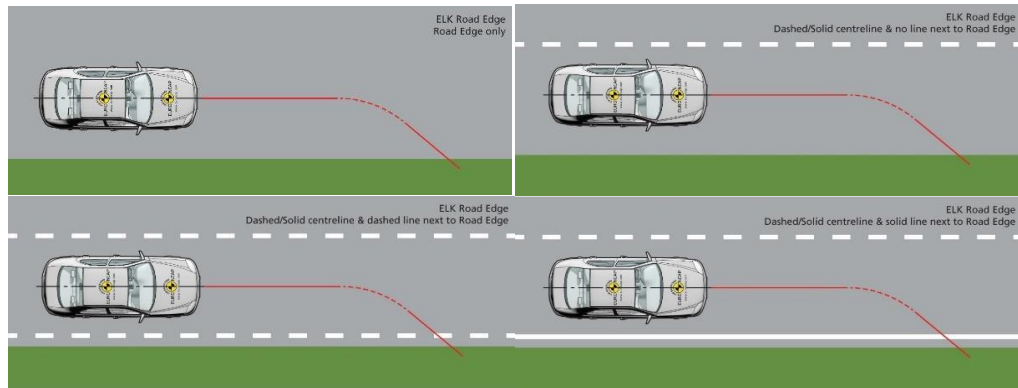


Figura 131. Pruebas para evaluación de ELK: borde de calzada (95)

- Evaluando la línea continua: tanto a la derecha como a la izquierda, se prueba a velocidades laterales de entre de 0.2 a 0.5m/s con incrementos de 0,1m/s.

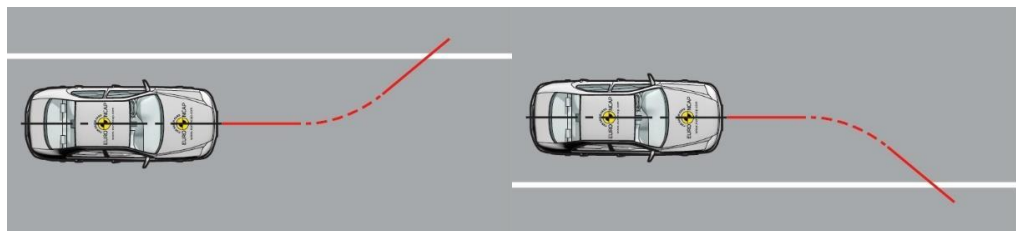


Figura 132. Pruebas para evaluación de ELK: línea continua (95)

- Evaluando con vehículo aproximándose: el VUT sigue una trayectoria recta, al igual que el GVT en el carril adyacente, pero en dirección contraria. La trayectoria del VUT invade el carril contiguo y colisionando, si ningún sistema se lo impide, con un 20% de solapamiento con el GVT. Las velocidades laterales son de entre 0,3 a 0,6m/s, con incrementos de 0,1m/s.

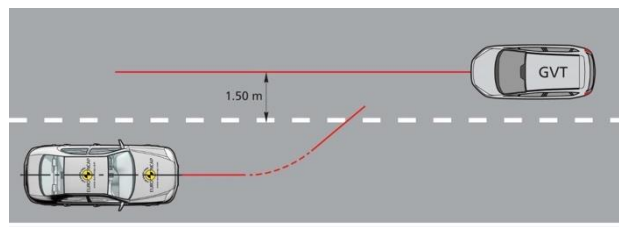


Figura 133. Pruebas para evaluación de ELK: vehículo aproximándose en dirección contraria (95)

- Evaluando con vehículo adelantando: el VUT sigue una trayectoria recta, al igual que el GVT en el carril adyacente, que lo adelanta. La trayectoria del VUT invade el carril contiguo colisionando, si ningún sistema se lo impide, con el GVT coincidiendo su eje trasero con el eje delantero del GVT. Se prueba con los vehículos a la misma velocidad y para velocidades de 80 y 72km/h, GVT y VUT respectivamente. Las velocidades laterales son de entre 0,3 a 0,6m/s para cambio involuntario y de entre 0,5 a 0,7m/s para cambio voluntario, con incrementos de 0,1m/s.

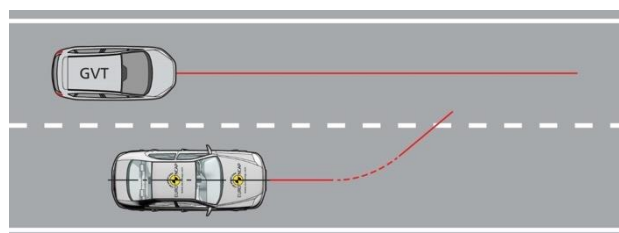


Figura 134. Pruebas para evaluación de ELK: vehículo aproximándose (95)

- LKA – Asistente de mantenimiento de carril
 - o Evaluando la línea discontinua: tanto a la derecha como a la izquierda, se prueba a velocidades laterales de entre de 0.2 a 0.5m/s con incrementos de 0,1m/s.

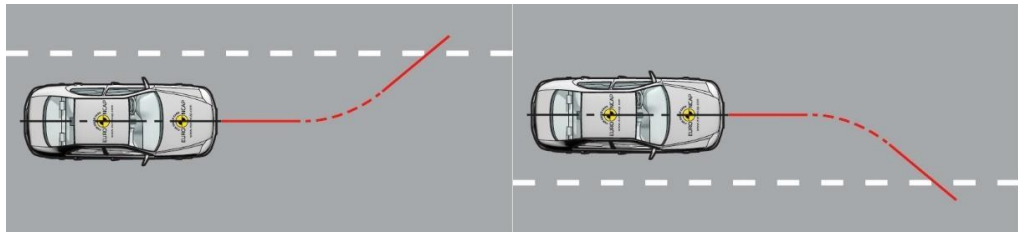


Figura 135. Pruebas para evaluación de LKA: línea discontinua (95)

- o Evaluando la línea continua: tanto a la derecha como a la izquierda, se prueba a velocidades laterales de entre de 0.2 a 0.5m/s con incrementos de 0,1m/s.

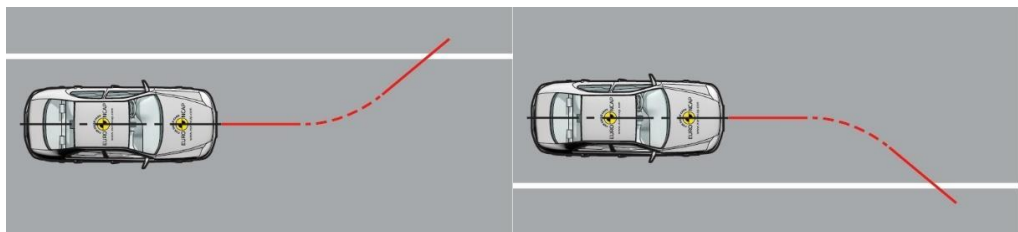


Figura 136. Pruebas para evaluación de LKA: línea continua (95)

- LDW – Advertencia de abandono de carril: se realizan las mismas pruebas que para LKA, el test termina cuando comienza la alerta.