



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

Vehículos Autónomos

Autor:

Bujedo Esteban, Marina

Tutor:

**Alonso Ripoll, Francisco Javier
Ingeniería Eléctrica**

Valladolid, Junio 2019



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Agradecimientos

A mis padres, ya que sin ellos nada de esto habría sido posible. Por su apoyo incondicional no sólo los años de la Universidad, sino durante toda mi vida.

A mi hermano, por hacerme sentir orgullosa al querer seguir mis pasos.

A todos los profesores que han formado parte de mi vida académica, en especial a todos aquellos que me hicieron descubrir el maravilloso mundo de la ingeniería, enseñándome que con esfuerzo y constancia todo se consigue.

A todas las personas que han dedicado cinco minutos de su tiempo libre en responder la encuesta, sin vuestra ayuda esto no habría sido lo mismo.

Y a ti, por estar siempre ahí.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Resumen

Vivimos en una etapa de constante desarrollo tecnológico, y aunque no es el único, uno de los desafíos que más preocupan a las ciudades del siglo XXI es el tráfico. En este trabajo fin de grado estudiaremos una de las posibles soluciones a este problema, la conducción autónoma. Para ello, realizaremos una puesta al día sobre las diferentes etapas que han existido sobre el tema, tratando desde los antecedentes hasta los futuros desarrollos, abordando también las diferentes investigaciones existentes o los sistemas de ayudas a la conducción disponibles.

Palabras clave: ADAS (Sistema Avanzado de Ayudas a la Conducción), conducción automatizada, ITS (Sistema Inteligente de Transporte), transporte, vehículo autónomo.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Índice

1. Introducción.....	19
2. Antecedentes.....	21
3. Sistemas Inteligentes de Transporte	25
3.1. Tecnologías empleadas	26
3.1.1. Cámaras.....	26
3.1.2. LIDAR.....	27
3.1.3. RADAR	29
3.1.4. Sensores de ultrasonidos	30
3.2. Sistemas de ayuda a la conducción	30
3.2.1. Alumbrado exterior.....	31
3.2.1.1. Cambio automático de luces de carretera/cruce	31
3.2.1.2. MATRIX LED	31
3.2.2. Colisión frontal.....	33
3.2.2.1. Alerta de colisión frontal.....	33
3.2.2.2. Frenado automático de emergencia.....	34
3.2.3. Estacionamiento.....	35
3.2.3.1. Asistente de aparcamiento.....	35
3.2.3.2. Park assist	36
3.2.4. Reconocimiento de señales de tráfico	36
3.2.4.1. Indicador del exceso de velocidad	37



3.2.5. Salida involuntaria del carril.....	38
3.2.5.1. Alerta de salida del carril	38
3.2.5.1. Asistente de mantenimiento en el carril.....	38
3.2.6. Otras funciones	39
3.2.6.1. Alerta de colisión con peatones y ciclistas.....	39
3.2.6.2. Control de ángulo muerto	39
3.2.6.3. Control de cruceo adaptativo.....	39
3.2.6.4. Detector de fatiga.....	40
3.2.6.5. Medición de la distancia de seguridad.....	40
3.3. Niveles de autonomía	40
3.3.1. Nivel 0	43
3.3.1. Nivel 1	43
3.3.1. Nivel 2	43
3.3.3.1. Park Assistance	43
3.3.3.2. Traffic Jam Assist.....	44
3.3.1. Nivel 3	44
3.3.4.1. Highway Chauffeur	44
3.3.4.2. Traffic Jam Chauffeur.....	44
3.3.1. Nivel 4	45
3.3.5.1. Parking Garage Pilot	45
3.3.1. Nivel 5	45
4. Grupos y proyectos de investigación	47
4.1. Centro de investigación del grupo FCA.....	50



4.1.1. AUTONOMY	51
4.2. IMARA.....	52
4.2.1. LaRa	53
4.2.2. Cybercars, Cybercars-2 y Cybercars-3	53
4.2.3. CRISTAL.....	54
4.3. INSIA.....	55
4.3.1. ADAS ROAD	56
4.3.2. AUTOCITS	61
4.3.3. RETEVI.....	62
4.3.4. AVESE.....	63
4.3.5. SEGVAUTO-TRIES-CM	64
4.3.6. SAMPLER	66
4.4. Ministerio de Transporte de Japón	69
4.5. Programa AUTOPIA.....	70
4.5.1. Flota de vehículos	71
4.5.2. Proyectos	74
4.5.2.1. TCAP-Auto.....	74
4.5.2.2. IoSense	75
4.6. Universidad de Alcalá - Robesafe.....	75
4.6.1. e-Safety	76
4.7. Universidad de Bundeswehr.....	76
4.7.1. VITA y VITA II.....	77
4.7.2. VaMP	77



4.7.3. MuCAR-3	78
4.8. Universidad de California.....	78
4.8.1. PATH.....	79
4.9. Universidad de Carnegie Mellon	81
4.9.1. NavLab - 1.....	81
4.9.2. NavLab - 2.....	81
4.9.3. NavLab - 5.....	81
4.9.4. NavLab - 11	82
4.10. Universidad de Griffith.....	84
4.11. Universidad de Parma - Vislab	84
4.11.1. VIAC.....	85
5. Arquitectura del control de tráfico	91
5.1. Estructura general.....	92
5.2. Especificaciones.....	96
5.3. Intercambio de la información	98
6. Realización práctica	101
6.1. Validación experimental	102
6.2. Instrumentación	105
6.2.1. Hardware	105
6.2.2. Software.....	106
6.3. Legislación	107
6.3.1. Legislación en España y Europa	107
6.3.2. Legislación en Estados Unidos.....	109

6.3.3. Legislación en Japon.....	111
7. Coexistencia	113
7.1. Mayoría de vehículos no autónomos o con niveles bajos de autonomía.....	113
7.2. Mitaad convencionales y mitad automatizadosa	114
7.3. Mayoría de vehículos automatizados	115
8. Actualidad de los sistemas de guiado autónomos	117
8.1. Piloto automático en aeronaves	117
8.2. Piloto automático en navegación marítima.....	122
8.3. AGVs.....	122
9. Percepción de la sociedad.....	125
9.1. NHTSA	125
9.2. Máquina moral	127
9.3. El Observatorio Cetelem	130
9.4. Cuestionario.....	134
10. Futuros desarrollos.....	143
10.1 Elementos de seguridad obligatorios en 2022	144
10.2 Tendencias que afectarán al sector automóvil	145
10.3 Salón del automóvil de Ginebra.....	146
11. Conclusiones.....	149
Apéndices.....	153
Bibliografía	155

Índice de figuras

Figura 1 – La Maravilla Americana de Francis Houdina.....	22
Figura 2 – Cámara delantera.....	27
Figura 3 – Imagen creada por LIDAR	28
Figura 4 – Prototipo aerodinámico LIDAR	28
Figura 5 – Vehículo con RADAR.....	29
Figura 6 – Sensores de ultrasonidos	30
Figura 7 – Alumbrado MATRIX LED	32
Figura 8 – MATRIZ 5X5	32
Figura 9 . Alerta de collision frontal.....	33
Figura 10 – Frenado automático de emergencia.....	34
Figura 11 – Asistente de aparcamiento	35
Figura 12 – Park assist	36

Figura 13 - Reconocimiento de señales de tráfico	36
Figura 14 - Indicador de exceso de velocidad.....	37
Figura 15 - Diagrama de flujo nivele de autonomía	42
Figura 16 - Tesla Roadster	49
Figura 17 - Coches Waymo	49
Figura 18 - Camión Waymo	50
Figura 19 - Cybercars	54
Figura 20 - Objetivos SERGVAUTO	66
Figura 21 - Sistema detección obstáculos Proyecto SAMPLER.....	67
Figura 22 - Control por capas vehículo	69
Figura 23 - Vehículos con clasidicación ASV++	70
Figura 24 - COVAN y GLOBO, furgonetas del programa AUTOPIA	72
Figura 25 - Citroën C3 fotografía 1	72
Figura 26 - Citroén C3 fotografía 2	73
Figura 27 - Autobús eléctrico programa AUTOPIA.....	73

Figura 28 – Vehículo híbrido programa AUTOPIA.....	74
Figura 29 – Vehículo VaMoRs	76
Figura 30 –Volkswagen Touareg del Proyecto VaMP	78
Figura 31 – Caravana de vehículos con control automático.....	80
Figura 32 - GPS	83
Figura 33 – Giróscopos y magnetómetros.....	83
Figura 34 – Antena GPS	83
Figura 35 - Lector laser de proximidad	83
Figura 36 - Cámara.....	83
Figura 37 – Sensor	84
Figura 38 – LIDAR 1	84
Figura 39 – LIDAR 2.....	84
Figura 40 – LIDAR 3.....	84
Figura 41 – LIDAR 4.....	84
Figura 42 – VIAC 1.....	90

Figura 43 – VIAC 2.....	90
Figura 44 – Principales estándares de comunicación	93
Figura 45 – Visión global del sistema propuesto.....	94
Figura 46 – Etapas control de tráfico	96
Figura 47 – Niveles arquitectura.....	98
Figura 48 – Trama enviada a la unidad de control.....	99
Figura 49 – Autobus 5G.....	100
Figura 50 – Zonas experimentales Universidad de Alcalá	102
Figura 51 – Resultados obtenidos 1.....	103
Figura 52 – Resultados obtenidos 2.....	104
Figura 53 – Prueba conducción Citroën Grand C4	108
Figura 54 – Trayecto prueba conducción autónoma.....	109
Figura 55 – Estados posicionados sobre la conducción autónoma.....	110
Figura 56 – Accidente Tesla Model S	114
Figura 57 – Panel de control del piloto automático de un Airbus A340	118

Figura 58 – Primera entrega autónoma Amazon Prime Air.....	120
Figura 59 – Modelo espacio aéreo	121
Figura 60 – Características AGV.....	123
Figura 61 – Informe departamento de transporte EEUU.....	126
Figura 62 – Juego Máquina Moral del MIT	128
Figura 63 – Diferentes escenarios.....	128
Figura 64 – Aspectos legales	129
Figura 65 - Personajes	129
Figura 66 – Portada informe Observatorio Cetelem.....	131
Figura 67 – Resultados sobre si el coche autónomo será una realidad.....	132
Figura 68 – Resultados sobre el año de lanzamiento del vehículo autónomo.....	133
Figura 69 – Rango edad	137
Figura 70- Método habitual de transporte.....	137
Figura 71 – Porcentaje de vehículos con ayudas a la conducción.....	138

Figura 72 – Comparación rango de edad con el % de vehículos con ayudas a la conducción.....	139
Figura 73 – Ayudas a la conducción más habituales	140
Figura 74 – Porcentaje confianza en vehículos autónomos	141
Figura 75 – Respuestas frente al conflicto moral.....	141
Figura 76 – Respuestas sobre quién debería decidir en caso de accidente inevitable.....	142
Figura 77 – Evolución prevista por Grupo Garato IT SOLUTIONS	143
Figura 78 – Renault EZ-GO	147



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 1

Introducción

Durante los últimos años la búsqueda de un transporte más ecológico, seguro y eficiente, ha sido una prioridad a nivel mundial, es por ello que se ha invertido una gran cantidad de recursos en el desarrollo de vehículos autónomos o altamente automatizados, ya que plantearían una solución innovadora a estos problemas.

A pesar de que la conducción autónoma es un tema actual del que la sociedad cree tener conocimiento, en realidad, sólo suelen conocer la superficie del tema. Esta es la principal razón para la selección del tema como trabajo fin de grado, buscando realizar una puesta al día sobre la conducción autónoma, realizando además recopilación e investigación de los diferentes escritos y proyectos que hay hasta la fecha.

Considero de especial relevancia hablar sobre los diferentes temas que se van a tratar en este trabajo para así obtener una visión global de este.

En primer lugar se tratarán los antecedentes de la conducción autónoma, intentando de esta manera concienciar al lector de la complejidad del tema, pues el control autónomo en vehículos es un reto que se lleva afrontando desde hace casi un siglo.

Después, durante dos capítulos, se hablará del estado del arte. Hablando en primer lugar de las tecnologías empleadas para crear los diferentes sistemas de ayuda a la conducción y los niveles de autonomía. Para finalizar el apartado de

estado del arte se hablará de los grupos y proyectos de investigación que hemos considerado más relevantes.

El trabajo proseguirá desarrollando la idea de la necesidad de una nueva forma del control de tráfico con intercambio constante de datos.

Una de las barreras más importantes será cómo llevar a cabo las diferentes investigaciones de las que hemos hablado, es por ello que se habla de la nueva instrumentación necesaria y de las diferentes legislaciones a nivel mundial.

Una vez hayan sido solventados estos problemas, llegaremos a analizar la etapa más peligrosa, en la que coexistirán vehículos tradicionales con vehículos autónomos. Es importante tratar este tema pues debemos planificar una transición adecuada.

En la parte final del trabajo se hablará de los sistemas de guiado automatizados existentes en la actualidad y de cómo cada vez son más habituales en nuestro día a día sin que nos hayamos percatado si quiera de ello.

Después hablaremos de la percepción de la sociedad, exponiendo tanto estudios externos como por uno realizado en nuestro entorno más cercano.

Para finalizar se tratarán los futuros desarrollos y se expondrán las conclusiones que hemos obtenido con la realización de este trabajo fin de grado.

Capítulo 2

Antecedentes

La automatización y el control de vehículos, con el paso del tiempo, se está convirtiendo en una realidad cada vez más patente. Diversas aplicaciones que antes sólo podíamos imaginar a nivel teórico, se están convirtiendo en realidad rápidamente, implantándose en vehículos convencionales [Vaa, T. 2007].

El control autónomo en vehículos es un reto que muchos grupos llevan afrontando desde hace casi un siglo. El primer hito relevante en conducción autónoma no tuvo que esperar mucho tiempo tras el nacimiento del automóvil convencional.

En 1925, Francis Houdina construyó el vehículo de la marca Chandler que podemos ver en la figura 1, el cual fue bautizado como la Maravilla Americana. Este vehículo circuló, sin nadie al volante, entre Broadway y la Quinta Avenida, zonas de Nueva York caracterizadas por su intenso tráfico. Aunque el apellido del inventor recordase al famoso ilusionista Harry Houdini y la gente pensase que era todo un gran truco de magia, el insólito acontecimiento fue posible gracias a un sistema de radiocontrol que recibía órdenes de un vehículo que circulaba detrás.

A principios de los 60, el departamento de investigación de General Motors empezaba a desarrollar los sistemas avanzados para el control de vehículos, AVCS. General Motors desarrolló sistemas que actuaban sobre el volante, el acelerador y el freno de sus vehículos, y aunque fueron probados en circuitos privados [Gardels, K.

1960], nunca llegaron a comercializarse, posiblemente porque la electrónica analógica de la época no permitía un control refinado y robusto.

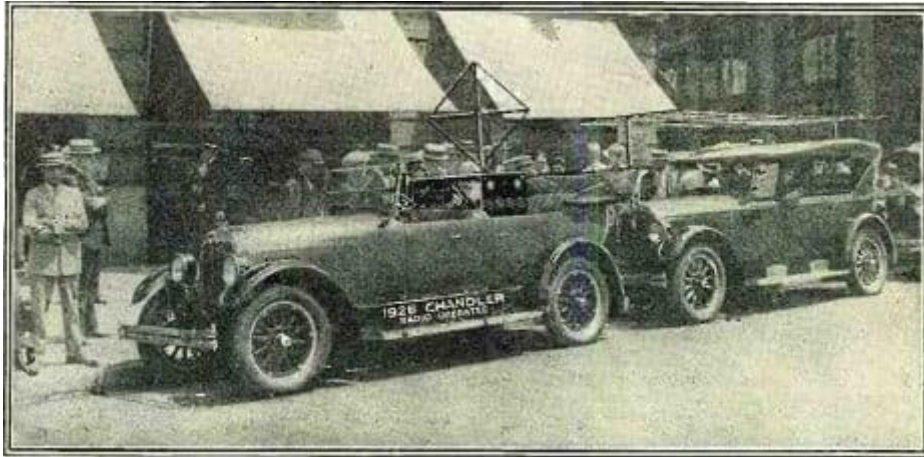


Figura 1 - La Maravilla Americana de Francis Houdina

Posteriormente, otros grupos de investigación, como la Universidad de Ohio y el instituto tecnológico de Massachusetts (MIT), empezaron a mejorar el control longitudinal y lateral de los vehículos autónomos, aplicando diferentes técnicas de control para los problemas urbanos de transporte [Barrick, D. 1962]. Estos avances provocaron la creación del primer gran consorcio de automoción de transporte público, el proyecto METRAN [Hanson, M. 1966].

En la misma década, en 1969, John McCarthy, conocido como uno de los padres de la inteligencia artificial, describió algo similar al vehículo autónomo moderno en un ensayo titulado "Computer Controlled Cars". En este ensayo, McCarthy describe cómo los usuarios deberían poder ingresar un destino, utilizando un teclado integrado en el automóvil, el cual los dirigiría automáticamente hacia allí. Además, hablaba de la posibilidad de, mediante comandos adicionales, cambiar el destino, realizar una parada, reducir la velocidad o acelerar. Aunque no se

construyese ningún vehículo, el ensayo de McCarthy se ha convertido en una especie de misión en la que otros investigadores trabajan actualmente.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 3

Sistemas Inteligentes de Transporte

Con el objetivo de aumentar la eficiencia y la seguridad en el transporte surgieron en la época de los 90, los Sistemas Inteligentes de Transporte, ITS en adelante. Los ITS abarcan todo el conjunto de aplicaciones informáticas y sistemas tecnológicos creados con este fin, incluyendo tanto los vehículos como las infraestructuras, facilitando de este modo la labor de control y de seguimiento por parte de los responsables y una mayor comodidad para los usuarios. Aunque el término ITS se suele asociar al transporte terrestre, en la realidad tiene un uso más extendido ya que según la Dirección General de Energía y Transporte de la Unión Europea puede ser aplicado a transporte marítimo, transporte aéreo, autopistas y ferrocarriles, así como a los diferentes tipos de conexiones entre estos. En este trabajo de fin de grado nos centraremos en el transporte terrestre, citando de forma breve el resto.

Los ITS se basan en la utilización de diversas técnicas existentes que han ido evolucionando desde los años sesenta hasta la actualidad con el fin de utilizar de forma más eficiente los recursos energéticos, disminuir la contaminación o las congestiones de las grandes ciudades entre otros. Estas primeras técnicas estaban centradas en mejorar el control sobre los vehículos, por lo que se denotaron como Sistemas Avanzados para el Control de Vehículos, AVCS. En los últimos veinte años los AVCS han ido evolucionando hasta empezar a tomar el control parcial del vehículo.

ERTICO ha desarrollado una visión de futuro de los ITS, la encontraremos en [Rumar, K. 99], en la que se realizan las siguientes predicciones:

- Los ITS contribuirán significativamente a reducir el número de accidentes en carretera en un 50%.
- Gracias a estos sistemas, se prevé una reducción del 25% de accidentes en los viajes de larga distancia.
- Se espera una reducción del 50% del tráfico en los centros de las grandes ciudades gracias a los sistemas de gestión de tráfico.
- Los sistemas de aviso de accidentes podrán disminuir estos en un 15%.
- Los sistemas de transporte públicos disminuirán en un 50% sus retrasos gracias a los sistemas de prioridad.

3.1. Tecnologías empleadas

Las diferentes tecnologías de las que hablaremos a continuación, tienen un objetivo común, recoger información para así generar un modelo virtual del entorno, conociendo de esta manera dónde se encuentran los objetos fijos, como barreras o bordillos, y objetos en movimiento, como en el caso de peatones o ciclistas. Estas soluciones tecnológicas se basan en diversos sensores, que pueden trabajar independientemente o de forma conjunta para incrementar la redundancia.

Las tecnologías más empleadas en la actualidad y que se emplearán en el futuro próximo son RADAR, LIDAR, Sensores de ultrasonidos y Cámaras.

3.1.1. Cámaras

Los sistemas con cámaras buscan el reconocimiento del entorno mediante el procesamiento de la imagen, percibiendo de esta manera colores, texturas y formas.

Las cámaras suministran una mayor cantidad de información, pero presentan el desafío del procesado de dichas imágenes para el reconocimiento de los objetos o los elementos del entorno.

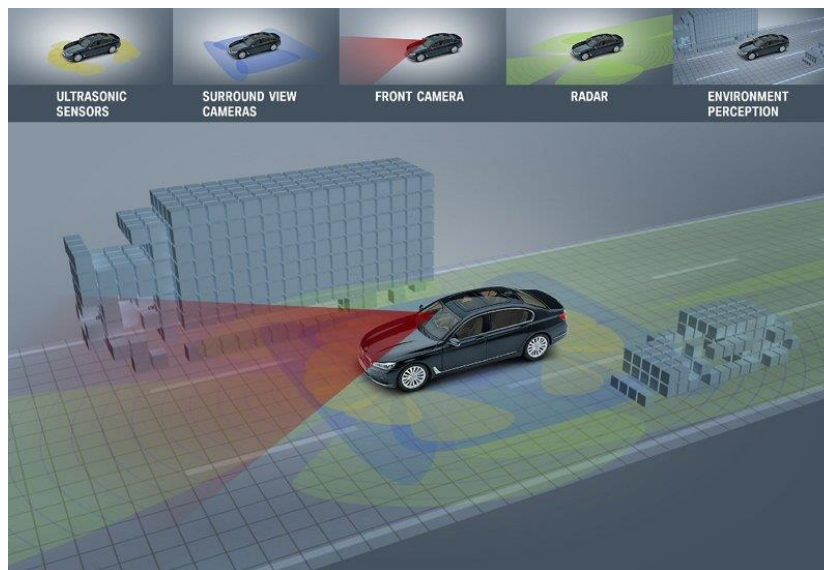


Figura 2 – Cámara delantera

3.1.2. LIDAR

Sus siglas provienen de LASER Imaging Detection and Ranging, siendo la palabra LASER a su vez un acrónimo cuyo significado es Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Se trata de un sistema de medición y detección de objetos mediante un haz pulsado de LASER. La medición se determina calculando el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y la detección de la señal reflejada.

Los sistemas LIDAR son capaces de ver miles de puntos por segundo, permitiendo crear una imagen similar a la de la figura 3. Gracias a esto, los vehículos

dotados con este tipo de tecnologías, son capaces de identificar marcas viales, objetos móviles, límites de la vía o incluso el espacio libre para la circulación.



Figura 3 – Imagen creada por LIDAR

Esta tecnología nos aporta grandes ventajas, tales como la obtención de información 5D (X, Y, Z, intensidad y tiempo), pero también presenta ciertos problemas en la actualidad como la modificación en la aerodinámica del vehículo, aunque están tratando de ser subsanados como podemos ver en el prototipo de la Figura 4.



Figura 4 – Prototipo aerodinámico LIDAR

3.1.3. RADAR

Sus siglas significan Radio Detection and Ranging, lo que traducido al español es detección y medición (de distancias) por radio.

El sistema se basa en la emisión de un impulso de ondas electromagnéticas a muy alta frecuencia, las cuales se reflejan en el objeto, recibándose típicamente en la misma posición. El uso de diversas longitudes de onda permite detectar objetos de diversas naturalezas, siendo capaz de detectar hasta luz visible o sonidos.

Implementado en vehículos, este sistema sirve para detectar la distancia, el ángulo y la velocidad de un objeto, pero es incapaz de identificar el objeto del que se trata. Al ser una tecnología madura, da lugar a poco margen de mejora.

No obstante, proporciona suficiente información para el desarrollo de sistemas como el control de crucero adaptativo, la alerta de colisión frontal o el control de la distancia de seguridad entre otros.



Figura 5 - Vehículo con RADAR

3.1.4. Sensores de ultrasonidos

Estos sensores emiten ondas de ultrasonido, no percibidas por el oído humano, que rebotan en los obstáculos, calculando de esta manera la distancia a la que se encuentran los mismos de forma similar a los RADAR

Son dispositivos inalámbricos que van instalados en los paragolpes de los vehículos.

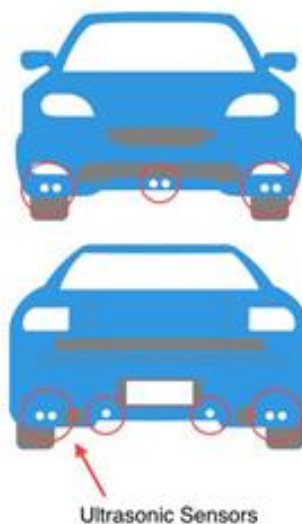


Figura 6 – Sensores de ultrasonidos

3.2. Sistemas de ayuda a la conducción

En la actualidad, existen multitud de sistemas que nos ayudan en la conducción, conocidos como ADAS, cuyas siglas en inglés significan Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción, a continuación, presentamos los más implantados en la actualidad.

Hemos tratado de introducir datos estadísticos de las ayudas incluidas en los vehículos vendidos en 2015 en España gracias a un informe del Ministerio del Interior, publicado en Octubre de 2016 y titulado “Informe y análisis sobre la influencia de los sistemas de ayuda a la conducción en la seguridad vial y su aplicación para la clasificación de vehículos”. Aunque a priori podríamos considerar que un estudio realizado hace tanto tiempo es obsoleto, son los últimos datos que se han publicado de forma oficial.

3.2.1. Alumbrado exterior

3.2.1.1. Cambio automático de luces de carretera/cruce

Intelligent HighBeam Control, IHC, es un sistema de activación/desactivación de las luces de carretera basado en tecnología de imagen que es capaz de actuar hasta los 200km/h durante la noche, buscando evitar el deslumbramiento de otros conductores.

Se estima que la presencia en el mercado de los vehículos vendidos en 2015 es de un 5.2%. Cabe la posibilidad de instalar este sistema en vehículos que no lo llevaran al salir de fábrica.

3.2.1.2. MATRIX LED

Los faros MATRIX LED están compuestos por 25 diodos divididos en grupos de 5, como si se tratase de una matriz de 5x5.

Gracias a la imagen proporcionada por la cámara, la unidad de control puede activar, desactivar o atenuar cada LED individualmente de acuerdo con la situación requerida, para así evitar deslumbramientos, manteniendo el haz de luz larga en las demás direcciones.



Figura 7 – Alumbrado MATRIX LED



Figura 8 – MATRIZ 5X5

3.2.2. Colisión frontal

3.2.2.1. Alerta de colisión frontal

Este sistema se suele nombrar como FCW, cuyas siglas significan Forward Collision Warning, aunque también es conocido como Front Assist o Pre-collision System (PCS), es un sistema que alerta al conductor en caso de que exista un riesgo de alcance con el vehículo o vehículos que se encuentren delante de él.

Esto se consigue gracias a radares y a cámaras integradas en el vehículo, por lo que es capaz de funcionar en cualquier situación de luminosidad ya que no se guía sólo por la imagen. A su vez, el sistema tiene un rango límite de velocidades comprendido entre los 0 y 200 km/h y cabe la posibilidad de implementarlo en cualquier vehículo aunque a la hora de comprarlo no estuviera integrado.

La DGT estima que un 9.2% de los vehículos vendidos en 2015 disponen de este sistema.



Figura 9 . Alerta de collision frontal

3.2.2.2. Frenado automático de emergencia

Conocido en inglés como Autonomous Emergency Braking System, AEBS o bien como Predictive Emergency Brake System Braking Guard, PEBS, es un sistema que reduce de forma automática la velocidad del vehículo si detecta riesgo de colisión. Además, el sistema es capaz de aumentar la presión de frenado en caso de que la aplicada por el conductor sea insuficiente para evitar la colisión.

El sistema emplea tanto cámaras como radares para determinar si es precisa o no su actuación. Es capaz de funcionar en cualquier situación de luminosidad y puede actuar en velocidades comprendidas entre 10 y 50 km/h.

Se estima que en el 2015 un 21.9% de los vehículos vendidos disponían de esta tecnología.



Figura 10 – Frenado automático de emergencia

3.2.3. Estacionamiento

3.2.3.1 Asistente de aparcamiento

Gracias a los sensores de ultrasonidos, los vehículos emiten alertas sonoras para evitar la colisión con otros vehículos o elementos del entorno a la hora de aparcar.

Sus siglas en inglés son PDC, que significan Park Distance Control.



Figura 11 - Asistente de aparcamiento

3.2.3.2. Park assist

Es conocido por sus siglas, PA, y es un sistema que se debe activar manualmente cuando se desee estacionar.

El vehículo es capaz, gracias a los sensores de ultrasonidos y cámaras, de aparcar, siendo sólo necesario que el conductor acelere, frene y supervise el proceso.



Figura 12 - Park assist

3.2.4. Reconocimiento de señales de tráfico

Mediante el reconocimiento de patrones, los vehículos dotados con TSR son capaces de reconocer, actualmente, los diferentes colores de los semáforos, y 40 tipos de señales de tráfico de 25 países.

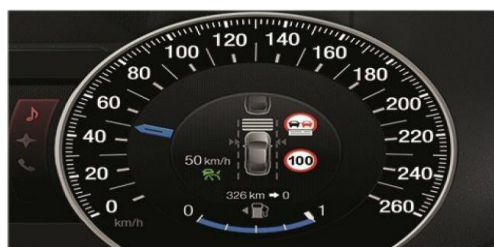


Figura 13 - Reconocimiento de señales de tráfico

3.2.4.1. Indicador del exceso de velocidad

SLI, Speed Limit Indicator o ISA, Intelligent Speed Assitant, es un sistema de reconocimiento de señales de tráfico que informa al conductor acerca de los límites de velocidad. La Comisión Europea podría incluir el ISA como equipamiento de serie obligatorio, para así impedir que los vehículos rebasen la velocidad límite establecida.

Este sistema se basa en la imagen y puede actuar en cualquier situación de luminosidad y a cualquier velocidad.

Un 10.5% de los vehículos comprados en 2015 llevan este tipo de indicadores y es posible instalarle a posteriori.



Figura 14 – Indicador de exceso de velocidad

3.2.5. Salida involuntaria del carril

3.2.5.1. Alerta de salida del carril

Lane Departue Warning, o Lane Assist es el sistema que reconoce las líneas del carril y alerta al conductor si las sobrepasa sin accionar los intermitentes, ya que el vehículo interpreta que es una acción involuntaria.

Tanto la imagen como los infrarrojos son esenciales para que el vehículo pueda activar este tipo de asistencia en cualquier situación de luminosidad siempre que vaya a velocidades comprendidas entre 60 y 200km/h.

Existe la posibilidad de implementar a posteriori este sistema en cualquier vehículo.

Aproximadamente un 9.2% de los vehículos vendidos en 2015 disponían de esta tecnología.

3.2.5.2. Asistente de mantenimiento en el carril

Este sistema se conoce como LKA, Lane Keep Assistant o LKS, Lane Keeping System, lo cual básicamente se puede traducir como que es un asistente de mantenimiento en el carril.

Este sistema actúa sobre la dirección del vehículo y así mantenerlo siempre en el carril siguiendo el trazado de la vía, evitando de esta forma las salidas involuntarias. Según un informe de Bosch y Anfac, con un uso generalizado de este sistema, se podrían evitar entre el 10 y el 18% de los accidentes más habituales.

Para que este sistema pueda actuar con efectividad es necesario que el vehículo esté dotado de tecnología de imagen y de infrarrojos, además de tener una velocidad comprendida entre 60 y 120 km/h.

Se estima que un 4.3% de los vehículos vendidos en 2015 disponen de esta tecnología.

3.2.6. Otras funciones

3.2.6.1. Alerta de colisión con peatones y ciclistas

PCW, Pedestrian Collision Warning es un sistema de detección de peatones o ciclistas que alerta al conductor en caso de colisión inminente, bajando la velocidad para evitar el atropello.

Esta tecnología sólo puede funcionar de día ya que se guía de la imagen para actuar, siempre en velocidades menores de 50 km/h.

3.2.6.2. Control de ángulo muerto

Este sistema se conoce con las siglas BSM, Blind Spot Monitoring, o bien con RVM, Rear Vehicle Monitoring system, y es capaz de identificar a los vehículos que estén ubicados en las zonas laterales de ángulo muerto, indicando al conductor si existe o no riesgo.

Esto se consigue mediante la sinergia de las tecnologías de ultrasonidos, radar e imagen para velocidades comprendidas entre 10 y 120 km/h, o bien hasta los 70km/h en el caso de los vehículos pesados.

Aproximadamente, un 9% de los vehículos vendidos en 2015 disponía de este sistema.

Existe la posibilidad de instalarlo más tarde.

3.2.6.3. Control de crucero adaptativo

En inglés se conoce como Adaptive Cruise Control, dándole las sigas con las que se le designa, ACC, aunque también se puede denominar Tempomat.

Basándose en las tecnologías de radar e imagen, el vehículo es capaz de regular la velocidad para adecuarse a una velocidad y distancia prefijadas respecto al vehículo precedente.

Este sistema es capaz de actuar entre 30 y 120 km/h.

Un 12.5% de los vehículos vendidos en 2015 disponían de esta tecnología.

3.2.6.4. Detector de fatiga

El vehículo dispone de unos parámetros, los cuales, mediante imagen, son comparados con el estado del conductor, identificando síntomas de somnolencia.

El sistema actúa hasta velocidades de 120km/h.

3.2.6.5. Medición de la distancia de seguridad

Este sistema alerta si la distancia en segundos respecto al vehículo precedente es insegura para advertir al conductor, por este motivo se conoce como Distance Alert o Head Monitoring Warning, HMW.

Utiliza las tecnologías de imagen y radar, siendo capaz de actuar en velocidades comprendidas entre 30 y 200 km/h.

Sólo un 0.7% de los vehículos vendidos en 2015 poseía dicha tecnología, aunque existe la posibilidad de implementarla a posteriori.

3.3. Niveles de autonomía

La organización profesional SAE, cuyas siglas significan Society of Automotive Engineers y se traduce como Sociedad de Ingenieros en Automoción (aunque también podemos encontrar en ocasiones traducciones como Sociedad de Ingenieros Automotrices), busca desarrollar normas profesionales para el ámbito de la ingeniería a nivel mundial.

Con el objetivo de obtener una terminología común, la Sociedad de Ingenieros de Automoción clasifica los vehículos en seis niveles de autonomía.

Toda la terminología empleada sobre los niveles de autonomía se puede encontrar en los anexos o en SAE J3016_201609.

En el siguiente diagrama de flujo podemos observar la serie de pasos que habría que seguir para determinar el nivel de autonomía de un vehículo, definiendo más detalladamente a continuación cada nivel.

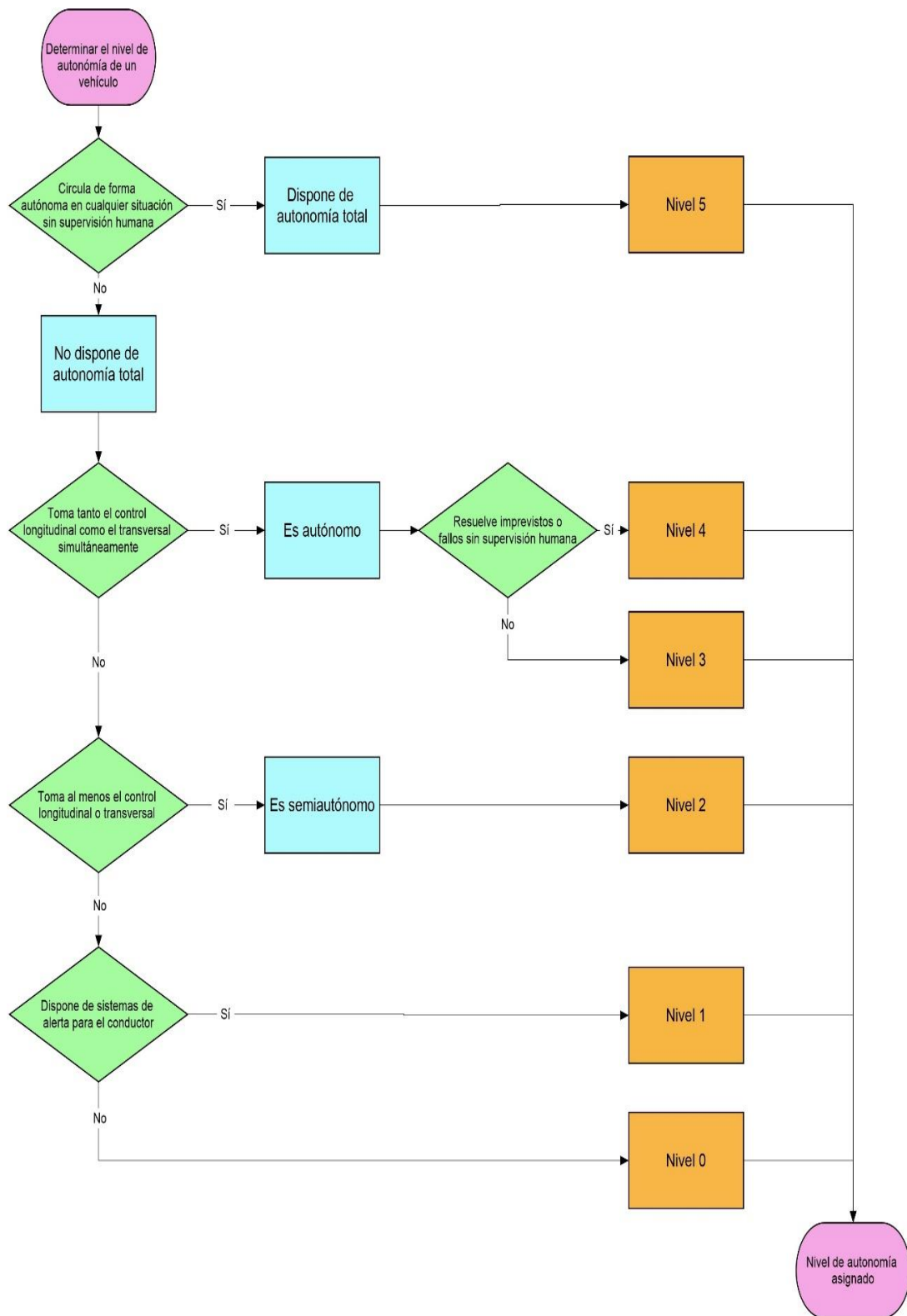


Figura 15 – Diagrama de flujo niveles de autonomía

3.3.1. Nivel 0

Los vehículos no presentan ningún sistema automatizado que les permita tomar el control, sólo pueden disponer de sistemas de advertencias.

En este nivel se encuentran sistemas como el control de ángulos muertos (BSM), el asistente de aparcamiento (PDC), la alerta de salida del carril (LDW) o la alerta de colisión frontal (FCW).

3.3.2. Nivel 1

En este nivel los vehículos pueden tener control longitudinal o transversal del vehículo en situaciones puntuales.

En este nivel se encuentran sistemas como el control de crucero adaptativo (ACC), el park assist (PA) o el asistente de mantenimiento en el carril (LKA).

3.3.3. Nivel 2

Los vehículos con nivel 2 son capaces de tomar tanto el control longitudinal como el transversal, pero no disponen de un sistema completamente automatizado de detección y respuesta de objetos y eventos, conocido como OEDR. Por ello, los vehículos de nivel 2 son conocidos como semiautónomos.

En este nivel podemos encontrar sistemas que van más allá de los ADAS citados anteriormente, tales como:

3.3.3.1. Park Assistance

Se trata de un sistema de asistencia parcial para entrar y salir del aparcamiento en el cual el vehículo es capaz de tomar el control total, pudiendo incluso el conductor encontrarse fuera del mismo, pero supervisando la maniobra.

3.3.3.2. Traffic Jam Assist

Por debajo de 30km/h el vehículo es capaz de tomar el control longitudinal y transversal, aunque carece de la función de cambio de carril.

3.3.4. Nivel 3

Los vehículos de nivel 3 son capaces de realizar todas las funciones a tiempo real en situaciones controladas, tales como las dadas en la conducción por autopistas bien cartografiadas, siendo incapaces de reaccionar por sí solos ante cualquier imprevisto o fallo, necesitando que el conductor tome el control del vehículo en determinadas situaciones.

Al igual que en el nivel 2, vamos a describir a continuación sistemas que van más lejos que los citados anteriormente:

3.3.4.1. Highway Chauffeur

El vehículo puede circular de forma autónoma por autovías o autopistas de las que disponga de la suficiente información hasta velocidades de 130km/h, siendo capaz de realizar funciones como incorporaciones a la vía, adelantamientos o cambios de carril.

Para activar este sistema, al igual que el anterior, el conductor debe hacerlo de forma explícita, aunque sin necesidad de supervisión.

En el caso de que los vehículos estuvieran dotados de comunicación entre ellos, conocida como comunicación V2V, existiría la posibilidad de crear caravanas de vehículos, siguiéndose los unos a los otros.

3.3.4.2. Traffic Jam Chauffeur

El vehículo es capaz de circular de forma autónoma en situaciones de atasco hasta velocidades de 60km/h.

Para activar esta ayuda, el conductor debe hacerlo de forma explícita, aunque la supervisión es innecesaria.

3.3.5. Nivel 4

Al igual que en el nivel anterior, los vehículos pueden circular de forma autónoma en situaciones controladas, aunque en este caso, sí serían capaces de resolver imprevistos, por lo que la supervisión humana no es necesaria.

Además de los sistemas de nivel 3 con la capacidad añadida de resolver problemas, los vehículos de nivel cuatro pueden estar equipados de:

3.3.5.1. Parking Garage Pilot

Este sistema dispone de asistencia total para entrar y salir de un aparcamiento por lo que el conductor puede ausentarse.

3.3.6. Nivel 5

Los vehículos de este nivel serían capaces de circular de forma autónoma en cualquier situación, siendo capaces de realizar todas las funciones necesarias sin intervención ninguna del ser humano.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 4

Grupos y proyectos de investigación

La gran amplitud en el campo de los ITS hace que sea imposible abarcar todas sus áreas en un mismo grupo o proyecto de investigación, por lo que se han creado grupos especializados en áreas concretas.

En Europa podemos destacar los avances realizados por los proyectos HAVEit y SPITS.

- HAVEit se ha centrado en realizar una arquitectura de control mediante un sistema de seguridad virtual que toma el control, total o parcial, del vehículo, consiguiendo así mejorar la seguridad en las vías, una mayor eficiencia energética y más confort en la conducción. Este proyecto lo han desarrollado conjuntamente diferentes empresas y centros de investigación, como Continental, Volkswagen, Volvo, SICK, INRIA y la universidad de Budapest, entre otros.
- SPITS, cuyas siglas significan Strategic Platform for ITS, traducido como Plataforma Estratégica para los sistemas inteligentes de transporte, ha buscado desarrollar nuevos conceptos de comunicación entre vehículos y entre vehículos e infraestructuras.

Los grupos de investigación americanos han desarrollado sistemas de percepción del entorno y toma de decisiones. Apple, Google y Tesla son las empresas americanas que más han apostado por este tipo de investigaciones.



- El proyecto Titan desarrollado por Apple, en colaboración con Volkswagen, dispone actualmente de 62 vehículos y 87 conductores, con los que se realizan pruebas por California. Apple se ha centrado en desarrollar un software de conducción autónoma, pero sus vehículos están dotados de sensores de otras empresas, estos incluyen seis sensores LIDAR fabricados por Velodyne, varias unidades de radar y varias cámaras. No hay confirmación por parte de la empresa, pero se prevé que podamos ver iCar a partir de 2020.
- Tesla es una compañía estadounidense con sede en Silicon Valley, California, que comercializa, entre otros productos, cuatro modelos de vehículos 100% eléctricos y autónomos, entre ellos, el coche que dispone actualmente del record de aceleración, autonomía y rendimiento, en la tabla adjunta describimos las especificaciones de este vehículo, el Tesla Roadster.

Aceleración 0-100 km/h	2.1 segundos
Velocidad máxima	400 km/h
Par	10000 Nm
Autonomía	1000 km
Tracción	A las cuatro ruedas



Figura 16 – Tesla Roadster

- Waymo es el proyecto de Google que ya ha recorrido más de ocho millones de kilómetros desde que se fundó en 2009 bajo el nombre de Google self-driving car Project. Actualmente disponen de más de 60.000 vehículos y preveen añadir 20.000 unidades más hasta 2020. Cabe destacar que Google no sólo está trabajando con coches, también lo está haciendo con vehículos de grandes dimensiones, como camiones. Además, Waymo está preparando un servicio de transporte privado sin conductor en Phoenix, Arizona

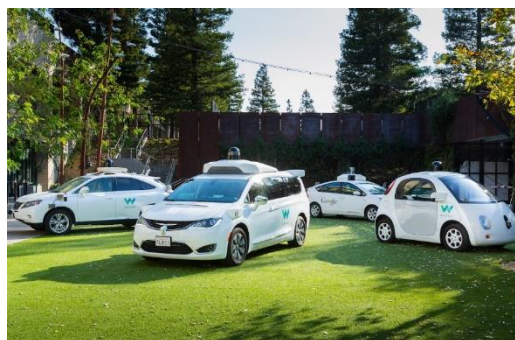


Figura 17 – Coches Waymo



Figura 18 – Camión Waymo

En [este enlace](#) podemos disfrutar de una experiencia 360º gracias a Waymo.

Las empresas citadas buscan fabricar y comercializar vehículos autónomos o altamente automatizados. Para que esto sea posible es necesario que haya grupos y proyectos de investigación externos a ellas. A continuación, se hablará acerca de algunos de los grupos y proyectos más relevantes en cuanto a investigación sobre vehículos automatizados.

4.1. Centro de Investigación del grupo FCA

El Centro de Investigación del grupo FCA – CRF (Centro Recherche FIAT) se creó en 1976 con tres objetivos primordiales:

- Desarrollar unidades de energía innovadoras, sistemas de vehículos, materiales, métodos y procesos para mejorar la competitividad de los productos del grupo FCA.
- Representar a FCA como parte de la investigación colaborativa europea y nacional, promoviendo así el desarrollo de una red de contactos y asociaciones a escala internacional.
- Apoyar al grupo FCA en la mejora del valor de su capital intangible.

Tras los más de cuarenta años de este grupo de investigación, se han conseguido mantener relaciones de colaboración con más de 150 universidades y otros centros de investigación a nivel mundial.

Sus principales actividades son investigación y desarrollo de tecnologías para motores y componentes, movilidad verde, investigación para la movilidad segura, óptica, telemática, nuevos materiales, microtecnología y tecnologías de producción. Desde 1976 ha patentado más de 2300 innovaciones, además de las 600 patentes que actualmente están en trámites de aprobación.

Cabe destacar el proyecto iniciado en 1994 y denominado AUTONOMY.

4.1.1. AUTONOMY

El proyecto AUTONOMY fue iniciado en 1994 y ha buscado desde entonces mejorar la conducción de personas con alguna discapacidad motriz, sensorial o intelectual. Este programa incluye desde la evaluación de la capacidad de conducción de personas con necesidades especiales hasta la adaptación total del vehículo, ofreciendo servicios de asesoría de ayudas gubernamentales.

AUTONOMY ha presentado estudios que serán de gran utilidad para el futuro de personas con discapacidad y para los técnicos involucrados en el proceso de la evaluación de conductores den Centros de Reconocimiento. Entre los resultados presentados destaca:

- La creación de un nuevo sistema que relaciona las discapacidades y ayudas técnicas, facilitando así la toma de decisión de los expertos.
- El conocimiento de las necesidades de movilidad, fuerza y desplazamiento para la conducción de vehículos adaptados.
- El desarrollo de un proceso sistematizado de evaluación de la discapacidad y de la aptitud para la conducción.

- La elaboración de un plan de formación para todos los facultativos y técnicos involucrados en el proceso (Centros de Reconocimiento, administración sanitaria y administración de tráfico).

4.2. IMARA

El grupo IMARA, cuyas siglas significan Informatique, Mathématiques et Automatique pour la Route Automatisée, traducido como Informática, Matemáticas y Automática para la Automatización de las Carreteras, forma parte de INRIA, cuyas siglas significan Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, lleva más de 20 años investigando acerca de Sistemas Inteligentes de Transporte.

El objetivo principal de este grupo de investigación es mejorar el transporte por carretera en términos de seguridad, eficiencia y comodidad. Para lograr este fin, IMARA dispone de importantes recursos, como una gran gran flota de vehículos con multitud de sensores, de métodos de cálculo y de simulación. Además, se ha instalado en Rocquencourt un sistema experimental basado en vehículos urbanos totalmente automatizados.

IMARA está organizado en tres ejes de investigación, cada uno de los cuales está dirigido por un sub-equipo. El primer eje aborda el problema tradicional de la guía del vehículo y la navegación autónoma. El segundo eje se centra en la implementación a gran escala y el análisis y modelado de tráfico. El tercer eje aborda el problema de las telecomunicaciones desde dos puntos de vista:

- Técnico: diseño de arquitecturas certificadas que permiten comunicaciones seguras de vehículo a vehículo (V2V) y de vehículo a infraestructuras (V2I), obedeciendo a estándares y normas;
- Fundamental: diseño y desarrollo de arquitecturas apropiadas capaces de manejar problemas en redes vehiculares altamente dinámicas y vehículos de alta velocidad.

Por supuesto, estos tres sub-equipos de investigación interactúan para construir sistemas inteligentes de movilidad cooperativa.

Los proyectos más relevantes del grupo IMARA son LaRA, Cybercars y CRISTAL.

4.2.1. LaRA

“La Route Automatisée”, traducido como carreteras automatizadas y conocido como LaRA, es un proyecto francés que busca analizar la seguridad del transporte, tanto actual como futura.

Este proyecto tiene cuatro grandes aplicaciones, la primera es para casos de carreteras locales, rurales e interurbanas, la segunda se centra en las redes de carreteras en torno a las grandes ciudades, y las dos últimas son aplicaciones de vehículos automatizados a baja velocidad.

La idea básica de este proyecto es la comunicación entre vehículos, conocida como ya hemos citado anteriormente como V2V. Se basa en la existencia de un vehículo no automatizado, conducido por una persona, al que gracias a este tipo de comunicaciones los demás vehículos van a ser capaces de seguir. Esto supone que los vehículos autónomos no necesitarían una nueva infraestructura, lo cual supone su mayor ventaja.

Este proyecto lleva en pie desde 1994 y tiene prototipos para circuitos cerrados como parques temáticos o cascos históricos de ciudades.

4.2.2. Cybercars, Cybercars-2 y Cybercars-3

IMARA ha desarrollado una serie de proyectos denominados Cybercars, pensando que a corto plazo, circularán por ciudades y carreteras unidades de transporte cibernético basadas en vehículos completamente autónomos.

El proyecto Cybercars-2 ha sido orientado al estudio de la cooperación entre vehículos. Esta cooperación está basada en comunicaciones de corto alcance entre vehículos autónomos y vehículos conducidos por personas. Han sido de gran relevancia los logros alcanzados por este proyecto ya que se ha desarrollado una arquitectura de control de vehículos autónomos [Naranjo, J. E. 09] que mediante un sistema de comunicaciones eran capaces de implementar maniobras cooperativas entre tres vehículos completamente automáticos.

El último proyecto de esta serie es Cybercars-3, y su objetivo principal es el análisis del desempeño de vehículos eléctricos altamente automatizados para zonas de gran congestión de tráfico.



Figura 19 - Cybercars

4.2.3. CRISTAL

Actualmente, el grupo de investigación IMARA está trabajando en el proyecto CRISTAL, por este motivo, no han desvelado casi ninguna información sobre él.

Se sabe que este proyecto está enfocado al transporte público. Su objetivo es crear un autobús eléctrico guiado por un conductor humano al que le siguen varios autobuses automatizados que imitan el comportamiento del primero.

La base de este proyecto es similar a la general del proyecto LaRA, pero tiene la dificultad añadida del tamaño de los vehículos.

4.3. INSIA

La universidad politécnica de Madrid (UPM) dispone de un centro de investigación sobre vehículos automatizados, este se conoce como INSIA, cuyas siglas significan Instituto Universitario de Investigación del Automóvil. Está adscrito a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) y está ubicado dentro del parque científico y tecnológico de la Universidad Politécnica de Madrid.

INSIA fue el primer centro de investigación en el ámbito de los automóviles en España, y naturalmente, en el ámbito universitario español. A fecha de hoy, representa uno de los centros de I+D+I de referencia en el sector de automoción en España.

Actualmente INSIA dispone de diferentes líneas de investigación, referidas a la biomecánica, a la seguridad en el transporte colectivo, a estudios de transporte, a sistemas inteligentes, a sistemas alternativos de propulsión, a la seguridad en el transporte de mercancías y a la mecánica computacional.

La investigación relativa a los sistemas inteligentes está centrada en los sistemas ADAS y en la conducción autónoma cooperativa. Sus objetivos se pueden resumir en los siguientes puntos:



- Profundizar en la conducción autónoma cooperativa.
- Desarrollar y probar sistemas ADAS, enfocando la investigación hacia los sistemas de control de velocidad y sistemas de reconocimiento del exterior.
- Desarrollar soluciones de asistencia al conductor basadas en la automatización de los mandos de los vehículos.
- Introducir tecnologías de comunicación en los sistemas anteriores con el fin de ampliar la información al conductor y el “horizonte electrónico” a partir del posicionamiento del vehículo en mapas electrónicos.
- Desarrollar nuevas arquitecturas de automatización de alto y bajo nivel para aplicaciones y servicios diversos.
- Desplegar servicios cooperativos en escenarios reales.
- Analizar la adecuación de los interfaces con el usuario de estos sistemas.

Este grupo de investigación dispone de diferentes proyectos, los cuales detallamos a continuación.

4.3.1. ADAS ROAD

El título de este proyecto es: “Sistema avanzado de asistencia a la conducción para entornos interurbanos”, aunque comúnmente es conocido como ADAS ROAD. Es un proyecto que fue iniciado en 2014 y se concluyó dos años más tarde, es decir, en 2016.

En este proyecto se ha incidido sobre dos aspectos que fueron identificados como clave para el sector de la automoción: seguridad y eficiencia. Para ello, se ha desarrollado un ADAS para entornos interurbanos, principalmente carreteras convencionales, aunque también, para infraestructuras menos preparadas y de

mayor complejidad. El sistema está dotado con las más avanzadas técnicas de percepción sensorial y con comunicaciones tanto entre vehículos (V2V), como con la infraestructura (V2I).

ADAS ROAD ha desarrollado una arquitectura de fusión sensorial para garantizar el procesamiento de la información. Dicha arquitectura está basada, entre otros, en visión por computador y tecnología láser, esto permite tanto la detección y clasificación en tiempo real de los obstáculos presentes en la vía, como la identificación de los potenciales riesgos. A su vez, se ha planteado un sistema de comunicación multimodal V2V y V2I basado en GeoNetworking, que facilita el flujo de información entre vehículos y colabora en la etapa la detección y retransmisión. Todo ello, junto con tecnologías de posicionamiento del vehículo basadas en mapas digitales, ha permitido establecer los algoritmos de decisión de los diferentes sistemas ADAS considerados.

Con el fin de obtener un transporte por carretera más seguro y eficiente, este proyecto ha buscado enfocarse en escenarios concretos dentro de la circulación por carreteras convencionales, y aunque asume la particular problemática de éstas, se ha dado un enfoque novedoso a los sistemas ADAS convencionales en el panorama internacional, ya que usualmente los sistemas convencionales de ADAS están vinculados a entornos más controlados, o a velocidades de circulación inferiores. Esto supone un reto de transporte inteligente, ecológico e integrado dentro de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación para el programa del trabajo Horizonte 2020.

Las distintas aplicaciones desarrolladas incluyen:

- Sistema de asistencia al adelantamiento en vías convencionales. Este sistema analiza el tramo idóneo para adelantar y la evolución más adecuada de la velocidad.



- Asistencia en intersecciones, con control de la velocidad durante la aproximación.
- Control de cruce adaptativo, con optimización del consumo y un sistema para evitar colisiones y atropellos, con posibilidad de realizar maniobras de esquiwa. Para ello, se han empleado modelos matemáticos de dinámica vehicular que garantizan la estabilidad del vehículo, modelos de la cadena de propulsión para establecer patrones de comportamiento eficientes, Inteligencia Artificial y entornos de simulación para circulación por carretera, que han permitido la experimentación y evaluación de los procesos implementados en la unidad de control.

Como resultados del proyecto se presentaron los siguientes puntos:

- Percepción

Se ha completado la definición, análisis y diseño del sistema de percepción y se ha trabajado tanto en el desarrollo de módulos de percepción del entorno viario como en la implementación de la arquitectura de fusión sensorial que permita detectar y estimar el movimiento de los obstáculos (coches, motos, ciclistas, peatones, etc.) de forma fiable y robusta.

Atendiendo a los resultados obtenidos con los diferentes sistemas de percepción, se ha definido un sistema basado fundamentalmente en visión por computador y tecnología láser para realizar el modelado de la carretera, identificar los posibles obstáculos, así como las zonas libres. De igual forma, la identificación de zonas libres utilizando un mapa digital detallado de la carretera complementa la información de ésta que pueda extraerse del propio sistema de percepción.



Los algoritmos de fusión sensorial integran la información obtenida por el sistema con la proporcionada por medio de otras vías, como las comunicaciones intervehiculares.

- Comunicaciones V2V

Se ha trabajado en la implementación de los algoritmos de GeoNetworking en plataformas IEEE 802.11p. y se ha desarrollado la mensajería de comunicaciones necesaria para dar soporte a los sistemas cooperativos.

Se han realizado pruebas del nuevo módulo de comunicaciones ITS-INSIA que se basa en el estándar Europeo ETSI-TS102 6X y ofrece nuevas funcionalidades, tales como conectividad nativa GPS, Bluetooth, WiFi o Bus CAN. Además, para asegurar la compatibilidad del módulo con otros fabricantes, se ha implementado el estándar de GeoNetworking sobre ETSI-TS1026X y su extensión sobre prototipos IEEE 802.11p. Las pruebas se han realizado en entornos controlados en pista y carretera, incluyendo otros vehículos, peatones, motoristas y ciclistas, y se han implantado los servicios cooperativos, ya integrados con el sistema de percepción.

También se han implantado las comunicaciones entre un servidor y dispositivos móviles embarcados.

- Modelos matemáticos

Se ha completado el estudio de dinámica vehicular, así como el diseño de los modelos y algoritmos para conducción eco-eficiente.

Así, por un lado, se han definido las maniobras de esquivas estables que se ajusten a un comportamiento intuitivo y seguro, que deban ser



implementadas por el vehículo autónomo en caso de tener que realizar una maniobra de esquivada.

Además, haciendo uso de Programación Dinámica, se han desarrollado algoritmos para el cálculo de perfiles de velocidad para optimizar el consumo atendiendo al vehículo, la geometría de la carretera y las condiciones de circulación. Se han realizado pruebas sobre escenarios reales con ahorros significativos en el consumo sin incidir en el tiempo de viaje.

- Entorno de simulación

Se ha completado la definición, análisis y diseño de la plataforma de simulación, y se ha desarrollado la plataforma de experimentación y de la unidad de control inteligente en la plataforma de experimentación. Se han identificado 2 rutas de carreteras convencionales en los alrededores de Madrid, cuyas características orográficas y del entorno hacen que los sistemas desarrollados puedan tener un alto potencial para mejorar la seguridad. Trabajando a partir de coordenadas GPS y vídeos, se ha logrado reproducir los trayectos reales por los que circulan las dos plataformas de experimentación

- Unidad de control

Dentro de este objetivo se ha implementado la unidad de control con los algoritmos que permiten la gestión del sistema integrado de asistencia a la conducción (ADAS) para entornos interurbanos, planteado como objetivo principal del proyecto coordinado, orientado a mejorar tanto la seguridad como la eficiencia, a través del desarrollo de una serie de aplicaciones concretas. En concreto, se han implementado los siguientes sistemas de control autónomo o semi-autónomo del vehículo:

control de cruce adaptativo, sistema de asistencia al adelantamiento, asistencia en intersecciones y sistema para evitar colisiones

4.3.2. AUTOCITS

Este proyecto, conocido como AUTOCITS, es un estudio de reglamentación para la adopción de la conducción autónoma. El proyecto lleva en pie desde Septiembre de 2016 y aunque se preveía que finalizase en Diciembre de 2018, los ensayos se han extendido hasta 2021.

Sus principales objetivos son contribuir al desarrollo de los ITS en Europa mediante la mejora de la interoperabilidad de vehículos autónomos y fomentar el impulso del papel de estos como catalizador de la conducción autónoma.

Además de estos objetivos, se han presentado otros subobjetivos, los cuales citamos a continuación aunque se consideren menos relevantes.

- Despliegue de tres proyectos pilotos con aplicaciones de vehículos autónomos en España, Francia y Portugal.
- Probar y evaluar los sistemas ITS para vehículos autónomos bajo la regulación de tráfico aplicable y estudiar su extrapolación a otros países europeos para así contribuir a la plataforma C-ITS y otras organizaciones de estándares europeos.
- Cooperar con otras iniciativas actuales a gran escala a través del estudio de la regulación actual para la circulación autónoma de vehículos en nodos urbanos.
- Realizar un estudio sobre las reglas de vehículos autónomos dirigidos principalmente a nodos urbanos conectados a la red principal de transporte.

Los proyectos piloto se han implementado en tres grandes nodos urbanos, Lisboa, Madrid y Paris, y se han probado en áreas abiertas y cerradas al tráfico para comprobar la aplicación de las normas de circulación vial.

4.3.3. RETEVI

Red Temática en Vehículos Inteligentes, RETEVI, es un proyecto de INSIA que se desarrolló entre principios de 2016 y finales de 2017.

El propósito de RETEVI es conformar un marco de actuación conjunta que promueva la organización de eventos técnicos y divulgativos, la redacción de monografías científicas o la participación en foros nacionales o internacionales de forma coordinada.

Están involucrados, además de otros equipos de la UPM, grupos de la Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Alcalá, CSIC, Universidad Politécnica de Cartagena, Centro de Visión por Computador de la Universidad Autónoma de Barcelona, TECNALIA, CEIT, CTAG, Universidad de la Laguna, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Universidad Rey Juan Carlos, Universidad Complutense de Madrid y Universidad Europea de Madrid. Esta pluralidad de socios permite que estén presentes los principales enfoques y herramientas tecnológicas que, en la actualidad, están siendo punteras en la investigación en ITS, como los vehículos autónomos, las comunicaciones intervehiculares, los servicios cooperativos y la sensorización de vehículos

Este proyecto está siendo financiado por MINECO. Acciones de dinamización “Redes de Excelencia”, del Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia



4.3.4. AVESE

Aviso en tiempo real de velocidad segura, AVESE, es un proyecto que desarrolla y analiza el impacto según el tipo de vehículo y las condiciones de la carretera mediante teléfonos móviles.

Este proyecto lleva a cabo el desarrollo y el análisis del impacto de un sistema que avisaría al conductor sobre cuál sería la velocidad segura en cada tramo de la carretera, según diferentes parámetros, como la geometría de la carretera (radio, peralte, curvas de transición, perfil en alzado), sus condiciones (presencia de retenciones), las condiciones meteorológicas (nivel de adherencia), el tipo de vehículo (turismo, furgoneta, vehículo industrial, autobús, cisterna) y sus condiciones de marcha (carga). Este sistema está basado en una aplicación sobre teléfono móvil y comprende los siguientes aspectos:

- Conocimiento de la posición por medio del receptor GPS del smartphone
- Acceso por medio de comunicaciones inalámbricas a la información del bus CAN del vehículo (velocidad de las ruedas, sensor de luminosidad y de lluvia, activación del limpiaparabrisas y luz antiniebla, etc).
- Introducción de datos del vehículo como nivel de carga por parte del conductor mediante un interfaz de usuario del smartphone antes de iniciar la marcha.
- Acceso por medio de internet a un servidor centralizado con información sobre la carretera en ese tramo y tramos siguientes de la ruta (geometría precisa, condiciones del tráfico, condiciones de la calzada, etc)
- Cálculo embarcado de la velocidad segura de circulación y recomendaciones anticipadas de dicha velocidad en el siguiente tramo, sugiriendo conductas seguras de deceleración si fuese necesario.

De esta forma, el sistema tiene información en tiempo real del tipo de vehículo, de los factores principales que pueden afectar a su dinámica (carga), de la geometría de la carretera en tramos siguientes y las condiciones de la calzada (nivel de tráfico obtenido del servidor y condiciones meteorológicas obtenidas desde el servidor o desde la información de los sistemas de vehículo). Con esta información, se establece la velocidad segura en el siguiente tramo de la carretera a partir de la ejecución de un modelo matemático de dinámica vehicular que contemple condiciones como la adherencia utilizada, la distancia de parada y la aceleración lateral del vehículo como criterios objetivos. Como información al usuario, se le proporciona desde el smartphone la velocidad segura en el tramo en el que se encuentra y en el siguiente, sugiriendo niveles de deceleración con anticipación si fuese necesaria la adecuación de la velocidad.

Como resultado del proyecto, este prototipo de sistema ha sido materializado e implementado en varios vehículos, montando además un servidor de información externo a él. El sistema se ha probado con diversos conductores y se ha analizado su respuesta ante los avisos y su grado de satisfacción y cumplimiento con los límites fijados. También se ha llevado a cabo el análisis del impacto en el nivel de atención que requiere recibir la información del sistema respecto a la demandada por los paneles de información variable actuales, procediendo al diseño de interfaces de usuario alternativos para minimizar sus efectos negativos sobre la atención del conductor en la carretera.

4.3.5. SEGVAUTO-TRIES-CM

SEGVAUTO-TRIES es el acrónimo del programa científico de actividades SEGURidad de los Vehículos AUTOmóviles, por un TRansporte Inteligente, Eficiente y Seguro. Aunque principalmente fue desarrollado entre 2009 y 2016 por INSIA, han participado ocho grupos de investigación de la comunidad de Madrid, cinco laboratorios integrados en la REDLAB de la CM, cuatro grupos asociados y más de treinta y cinco empresas.

Su objetivo principal ha sido el desarrollo conjunto de actividades de investigación, innovación y formación de investigadores en el ámbito de los ITS mediante el desarrollo coordinado y entrelazado de actividades en tres disciplinas científicas:

- Sistemas inteligentes de transporte, ITS
- Transporte sostenible y Eficiente, EST
- Seguridad, SEG

Más concretamente, el proyecto tuvo ocho objetivos principales o líneas de investigación:

1. Desarrollo de vehículos y sistemas de propulsión alternativos para una movilidad sostenible y eficiente.
2. Evaluación de los impactos medioambientales de vehículos, flotas y parque, incluyendo análisis del ciclo de vida.
3. Tecnologías para la mejora del transporte colectivo de personas en ámbito urbano e interurbano: sostenibilidad, accesibilidad y seguridad.
4. Sistemas Inteligentes en Vehículos.
5. Sistemas Inteligentes para la Movilidad Sostenible
6. Sistemas Cooperativos y Comunicaciones V2V, V2I y V2P.
7. Evaluación de los efectos sobre los accidentes y la seguridad (accidentes y víctimas) de los sistemas inteligentes y de protección de ocupantes y oponentes.
8. Adaptación de los elementos de la infraestructura para captación eficaz de S.I. embarcados y mejora de la percepción por parte de los usuarios.

En la figura 20 podemos ver dónde se encuadrarían estos objetivos según las tres disciplinas científicas de las que hemos hablado.

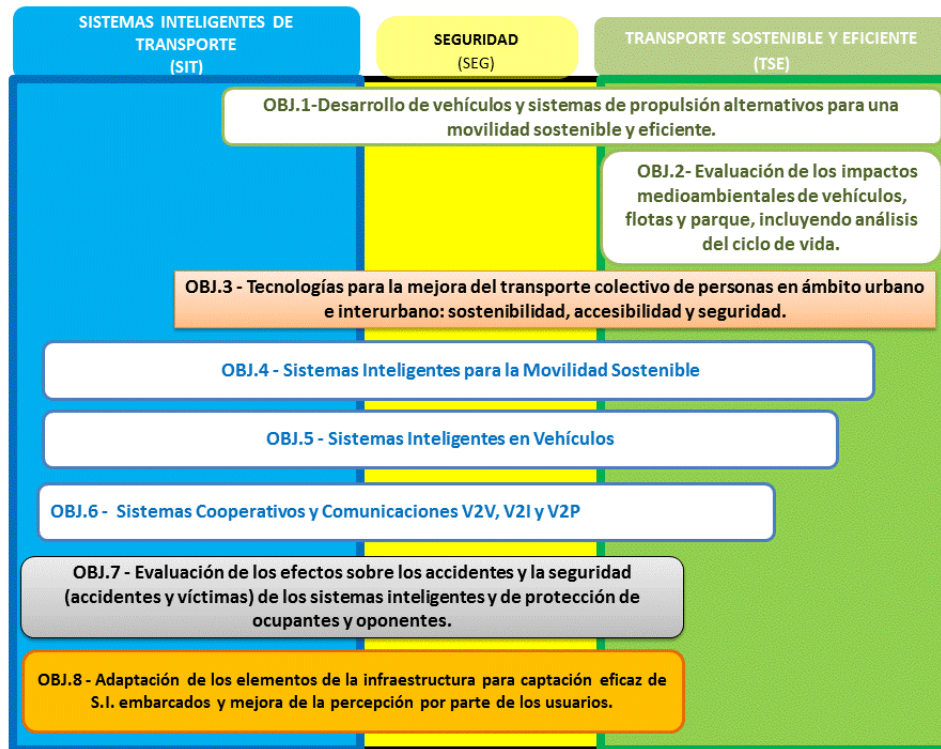


Figura 20 - Objetivos SERGVAUTO

4.3.6. SAMPLER

Sistema de Activación de medidas Pre-Colisión para Evitar Accidentes en Entornos Urbanos, SAMPLER, fue un proyecto de la Universidad Politécnica de Madrid, concretamente del grupo de investigación INSIA y su desarrollo tuvo lugar en el periodo comprendido entre 2011 y 2013.

El proyecto SAMPLER ha desarrollado un sistema de detección de obstáculos que permite detectarlos de forma fiable, para así poder realizar las maniobras necesarias de forma autónoma para evitar colisiones.

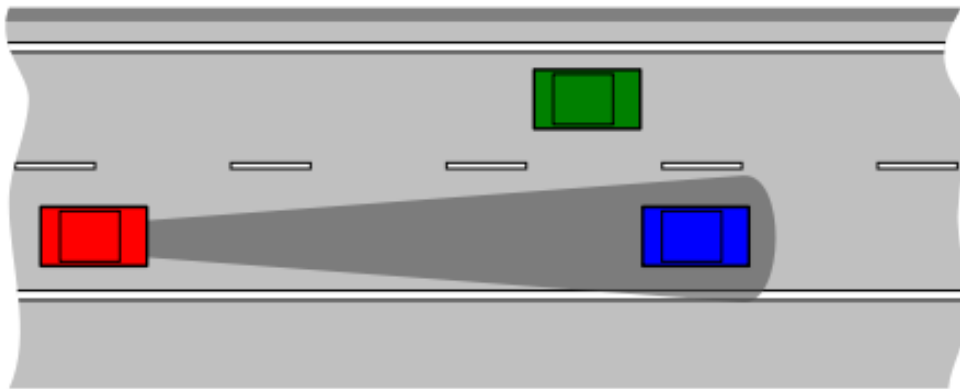


Figura 21 – Sistema detección obstáculos Proyecto SAMPLER

Para lograr el correcto desarrollo de dicho sistema, ha sido necesario que fueran capaces de enjuiciar de forma coherente las situaciones que conllevaban riesgo, evitando así falsas alarmas que llevaban a acciones incorrectas y perturbadoras para el tráfico, las cuales hacían perder la confianza en el sistema del conductor. Por ello, se plantearon algoritmos que mejoraban los ya existentes para la detección, identificación y caracterización de obstáculos por medio de la información proporcionada por un láser. En concreto, las aportaciones más relevantes son:

- La fusión de la información del láser con un sistema de posicionamiento, teniendo en cuenta la calidad de éste último.



- Los criterios para la localización de obstáculos (proceso de segmentación), superando las limitaciones de otros enfoques que obvian la influencia de la orientación del obstáculo.
- El método de definir los ejes característicos de los obstáculos, sin recurrir a valores de tolerancias difícilmente ajustables o reduciendo la influencia de errores en las mediciones de distancias del láser. Estos algoritmos han sido probados empleando un láser Sick LRS 1000 de largo alcance, alcanzándose resultados satisfactorios que mejoran los proporcionados por otros métodos.

Además, el proyecto ha desarrollado un sistema de control de bajo nivel que actúa sobre los mandos del vehículo. Esta automatización incluye el control de la velocidad, a través de acciones sobre el acelerador, el freno y la dirección. SAMPLER persiguió que la respuesta del sistema se aproximase, en la medida de lo posible, a la respuesta esperable de un conductor, lo cual se consiguió por medio de controladores borrosos de los actuadores.

El diseño de la automatización les implicó tanto el uso de equipos comerciales de control como el diseño de elementos electrónicos y mecánicos. El sistema de control que desarrollaron, recibe las señales de consigna de un sistema externo de más alto nivel, aunque también recoge las medidas de posición del volante y velocidad del vehículo. Por otra parte, el sistema actúa sobre pedales y volante mediante señales que son distribuidas desde una tarjeta de adquisición a los diferentes componentes del sistema. Por último, se estableció un sistema de seguridad de frenada de emergencia mediante un control remoto. Con el diseño desarrollado, se logró el control de los mandos del vehículo, permitiendo así una respuesta rápida casi en cualquier circunstancia de conducción.

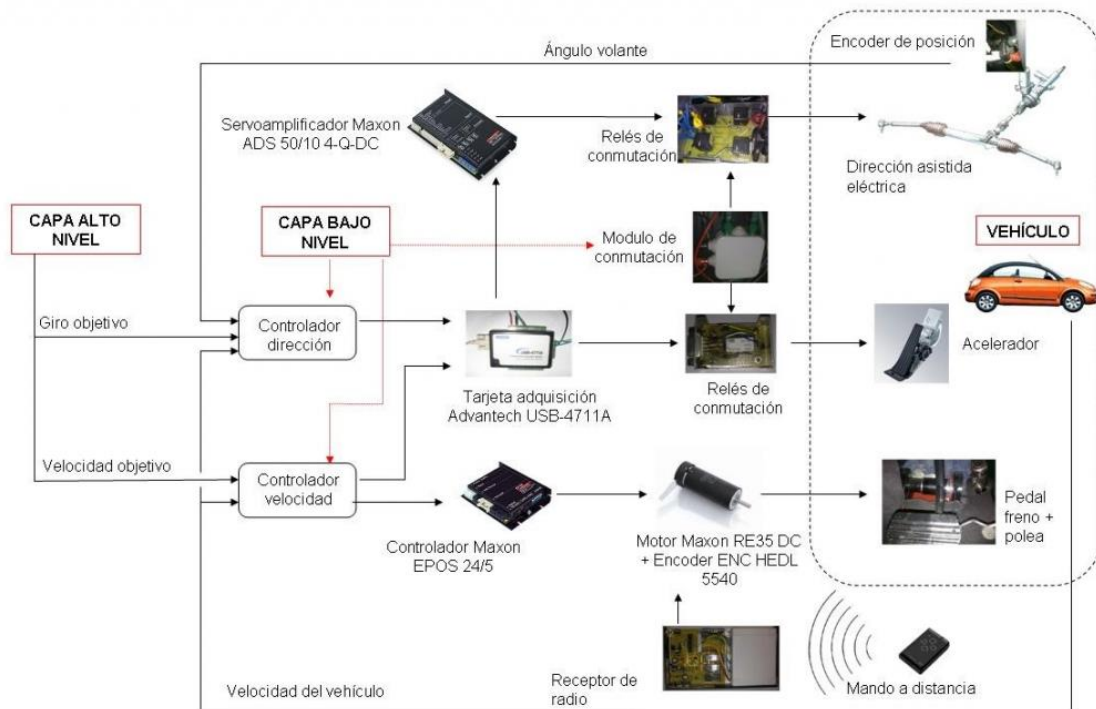


Figura 22 – Control por capas vehículo

4.4. Ministerio de Transporte de Japón

Este ministerio busca regular la seguridad en la industria del automóvil. Su proyecto más ambicioso es el Advanced Safety Vehicle (ASV) [Sugasawa, F. 96], gracias al cual todos los fabricantes japoneses de automóviles han desarrollado técnicas para mejorar la seguridad, como sistemas ITS de advertencia y ayuda, tales como airbags externos para proteger peatones o parabrisas que repelen el agua. Es importante destacar que aunque el ministerio dirija y coordine estos proyectos, la financiación es íntegra de las compañías.

Actualmente, la clasificación ASV++ que prueba la seguridad preventiva, ha sido obtenida por cuatro modelos, dos Toyota y dos Lexus, los cuales podemos ver en la figura 23. Estos modelos están equipados con Toyota Safety Sense P o Lexus Safety System+.



Figura 23 - Vehículos con clasificación ASV++

4.5. Programa AUTOPIA

El programa AUTOPIA se desarrolla en el Centro de Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CAR, UPM-CSIC).

El programa AUTOPIA se creó hace 15 años con la intención de mitigar las limitaciones potenciales de una conducción totalmente autónoma mediante el uso del control compartido entre humanos y máquinas y la cooperación con otros agentes viales.

AUTOPIA tiene una sólida experiencia en la provisión de inteligencia a sistemas de vehículos automatizados en situaciones específicas donde las habilidades de comunicación e interacción pueden permitir resolver dilemas de decisión-comprensión de autos aislados que conducen. El grupo tiene un interés creciente en las arquitecturas de toma de decisiones donde las intenciones y habilidades del conductor se pueden adoptar en diferentes niveles de asistencia

(desde SAE L2 a L4). En este sentido, la influencia de la percepción, la localización y el mapeo en la toma de decisiones y las interacciones viales son preguntas clave de investigación que articulan la actividad científica de AUTOPIA.

El grupo tiene un registro en papel muy importante en publicaciones altamente calificadas y ha participado en varios proyectos nacionales y europeos en el campo. Además, tenemos a nuestra disposición una flota de 5 vehículos automatizados y un circuito de prueba diseñado como un área del centro de la ciudad, con una combinación de segmentos de carretera recta, curvas, 90 cruces y una rotonda. Además, un sistema de regulación del semáforo y las redes de sensores RFID / Zigbee hacen de sus instalaciones un terreno de prueba excelente para validar y demostrar nuevas soluciones para los temas más desafiantes de conducción conectada y automática.

4.5.1. Flota de vehículos

Actualmente, el programa AUTOPIA dispone de una flota de seis vehículos.

- Furgonetas

Dos furgonetas Citroën Berlingo de propulsión eléctrica adquiridas para los proyectos COVAN y GLOBO, las cuales se pueden observar en la figura 24.

Son los primeros vehículos instrumentados en el programa AUTOPIA.

Disponen de motores eléctricos de 15kW, con los que pueden alcanzar velocidades de hasta 90km/h.



Figura 24 – COVAN y GLOBO, furgonetas del programa AUTOPIA

- Vehículos a gasolina

El programa dispone de dos vehículos Citroën C3 con motor de gasolina.

Con ellos se han realizado pruebas de conducción, la primera de ellas fue entre Arganda del Rey y El Escorial, donde el vehículo circuló de forma autónoma un total de 100km, con una velocidad media de 60km/h, aunque tuvo velocidades punta superiores a los 100km/h. En las figuras 25 y 26 podemos ver dos instantáneas realizadas durante el experimento.



Figura 25 – Citroën C3 fotografía 1



Figura 26 – Citroén C3 fotografía 2

- Autobús eléctrico

Con la finalidad de extrapolar las técnicas de conducción autónoma a los servicios de transporte público, el proyecto AUTOPIA ha comprado el minibús que podemos ver en la figura 27. Actualmente se encuentra en la primera fase de automatización.



Figura 27 – Autobús eléctrico programa AUTOPIA

- Vehículo híbrido

La última adquisición del programa es el Ds3 que vemos en la figura 28. Todavía no se ha hecho pública ningún tipo de información acerca de este vehículo.



Figura 28 – Vehículo híbrido programa AUTOPÍA

4.5.2. Proyectos

El programa ha tenido diversos proyectos, en este trabajo de fin de grado hablaremos acerca de los dos últimos.

4.5.2.1. TCAP – Auto

Este proyecto fue iniciado en 2015 y se dio por concluido el pasado año 2017. TCAP – Auto tuvo como objetivo desarrollar un conjunto de herramientas para implementar, combinar, integrar y validar diferentes funciones de la de sistemas ADAS y compartirlas a su vez con otros vehículos gracias a la comunicación V2V.

El vehículo híbrido del que hablamos anteriormente fue el utilizado en este proyecto.

4.5.2.2. loSense

Este proyecto se inició de forma simultánea al anterior pero aún no ha finalizado.

El objetivo de loSense es impulsar la competitividad europea de las industrias de ECS, Enhanced Chip Set, aumentando la capacidad de producción piloto y mejorando el tiempo de producción para microelectrónica, logrando establecer tres líneas piloto de semiconductores completamente conectadas en Europa. Gracias a esto, se ha conseguido comercializar nuevos sistemas de sensores en menos de un año.

Como resultado, la fabricación de semiconductores recibirá un nuevo impulso en Europa, permitiendo a la industria soluciones competitivas, asegurando el empleo y brindando respuestas a los próximos desafíos de vehículos automatizados.

4.6. Universidad de Alcalá – Robesafe

Los sistemas de percepción aplicada a la robótica móvil y a la seguridad en las vías son el principal enfoque del proyecto Robesafe de la Universidad de Alcalá, Madrid.

Gracias a proyectos conjuntos y a la proximidad geográfica, este grupo ha colaborado estrechamente con el programa AUTOPÍA desde 2001.

Con el fin de mejorar la seguridad del tráfico han desarrollado diferentes aplicaciones tecnológicas, conocidas generalmente como eSafety. Además, llevan a cabo una exhaustiva investigación en el campo de la seguridad y en el de ADAS con el objetivo de transferir los resultados de su tecnología a las industrias automotriz y de mantenimiento de carreteras.

4.6.1. e-Safety

La universidad de Alcalá forma parte de la iniciativa e-Safety. Dicha iniciativa busca promover el desarrollo, despliegue y utilización de sistemas inteligentes de seguridad en los vehículos, para de este modo mejorar la seguridad y reducir el número de accidentes en las carreteras.

Cabe destacar que es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea, la industria y otros organismos.

4.7. Universidad de Bundeswehr

La Universidad de Bundeswehr, Alemania, ha realizado varios proyectos de investigación, entre los cuales destaca el vehículo VaMoRs diseñado en 1986, el cual podemos ver en la figura 29. Este vehículo era capaz de circular de forma autónoma hasta velocidades de unos 100km/h y estaba dotado de sistemas de sensores y cámaras muy similares a los utilizados actualmente, salvando el hecho de que se tardaban varios segundos en procesar los datos, por lo que no era práctico para el uso diario. Actualmente el tiempo de procesamiento se ha reducido a nanosegundos. [Dickmanns, E.D. 93]



Figura 29 – Vehículo VaMoRs

Después del vehículo VaMoRs se desarrolló el VaMoRs-P, en el cual se dotó al vehículo de dos sistemas de visión estereoscópica, para que de esta manera fuera capaz de detectar obstáculos tanto delanteros como traseros.

Además de estos vehículos, la Universidad de Bundeswehr ha desarrollado otros proyectos.

4.7.1. VITA y VITA II

El proyecto VITA se desarrolló con la colaboración de Daimler-Benz, y consiguió desarrollar un vehículo con actuadores electromagnéticos y visión artificial para seguimiento de líneas, cambio de carril y detección de obstáculos.

Su proyecto sucesor fue VITA II, el cual se basó en reforzar el equipo informático de su predecesor, para así mejorar las tareas de visión, planificación y control, permitiendo así al vehículo realizar maniobras como mantenerse en el carril a la velocidad deseada, reducir la velocidad cuando la situación lo requiera o detectar objetos en el entorno del vehículo para así evitar colisiones.

4.7.2. VaMP

El proyecto VaMP fue un trabajo realizado conjuntamente por la Universidad de Bundeswehr y Ruhr-Universität Bochum. Dicho proyecto tenía como objetivo conducir de forma autónoma un Mercedes clase S en entornos urbanos, para ello, se dotó al vehículo de 18 cámaras, buscando el reconocimiento de obstáculos, líneas del carril y señales de tráfico.

Este vehículo circuló desde Munich, Alemania, hasta Copenhague, Dinamarca, de forma autónoma. En el viaje, la intervención humana se limitó a 9 de los 1600 kilómetros, aunque sólo recorrió 160 kilómetros consecutivos sin intervenciones. Durante este trayecto el vehículo alcanzó los 180km/h en la Autobahn, e incluso adelantó a otros vehículos.

En 2006 se dio por finalizada la investigación. Desde entonces, el vehículo está en el Museo de Tecnología de Alemania.

4.7.3. *MuCAR-3*

Desde la finalización del proyecto VaMP, la Universidad de Bundeswehr se ha embarcado en un nuevo proyecto, MuCAR-3, en el cual el Volkswagen Touareg que se ve en la figura 30 , es capaz, gracias a su instrumentación, de conducir de forma autónoma a través de una unidad central de toma de decisiones denominada BOSS [Bauermann, I].



Figura 30 –Volkswagen Touareg del Proyecto VaMP

4.8. *Universidad de California*

La universidad de California ha creado un grupo de investigación y desarrollo multidisciplinario, con personal formado por profesores y estudiantes de universidades de todo el mundo. Además ha creado proyectos cooperativos con la industria privada, agencias estatales y locales e instituciones sin fines de lucro.

Ha sido líder en investigación de sistemas de transporte inteligentes desde su fundación en 1986. Además, colabora con el Departamento de Transporte de

California (Caltrans), administrado por el Instituto de Estudios de Transporte de la universidad (ITS).

El objetivo de este grupo de investigación es el desarrollo de estrategias y tecnologías innovadoras en el campo de los ITS, con el fin de mejorar la seguridad, la flexibilidad, la movilidad y la administración de los ITS en el estado de California, para después extrapolarlo a todo el mundo.

A largo plazo se plantean la resolución de los problemas de tráfico mediante la automatización total o parcial de los vehículos. Su trabajo se centra en el establecimiento de vías cerradas para el uso exclusivo de vehículos autónomos. Su principal foco de atención está en las caravanas de vehículos autónomos (Platooning) [Sheikholeslam, S. 1992], principalmente en autopistas [Shlandover, S. E. 2007]. Todos estos temas se han desarrollado gracias al proyecto PATH.

4.8.1. PATH

Partners for Advance Transit and Highways, PATH es un Proyecto de la Universidad de California en colaboración con el Departamento de Transporte de California y el departamento de transporte de Estados Unidos.

El trabajo de investigación de este proyecto está dividido en tres grupos.

1. Toma de datos para conocer las necesidades reales en carretera de un vehículo autónomo.
2. Estudio de las tecnologías y servicios que podrían mejorar el transporte y a su vez, reducir el impacto ambiental.
3. Comunicaciones V2V e V2I.

El hito más destacable de este proyecto fue el acontecido en San Diego entre el 7 y el 10 de agosto de 1997, donde tuvo lugar la presentación de un convoy de ocho vehículos en la National Automated Highway Systems Consortium Technical

Feasibility Demonstration para mostrar la posibilidad de operar automóviles estándar poco separados bajo un sistema de control automático y preciso a velocidades elevadas. En la figura 31 podemos ver una fotografía de esta caravana.



Figura 31 – Caravana de vehículos con control automático

La demostración fue diseñada por investigadores del proyecto para mostrar que la automatización de vehículos puede reducir la congestión del tráfico. Esto se debe a que los vehículos se movieron a una distancia fija de 6.5m, independientemente de la velocidad. Además, cabe decir que al ser una distancia bastante reducida, se disminuye la resistencia aerodinámica, traduciéndose este hecho en un ahorro del combustible entre un 20 y un 25%.

4.9. Universidad de Carnegie Mellon

El grupo de investigación desarrollado por investigadores y estudiantes de la Universidad Carnegie Mellon, conocido como NavLab o Navigation Laboratory, ha trabajado desde 1984 en la implementación de sistemas para coches, camiones y autobuses con el objetivo de una conducción 100% autónoma

Este grupo ha desarrollado hasta la actualidad un total de once proyectos, denominados todos NavLab – número de la edición. Como son muchos proyectos a enumerar, siendo ínfimas las diferencias entre ellos, hablaremos sólo sobre los más relevantes.

4.9.1. NavLab – 1

El proyecto se realizó con una furgoneta Chevrolet, la cual estaba dotada en su interior seis racks con ordenadores, tres estaciones de trabajo Sun, hardware de video, un receptor GPS y un ordenador Warp.

NavLab 1 alcanzó una velocidad máxima de 32km/h.

4.9.2. NavLab – 2

Seis años después, en 1990, se consiguió superar dicha velocidad máxima, fijando el nuevo record en 88km/h.

En este caso se optó por un HMMWV, High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle, del ejército de EEUU ya que la potencia de su ordenador aumentó la capacidad del procesamiento de datos.

4.9.3. NavLab – 5

En 1995, este vehículo fue capaz de circular de forma autónoma desde Washington a California en el proyecto “No Hands Cross America”. El vehículo fue

capaz de controlar la dirección durante casi un 99% del recorrido, aunque la velocidad fue controlada de forma manual.

Un sistema GPS combinado con un giróscopo fueron los responsables de determinar la localización del vehículo, además, el sistema RALPH [Pomerleau, D. 95] proporcionó los datos de navegación y el sistema ALVINN [Krabbes, M. 97] los datos necesarios para mantener al vehículo dentro del carril.

Cabe destacar que el sistema era capaz de aprender las características más importantes de conducción observando a una persona circular durante 5 minutos.

En el año 2007 NavLab - 5 fue añadido al Salón de la Fama de los robots.

4.9.4. NavLab - 11

NavLab - 11 es el último proyecto de la Universidad de Carnegie Mellon.

En esta ocasión optaron por un Jeep Wrangler Sport del año 2000 que ya disponía de sistemas de antibloqueo en frenada, de una relación de par más elevada y de unos neumáticos de mayor tamaño que los vehículos empleados en proyectos anteriores. A mayores, se instalaron diferentes sensores en el vehículo.

- GPS - Trimble AgGPS 114. Figura 32.

Esta antena inteligente combina GPS de alto rendimiento y satélite con banda L (1-2 GHz).

Utiliza el servicio del sistema de aumento de área amplia, cuyas siglas en inglés son WAAS (Wide Area Augmentation System).

Es posible una operación de DGPS, GPS diferencial, en tiempo real.



- Giróscopos y magnetómetros - Crossbow VG400CA (DMU-HDX). Figura 33.

Giróscopo vertical con ángulo de inclinación variable para entornos dinámicos.

- Antena GPS de fecha y hora - Datum bc637CPCI. Figura 34.

Esta antena proporciona la fecha y la hora de forma precisa para los sistemas de adquisición de datos periféricos.

- Lector láser de proximidad - SICK LMS 221-30206. Figura 35.

El láser tiene un alcance máximo de 50m, resolución de 10mm, ángulo de exploración máximo de 180 grados y resolución angular de 0.5 grados.

- Cámara estereoscópica. Figuras 36 y 37.

Cámara con control remoto de 360 grados y sensor SONY EVI-330.

- LIDAR. Figuras 38, 39, 40 y 41.

Este sistema utiliza el láser y la cámara para detectar bordillos y obstáculos.



Figura 32 - GPS

Figura 33 – Giróscopos
y magnetómetros

Figura 34 – Antena GPS

Figura 35 - Lector
laser de proximidad

Figura 36 - Cámara



Figura 37 – Sensor

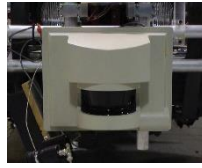


Figura 38 – LIDAR 1



Figura 39 – LIDAR 2

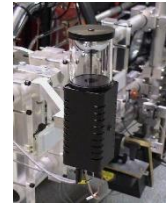


Figura 40 – LIDAR 3



Figura 41 – LIDAR 4

4.10. Universidad de Griffith

La Universidad de Griffith ha desarrollado junto con empresas privadas, el gobierno australiano y otras universidades un laboratorio para la investigación de ITS. Desde este laboratorio se investigan temas referentes a la cooperación entre vehículos autónomos, como por ejemplo en adelantamientos o en el control de la distancia al vehículo precedente en cruces. [Vlacic, L. 2011]. Además, están realizando experimentos con prototipos, el más destacado trata acerca de la confluencia de varios vehículos en un cruce, del cual han conseguido que salgan los vehículos de manera coordinada y sin colisionar entre ellos. Actualmente, trabajan junto al grupo IMARA para implementar sus algoritmos en el control de los cybercars.

4.11. Universidad de Parma – VisLab

El grupo VisLab, perteneciente a la empresa Ambarella es un grupo de investigación involucrado en el desarrollo de algoritmos de visión artificial para sistemas inteligentes de transporte en el sector automotriz.

VisLab realiza investigaciones en muchas disciplinas como visión artificial, reconocimiento de patrones, procesamiento de imágenes de bajo nivel, aprendizaje automático, inteligencia artificial, robótica y sistemas en tiempo real, aunque su objetivo principal es la investigación en el área de ITS y vehículos inteligentes.

El saber hacer de la compañía es reconocido a nivel mundial y ha sido desarrollado principalmente, junto con compañías automotrices, para mejorar los sistemas de seguridad activa y pasiva, los sistemas avanzados de asistencia al conductor, la percepción del entorno automotriz, y de esta manera poder llegar hasta la conducción completamente automática del vehículo. Algunos ejemplos de las tecnologías desarrolladas por VisLab son la detección del carril, de vehículos y de peatones, la localización de obstáculos, la fusión de sensores con radares y escáneres láser, la visión nocturna o la inhibición de arranque.

Uno de los mayores hitos en la historia de VisLab fue la realización en el año 2010 de un recorrido entre Parma (Italia) y Shangai (China), en el que el vehículo autónomo recibía las posiciones del GPS de un vehículo predecesor, el cual estaba conducido manualmente. Este proyecto se denominó VIAC y hablaremos en profundidad sobre él a continuación.

4.11.1. VIAC

VIAC, más que un proyecto, fue un desafío de conducción autónoma para el grupo VisLab de la Universidad de Parma. Para llevarlo a cabo, fueron necesarios 393 días de preparación en los que 32 personas debieron trabajar conjuntamente.

El 20 de Julio de 2010 un convoy de vehículos inició el viaje desde Parma, Italia. Cuatro de los vehículos que formaban parte de dicho convoy estaban equipados para conducir de forma autónoma sin conductor, aunque solo fueron utilizados en pares.

15926km y 100 días después, el convoy llegó a Shangai, China, dando por completado el proyecto en la World Expo European Pavillion 2010, registrando de esta manera un nuevo logro en el campo de la robótica vehicular.

Los vehículos del proyecto tuvieron que hacer frente a condiciones extremadamente diferentes y extremas de carretera, clima, infraestructuras,

temperatura, tráfico, e incluso el posible comportamiento ilegal de otros vehículos. Además, no se disponía de mapas en la gran mayoría del viaje. Para hacer frente a estos problemas, VisLab tuvo especial cuidado en el diseño de sus vehículos y en la definición de su comportamiento, ya que aunque los dos vehículos fueran exactamente idénticos, tenían diferentes objetivos.

El primer vehículo

El primer vehículo condujo de forma autónoma la mayor parte del trayecto, llevando a cabo pruebas experimentales en los subsistemas de detección, decisión y control, almacenando un total de 21.5TB de datos de información. Cabe decir, que aunque fueron limitadas, hubo situaciones críticas en las que fue necesaria la intervención humana.

El segundo vehículo

El segundo vehículo sigue la ruta definida por el vehículo predecesor, sin intervención humana y de forma 100% autónoma.

Este vehículo puede actuar de dos formas diferentes:

- El primer vehículo es visible, por lo que este vehículo es capaz de detectarlo y seguirlo, refinando su posición en la carretera, evitando obstáculos y determinando la velocidad.
- El primer vehículo no es visible, por lo que este segundo vehículo se guía por coordenadas GPS enviadas desde el vehículo líder.

Al final del viaje, se determinó que su tecnología ya estaba ampliamente evaluada y refinada, por lo que se podría considerar lo suficientemente madura como para ser utilizada en un convoy de vehículos que circule por el centro de las ciudades.

En las figuras 42 y 43 podemos ver las diferentes tecnologías con las que estaban dotados los vehículos en este proyecto. A continuación hablamos acerca de cada una de ellas.

1. Cámara estereoscópica derecha

Esta cámara a color es parte de un sistema frontal que se emplea para localizar obstáculos, determinar la pendiente del terreno y ubicar las líneas de los carriles. Se utiliza para detección de corto alcance.

2. Escáner láser para conducción fuera de la carretera

Cuando el vehículo circula fuera de las carreteras convencionales, no es capaz de detectar la presencia de líneas, ya que son inexistentes.

El escáner láser está colocado con cierto grado de inclinación para que el rayo golpee el suelo frente al vehículo. Este sistema proporciona información sobre la presencia de zanjas, baches y obstáculos.

3. Cámara estereoscópica izquierda

Funciona de forma similar a la cámara del punto 1. Ambas cámaras complementan la información de la otra.

4. Sistema de visión panorámica

Este sistema proporciona una visión de 180° del frontal del vehículo gracias a las imágenes procedentes de tres cámaras sincronizadas. La imagen generada es una vista frontal de alta resolución que se usa para detectar y rastrear al vehículo líder.



5. Escáner láser derecho

Este escáner está basado en un láser que se emite en un solo plano, el cual permite detectar obstáculos, peatones y otros vehículos en el entorno derecho cercano del vehículo.

Tiene una apertura de 270° aproximadamente, pero debido a su instalación específica, sólo cubre unos 240°. Su profundidad de percepción es de unos 30 metros.

6. Escáner láser central

En este caso, el escáner láser emite rayos en cuatro planos diferentes. Esto permite solventar en parte el principal problema de los escáneres láser, los cambios de rasante, cuando el vehículo se inclina hacia abajo el láser está orientado al suelo, mientras que cuando está inclinado hacia arriba, el láser apunta al cielo, haciendo, en los dos casos, inútil la adquisición de datos.

Su profundidad de percepción es de aproximadamente 80 metros, y su apertura de alrededor de 100°.

7. Escáner láser izquierdo

Su funcionamiento es similar al escáner láser derecho, sólo cambiaría la ubicación de este.

8. Cámara estereográfica trasera izquierda

Trabaja de forma idéntica al resto de cámaras estereográficas, sólo cambia la ubicación.



9. Unidad de localización

Esta unidad incluye el hardware para la localización del vehículo mediante un GPS que proporciona coordenadas, que además trabaja conjuntamente con sensores inerciales para mejorar las coordenadas cuando no hay cobertura GPS. Para que ambos vehículos intercambien sus posiciones se ha utilizado una radio UHF.

10. Cámara estereográfica trasera derecha

Su funcionamiento es idéntico al descrito en el punto número 8.

11. Panel solar

El panel solar proporciona la energía necesaria para alimentar todos los sensores del sistema de conducción autónoma, el procesamiento, la actuación, la transmisión de datos por radio y la comunicación por satélite.

La energía generada en este panel es almacenada en una batería, adicional a la principal del vehículo, para poder realizar pruebas de conducción nocturna.

12. Sistema de conexión autónoma

Cuando el vehículo no se encuentra en movimiento, durante la instalación o durante la calibración, se recomienda alimentar los subsistemas de funcionamiento de los PCs del sistema autónomo y los dispositivos de telecomunicaciones a través de una toma de corriente externa.

Esta unidad también contiene un conector Ethernet para conectar la red del vehículo a una externa.

13. Conector de alimentación

Este sistema dispone del equipo necesario para cargar las baterías originales del vehículo.



Figura 42 - VIAC 1



Figura 43 - VIAC 2

Capítulo 5

Arquitectura del control de tráfico

Con el fin de aumentar la seguridad y la fluidez en el tráfico se busca implementar una arquitectura global de comunicaciones que permita conocer en todo momento la ubicación de cada uno de ellos.

La posibilidad de dotar a los vehículos con la capacidad de transmitir su situación actual o futura, puede disminuir notablemente el número de carreteras tanto en carreteras como en entornos urbanos. Esto está siendo posible gracias al gran desarrollo de los sistemas inalámbricos de comunicaciones de los últimos años.

Actualmente está en desarrollo unos estándares de comunicaciones denominados Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance, DSRC del inglés Dedicated Short Range Communications [Miller, H. J. 01]. La Comisión General de comunicaciones estadounidenses, FCC, ha fijado el espectro comprendido entre los 5.850 y los 5.925 GHz como la frecuencia para este nuevo estándar, buscando de esta manera mejorar la seguridad y la productividad en los sistemas de transporte. Este estándar apoyará a la Seguridad Pública en las interacciones V2V, además de complementar las comunicaciones móviles, proporcionando grandes capacidades de transferencia de datos en circunstancias donde la reducción de retardos es fundamental. Su objetivo principal es que se trate de comunicaciones orientadas, para que cada vehículo sólo establezca conexión con los vehículos que le aporten algún interés a corto plazo, para así coordinar las maniobras entre ellos. De esta forma, se reducirá el número de canales abiertos entre vehículos, evitando así los posibles cuellos de botella en las comunicaciones. Por ahora, se ha implementado

este sistema en telepeajes, aunque tiene el inconveniente de que el vehículo no debe superar los 40 km/h.

El consorcio europeo Car2Car trabaja en una línea similar. Esta organización no lucrativa integrada por fabricantes de vehículos europeos como BMW, Daimler, Renault, Fiat o Audi entre otros, pretende mejorar la seguridad del tráfico en carretera y mejorar la eficacia de la misma mediante comunicaciones entre vehículos. Actualmente, se están realizando pruebas en dos frecuencias diferentes, 2 y 5 GHz. También en Europa, y dentro de la denominada iniciativa e-safety hay alrededor de 60 proyectos donde la mayoría de ellos centran su trabajo en las comunicaciones entre vehículos.

En Japón, la iniciativa Ubiquitous ITS incluida dentro de e-Japan Strategy del Ministerio de Asuntos Internos y Comunicaciones, trabaja en el desarrollo de sistemas de comunicaciones entre vehículos. El objetivo es utilizar dos canales: uno para la comunicación, en la banda de 5,8 GHz y otro para el control, en la banda de 770 MHz. Para comunicaciones de situaciones críticas, ambos canales deberán estar disponibles.

Así pues, se están desarrollando numerosas iniciativas en las que se encuentran implicadas tanto centros de investigación y desarrollo como gobiernos o fabricantes, con las que buscan una solución óptima para la incorporación de sistemas de comunicación a los vehículos.

5.1. Estructura general

La arquitectura propuesta se basa en estándares de comunicaciones inalámbricas, lo cual presenta ciertas ventajas como pueden ser:

- Fácil implementación y poca carga de instalación.
- Bajos costes de mantenimiento.

- Movilidad dentro del área de la red.
- Infraestructura escalable basada en la demanda, cobertura y concentración de vehículos.

Pero también algunos inconvenientes:

- Alcance.
- Velocidad limitada de transmisión.
- Posibles problemas de seguridad.

En la figura 44 podemos ver los principales estándares de comunicación inalámbrica que existen en la actualidad.

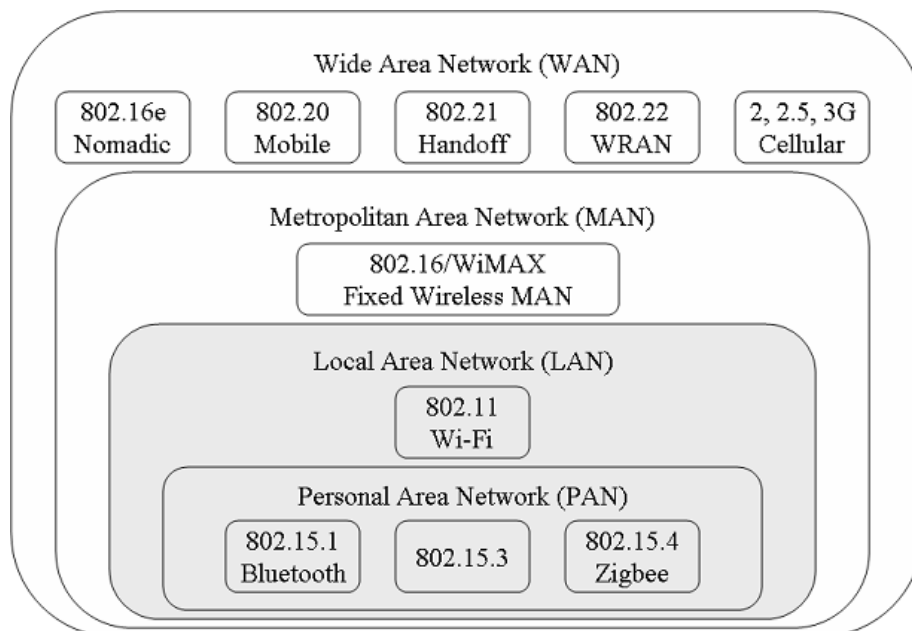


Figura 44 – Principales estándares de comunicación

La mayor limitación en los sistemas de comunicaciones inalámbricos es el alcance de la señal, por lo que lo consideramos como su principal parámetro limitador. Debido a esta limitación se está optando por unas estructuras basadas en áreas locales para la gestión del tráfico, buscando que de este modo los límites impuestos sean determinados por la tecnología de comunicaciones empleada en cada caso. Estas áreas locales tendrán zonas de solapamiento para permitir disponer de un flujo de información entre ellas y delimitar así cuando un vehículo se incorpora a un área y cuando lo abandona. Cada una de estas superficies dispondrá de una unidad central de gestión del tráfico que será la encargada de recibir los datos suministrados por los vehículos y la infraestructura para después reenviar los datos necesarios a los vehículos. Una visión global del sistema propuesto se muestra en la figura 45.

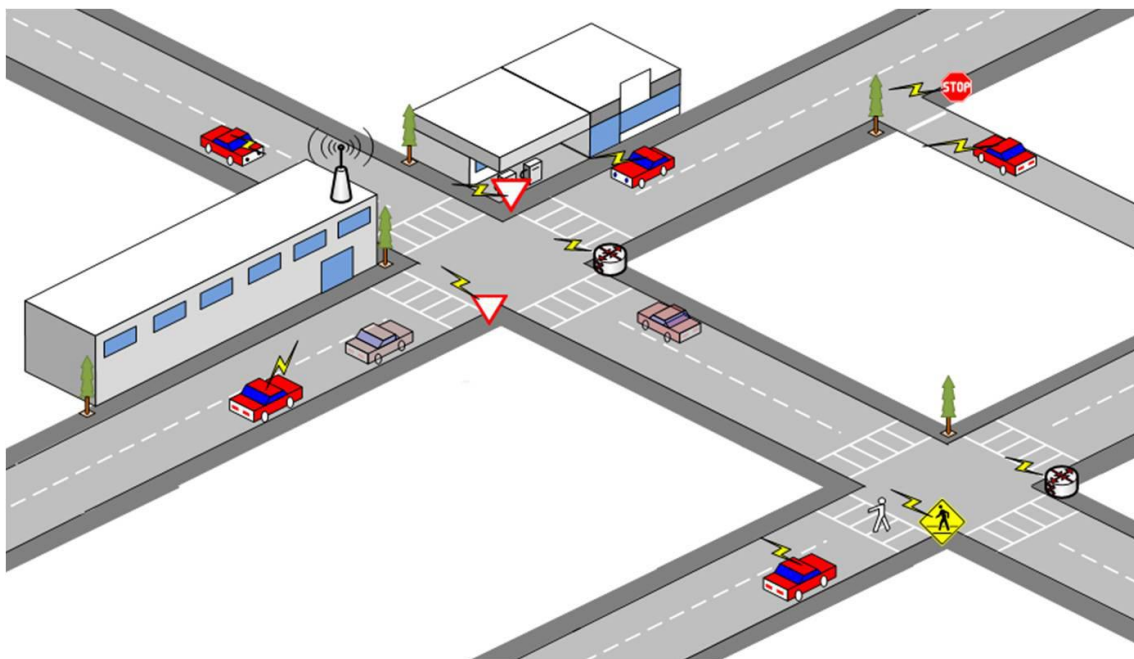


Figura 45 – Visión global del sistema propuesto

Cada estación central de control mantendrá comunicación con las estaciones centrales cercanas, para así establecer una topología en forma de enjambre de abejas, asegurando de esta manera la cobertura total y la máxima fiabilidad posible del sistema diseñado. Una vez establecida esta red, cada vehículo o elemento de la infraestructura podrá conocer su estado y el de su entorno, actuando en consecuencia. Además, cada unidad central avisará del tránsito de vehículos salientes de su zona de control a la vez que recibirá la información proveniente de las estaciones cercanas acerca de los vehículos que van a entrar en su área.

Para que la visión planteada sea posible, se han debido fijar unos requisitos mínimos de la arquitectura, para así poder considerarla eficiente y segura:

1. Dentro de cada área local debe existir al menos una unidad central de control que reciba y controle toda la información de los vehículos o dispositivos que se encuentren dentro de la misma zona de cobertura.
2. Cada vehículo debe disponer de la información necesaria de todos los vehículos con los que pueda interactuar y que se encuentren dentro de un perímetro de seguridad previamente definido.
3. Es necesaria la existencia de una zona de itinerancia entre estaciones locales, buscando así la continuidad en las comunicaciones para evitar pérdidas de información.
4. Las comunicaciones deben ser bidireccionales entre todas las unidades centrales de control adyacentes, buscando al igual que en el punto anterior, evitar las pérdidas de información gracias a la continuidad de las comunicaciones.

5.2. Especificaciones

Una vez que se ha definido el problema y se han fijado los requisitos de la arquitectura, se debe definir una arquitectura que nos permita abordar la solución al mismo de forma generalizada.

La arquitectura del control de tráfico se puede dividir en las cinco etapas que vemos en la figura 46.

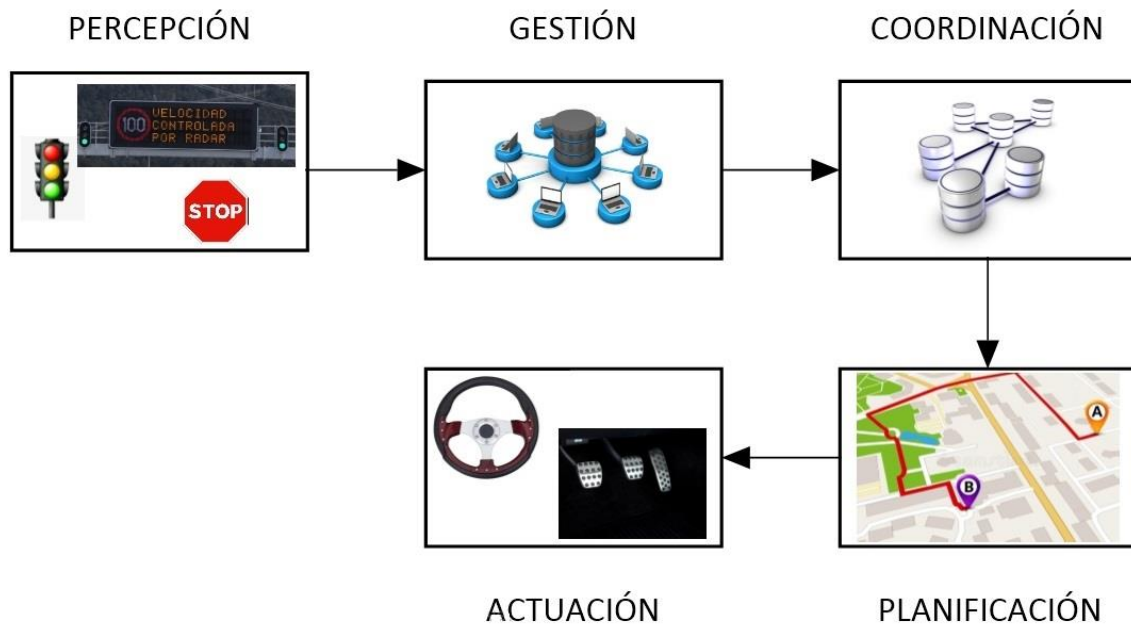


Figura 46 – Etapas control de tráfico

1. Percepción:

En esta etapa se recoge toda la información sensorial proveniente tanto de la infraestructura (semáforos, señales, información del tráfico) como de los vehículos (comunicaciones V2V), y se envía a las unidades locales de control.



2. Gestión:

Las unidades de control reciben la información sensorial durante esta etapa, y además, se encargan de ordenarla de forma eficiente en función de las diferentes condiciones de tráfico y los posibles conflictos que surgieran por culpa del mismo, como pueden ser atascos, accidentes...

3. Coordinación:

En esta fase las unidades de control establecen comunicaciones con cada una de las estaciones locales con las que comparten zonas comunes y comparten la información, para después determinar cuál será enviada a los vehículos e infraestructura, haciendo así que estos tomen las acciones de control oportunas.

4. Planificación:

Los sistemas de control, ya bien estén ubicados en la infraestructura o en los vehículos, seleccionan durante esta etapa cual será la mejor opción a tomar en función de la información de la que disponen.

5. Actuación:

Por último, se realizan las operaciones oportunas ya sea modificando la velocidad en los vehículos, cortando o habilitando la circulación en un carril, modificando la luz de un semáforo o cambiando el vehículo de carril para aumentar la fluidez del tráfico.

Los diferentes niveles de la arquitectura propuesta tienen partes en común y relaciones, como podemos ver en la figura 47.

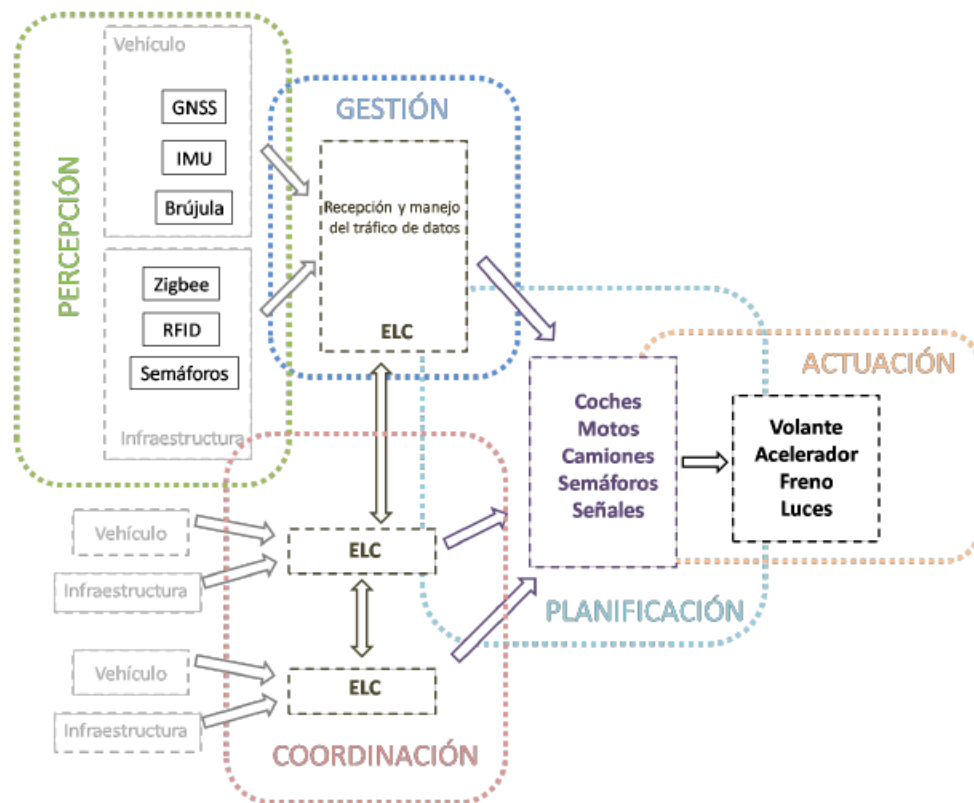


Figura 47 - Niveles arquitectura

5.3. Intercambio de la información

La arquitectura descrita está basada en el intercambio de información entre los distintos elementos que forman parte de ella. Tanto los vehículos como la infraestructura deben enviar una trama estándar a la unidad de control, la cual debe estar formada por los elementos que describimos a continuación, los cuales vemos ilustrados en la figura 48.

- Cabecera.
 - Identificador del elemento que envía la trama.

- Marca temporal para el sincronismo.
- Información necesaria en función del elemento.
 - Posición y velocidad en el caso de los vehículos.
 - El estado para el caso de la infraestructura, como por ejemplo el tiempo que le queda a un semáforo para cambiar de color.

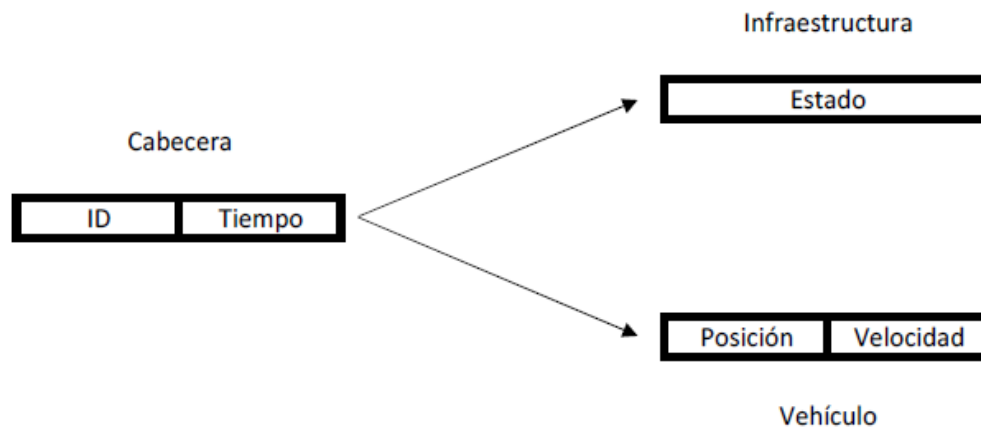


Figura 48 – Trama enviada a la unidad de control

Estas tramas, de frecuencia variable en función de la criticidad asociada, deben ser seguras, fiables y de una longitud corta para no aumentar el ancho de banda de forma innecesaria. Se estima que cada vehículo podría emitir hasta cuatro terabytes de datos diariamente, por lo que la gestión de estos datos es de vital importancia.

Con esta filosofía de intercambio de información, Telefónica presentó el pasado mes de abril dos minibuses autónomos conectados a la red 5G, en la figura

49 podemos ver uno de ellos. Estos minibuses forman parte del proyecto Ciudades Tecnológicas 5G y están siendo probados tanto en Talavera de la Reina (Toledo) como en Segovia con el fin de realizar las pruebas necesarias para aplicar este modelo de movilidad en el futuro, estimando que en cinco años un 20% de la población mundial contará con conexión a esta red.



Figura 49 – Autobus 5G

Capítulo 6

Realización práctica

Es necesaria una implementación física de toda la red de comunicaciones tratada anteriormente para, primero realizar pruebas en circuitos cerrados, en las vehículos sean capaces de comunicarse entre sí y con la infraestructura, y, posteriormente realizar la implementación de estos sistemas en vías abiertas al público con condiciones reales sin posibilidad de fallos.

El punto débil de esta infraestructura de comunicaciones es el traspaso de la información de una unidad de control a otra cuando un vehículo sale del área de una zona de control y entra en una adyacente. Para evitar estos problemas, se puede optar por diversas posibles soluciones; por ejemplo, en la Universidad de Alcalá [Milanés, V. 2010] acordaron realizar pruebas solapando zonas, para asegurarse así la correcta recepción de datos en todo momento, reduciendo posibles retardos asociados al intercambio de información entre unidades de control. En la figura 50 podemos ver las zonas experimentales de la ya citada Universidad de Alcalá.

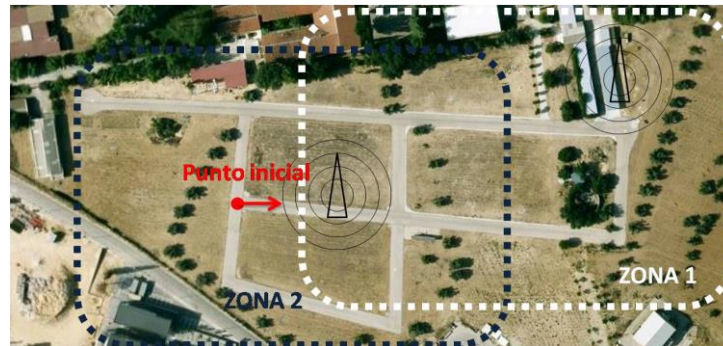


Figura 50 - Zonas experimentales Universidad de Alcalá

6.1. Validación experimental

El primer paso para que se pueda realizar una implementación física en vías abiertas al tráfico, es realizar experimentos en zonas acotadas, demostrando así el funcionamiento del sistema de comunicaciones.

Continuando con el ejemplo de la Universidad de Alcalá, sus ensayos tuvieron lugar en la pista de pruebas del IAI-CSIC [Milanés, V. 2010], la cual se puede observar en la ya citada anteriormente figura 50.

En primer lugar se realizó una prueba en la que un vehículo circulaba desde el área 2 hasta el área adyacente, 1, para así poder determinar la existencia de posibles fallos en la comunicación.

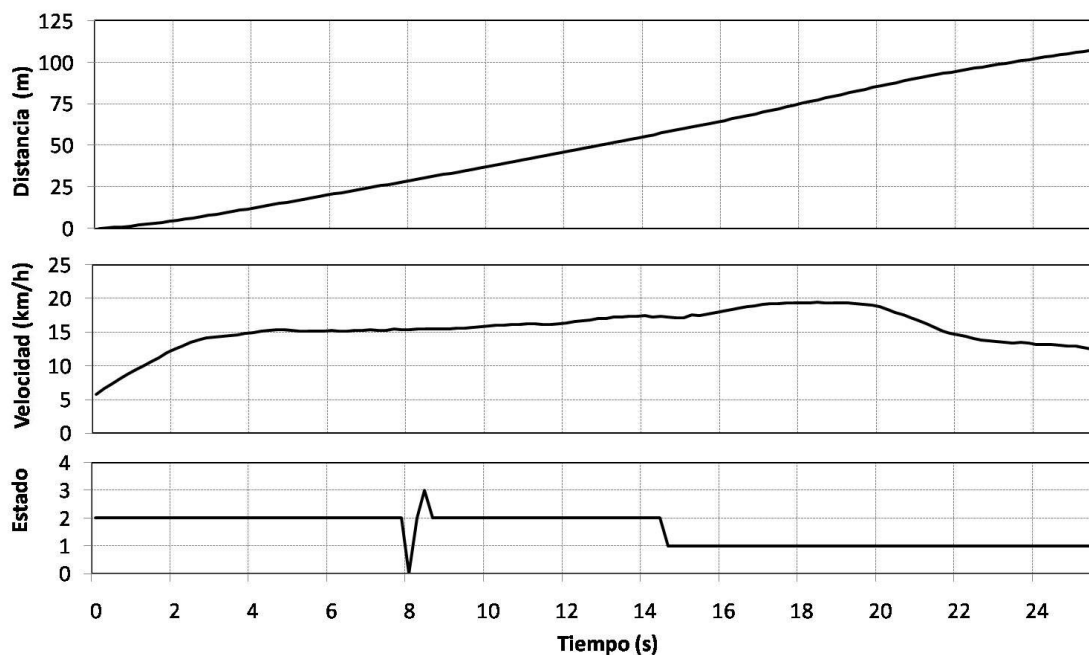


Figura 51 – Resultados obtenidos 1

En la figura 51 podemos ver los resultados obtenidos durante esta prueba. En esta imagen se pueden diferenciar tres zonas:

- Zona superior: gráfico de la distancia recorrida por el vehículo.
- Zona central: gráfico de la velocidad de circulación del vehículo.
- Zona inferior: gráfico del estado de comunicaciones entre el vehículo y las estaciones de control, con cuatro posibles valores.
 - Valor 0: Indica que el vehículo no se encuentra conectado.
 - Valor 1: Indica que el vehículo está conectado con estación de control correspondiente a la zona 1.
 - Valor 2: Indica que el vehículo está conectado con estación de control correspondiente a la zona 2.

- Valor 3: Indica que se ha producido un retardo en las comunicaciones.

En la figura 51 podemos observar cómo se produce una desconexión durante un ciclo de control y posteriormente un retardo, volviendo después a la normalidad. Se observa además, que durante el cambio de estación de control, segundo 15, no hubo en ningún momento pérdidas de información. De este modo, quedó comprobado que la conmutación entre estaciones es inmediata y los retardos o desconexiones no son superiores a los obtenidos si hubiera solamente una unidad de control en la zona.

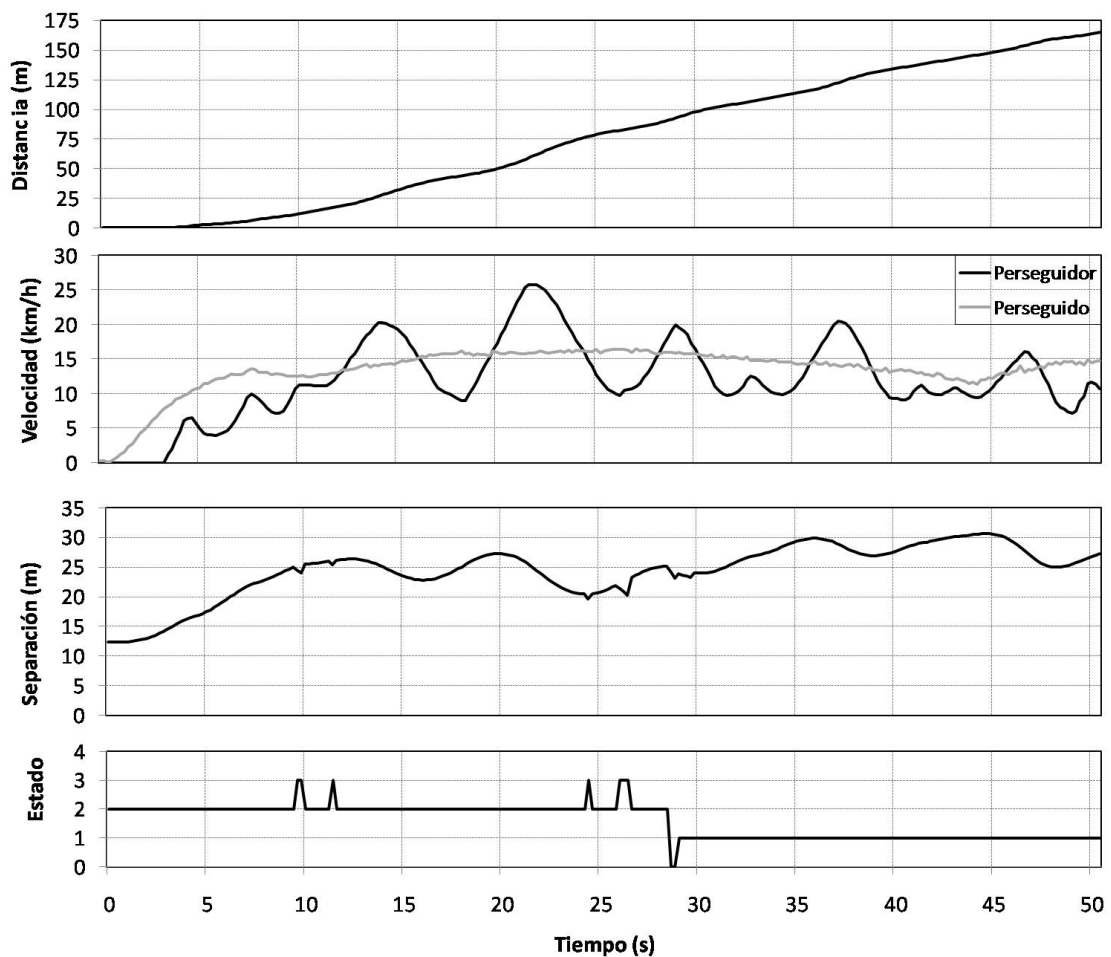


Figura 52 - Resultados obtenidos 2

Los ensayos posteriores se realizaron con dos vehículos controlados con este tipo de arquitectura de control de tráfico, los cuales circulaban manteniendo una distancia de seguridad inferior a cuatro segundos [Naranjo, J. E. 06], evitando de esta manera, un posible accidente en caso de fallo de las comunicaciones entre vehículos, entre los vehículos y las unidades de control o en la conmutación entre unidades de control.

En la figura 52 podemos ver los resultados obtenidos en uno de estos ensayos. Las zonas de la imagen se corresponden con las del primer ensayo, a excepción de que se ha añadido un gráfico para la separación entre vehículos.

Podemos concluir que la arquitectura de control de tráfico propuesta es válida para implementarse en vías abiertas al público, ya que durante los diversos experimentos que se realizaron, los fallos fueron mínimos y no tuvieron ninguna repercusión en la seguridad vial.

6.2. Instrumentación

Para implementar estos sistemas físicamente en el vehículo se deben desarrollar diferentes instrumentaciones especiales para cada vehículo, tanto a nivel software como a nivel hardware.

6.2.1. Hardware

Los diferentes elementos hardware que los que puede disponer un vehículo ya han sido tratados anteriormente, no obstante, en este punto hablaremos de las características hardware indispensables para que se pueda llevar a cabo la implementación física.

La instrumentación básica del vehículo autónomo incluye un ordenador de a bordo, un receptor GPS, una red inalámbrica LAN, un bus CAN y una tarjeta de entrada/salida digital, ayudando también la existencia de sistemas de visión artificial para el reconocimiento del entorno.



- Por el bus CAN circula toda la información del vehículo.
- La señal GPS es la principal entrada sensorial ya que es la encargada de ubicar geográficamente al vehículo, además de guiarle.
- La red inalámbrica LAN recibe las correcciones del sistema GPS.
- El sistema de visión artificial proporciona una información sensorial extra del entorno.
- El software de control debe de estar incorporado en el ordenador de a bordo.
- La tarjeta de entrada/salida es la encargada de enviar o recibir las diferentes señales de control a o de los actuadores

6.2.2. Software

Los sistemas de control longitudinales y laterales de los vehículos autónomos suelen estar basados en lógica borrosa para la creación de su software.

Estos sistemas borrosos no son una novedad actual, fueron introducidos por Zadeh en 1965 [Zadeh 65].

Desde el punto de vista funcional se pueden distinguir tres etapas en la lógica de software borroso:

- Fuzificación: cada entrada se transforma en un valor numérico para poder ser procesada por el compilador borroso.
- Motor de inferencia: debe generar una contribución de cada regla a la salida, en el caso de los vehículos es la acción del control sobre los actuadores.

- Defuzificación: esta etapa es la encargada de calcular los valores concretos de las variables de salida para después transformarlos en valores de tensión interpretables por los actuadores del vehículo.

6.3. Legislación

La Declaración Universal de los Derechos Humanos recoge en su artículo 13.1 que la movilidad libre es uno de los derechos fundamentales del ser humano. El manifiesto de Tokio de 1984 afirma que la libertad de movimientos y de elección de sistema de transporte forma parte de los derechos básicos de todos los humanos.

6.3.1. Legislación en España y Europa

Simultáneamente a la primera matriculación de un vehículo en España, se aprueba el “Reglamento para el Servicio de Coches Automóviles por Carreteras del Estado”, lo cual marcó un símbolo histórico de riqueza y prosperidad en nuestro país. Desde entonces surgió la necesidad de crear herramientas legales, impulsadas por los gobiernos, para formular una serie de normas comunes. Con esta idea surgieron los primeros convenios internacionales, los cuales eran de obligado cumplimiento para todos los países firmantes. El Convenio Internacional a la Circulación de Automóviles firmado en 1909 en París, fue una de las primeras normas relativas al tránsito de vehículos más allá de las fronteras nacionales, unificando normas y señales en 16 países, entre los cuales se encontraba España.

La normativa fue evolucionando de forma paulatina en función a los avances en el mundo del automóvil, creando cada vez normas más complejas, llegando a tratar hasta los requisitos mínimos de los conductores o las características esenciales que debían tener los vehículos de determinada clase.

En la actualidad, España sigue el convenio acordado en Viena en el año 1968 en la Convención Sobre la Circulación Vial y la Convención sobre la Señalización Vial y sus posteriores revisiones.

Por esta razón, nuestro país dispone de cierto margen normativo a la hora de legislar sobre la incorporación de nuevos avances en la conducción autónoma, siendo posible realizar pruebas o ensayos de investigación con vehículos autónomos en vías abiertas al tráfico desde el 16 de Noviembre de 2015.

La DGT informó en una nota de prensa de los requisitos y las condiciones necesarias para poder realizar estos experimentos. Además, recalcó que el ámbito de la autorización era nacional, estableciendo diferentes tramos en vías urbanas e interurbanas con dicho fin. El plazo máximo para la realización de pruebas de conducción autónoma en el territorio nacional es de dos años, aunque puede ser prorrogable por idénticos periodos de tiempo.

El grupo PSA Peugeot Citroën fue el primero en obtener los permisos necesarios para la realización de pruebas de conducción autónomas en el ámbito nacional. Experimentaron con Citroën Grand C4 (figura 53), realizando un trayecto de 599 kilómetros por autovías y autopistas desde Madrid hasta Vigo, pasando por Medina del Campo, Tordesillas y Benavente (figura 54).



Figura 53 – Prueba conducción Citroën Grand C4



Figura 54 – Trayecto prueba conducción autónoma

No obstante, y aunque nos parezca que España está actualizada en cuanto a legislación, debemos tener en cuenta que nos quedan como país muchas cuestiones por resolver en el ámbito jurídico, tales como qué debería hacer un vehículo autónomo en caso de accidente inevitable o quién es el responsable en caso de siniestro.

La Unión Europea es consciente de los grandes riesgos que conlleva la conducción autónoma, por lo que ha intervenido a través de UNECE para unificar los diferentes enfoques de cada país

6.3.2. Legislación en Estados Unidos

La ausencia de intervenciones del congreso ha hecho que en Estados Unidos la regulación de las leyes sobre conducción autónoma eran responsabilidad de cada estado. Esto ha creado al menos 21 leyes diferentes, en la figura 55 podemos ver

qué estados se han posicionado y qué posición tienen acerca de la conducción autónoma.

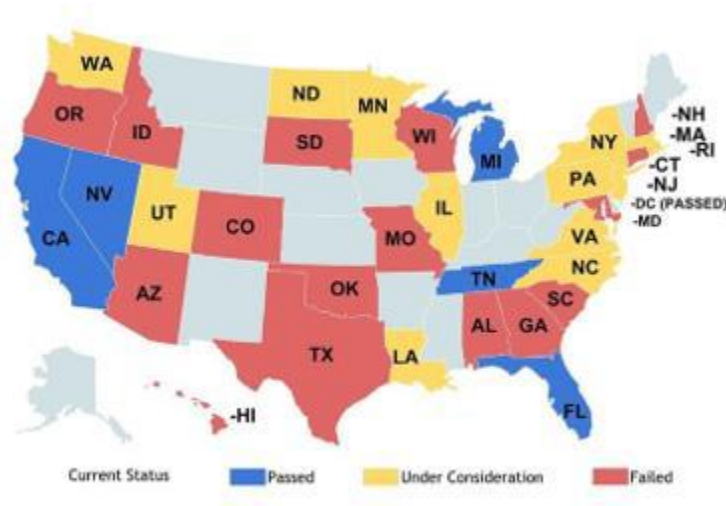


Figura 55 – Estados posicionados sobre la conducción autónoma

Desde 2010 Google ha realizado pruebas de conducción autónoma en California. Este estado ha sido el más precoz y permisivo, ya que allí se encuentra Silicon Valley, donde se alojan muchas de las mayores corporaciones tecnológicas del mundo.

Aunque las diferentes leyes difieren en muchos aspectos, la gran mayoría comparte los mismos principios básicos: se requiere que haya una persona capacitada ocupando el asiento del conductor, debiendo de ser capaz de tomar el control absoluto del vehículo en cualquier momento. Además, algunos estados han prohibido la conducción de vehículos autónomos en vías públicas a no ser que sea con fines experimentales o de testeo.

Muy recientemente, Estados Unidos acaba de aprobar la ley AV START, la cual ha sido la primera ley nacional sobre conducción autónoma, permitiendo en un futuro comercializar y fabricar vehículos autónomos en cualquier estado.

6.3.3. Legislación en Japón

Japón ha hecho grandes avances en conducción autónoma, no obstante, el país asiático ha intentado no difundir información acerca de sus avances tecnológicos. Resulta complicado encontrar información al respecto, aunque todo apunta a que Toyota busque presentar el “primer coche autónomo” en los próximos Juegos Olímpicos de 2020.

El gobierno Japonés ha abierto un plazo entre septiembre de 2017 y marzo de 2019 durante el cual será posible realizar las pruebas de circulación necesarias con vehículos autónomos. Dichas pruebas se pueden realizar en varias autopistas de Tokio y otras que conecten con la región central del país. El trazado dispuesto para ensayos es de aproximadamente 300 kilómetros.

Además, el gobierno está preparando un marco legal para regular los vehículos autónomos fuera de estos circuitos de prueba, permitiendo así a los fabricantes probar los vehículos en carreteras más convencionales.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 7

Coexistencia

Una flota de vehículos 100% autónoma es un futuro relativamente lejano, no obstante la coexistencia no lo es tanto. En unos años se prevé que existan vehículos autónomos conviviendo con la mayor parte de la flota actual de vehículos. Esta situación puede dar lugar a diferentes situaciones.

7.1. Mayoría de vehículos no autónomos o con niveles bajos de autonomía

De momento, es la situación actual y de nuestro futuro más próximo. La mayoría de los países obliga al conductor a ser el responsable final, debiendo ser capaz de tomar el control en cualquier momento.

En estas situaciones el conductor deberá estar siempre pendiente, no como tristemente ha ocurrido en los primeros accidentes de vehículos automatizados, por ejemplo en el primer accidente mortal de un Tesla Model S en el año 2016.

El accidente se produjo ya que el conductor del camión no respetó las normas de circulación, el vehículo automatizado no supo responder, solicitó que su conductor tomase el control, tal y como dice la ley, pero eso no pasó.

A posteriori, se pudo comprobar que el conductor iba viendo una película en el momento del accidente.

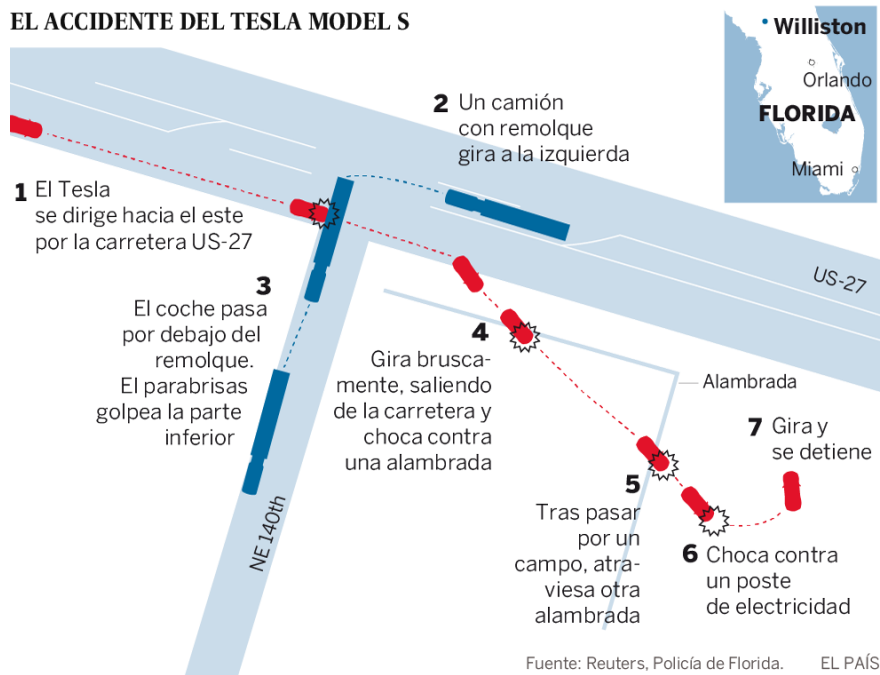


Figura 56 - Accidente Tesla Model S

7.2. Mitad convencionales y mitad automatizados

Se prevé que esta situación sea la más peligrosa, pues para los vehículos autónomos es muy difícil predecir comportamientos humanos, los cuales a veces infringen la ley.

Podríamos analizar el caso análogo de AGVs en la Factoría Phillips de Valladolid.

En esta planta se disponen actualmente de cuatro carretillas, de las cuales dos son AGVs y dos son carretillas usuales operadas por personal de la factoría.

Según datos facilitados por la ingeniero de procesos senior de la factoría, Patricia Pérez Gabriel, al principio los AGVs no estaban adaptados al recorrido de la fábrica, produciendo accidentes pues no eran capaces de comunicarse correctamente. Por este motivo se creyó en una primera instancia que eran más

fiabiles los operados por personal de la empresa. No obstante, después de diferentes actualizaciones en el sistema operativo y cambios en los sistemas de guiado, los AGVs funcionaron de forma más rápida y eficiente que las carretillas convencionales, y en el caso de accidentes eran debidos al factor humano.

Si trasladamos este pequeño ejemplo a los vehículos usuales de transporte terrestre, tales como coches, motos, camiones... podemos entender que deberíamos tener confirmada la tecnología antes de llegar a esta situación, para así evitar los accidentes debidos a la falta de madurez de los procesos automatizados, siendo inevitables los accidentes a causa del ser humano. Es por este motivo que países como Japón han puesto límites a la producción de vehículos autónomos, para hacerlo de forma más paulatina, pero más segura, pues cuando se llegue a este caso, la tecnología estará más que comprobada.

A partir de este momento, las aseguradoras de vehículos cambiarán. Deberán hacer diferentes pólizas de seguros, una para vehículos convencionales y otra para autónomos. Las pólizas de vehículos usuales continuarán siendo como hasta ahora, pero las pólizas de vehículos autónomos será un tema a discutir, pues los propietarios de vehículos autónomos no serán responsables de los accidentes, pudiendo serlo la marca del vehículo, el encargado del mantenimiento... para determinar la culpabilidad, lo más seguro es que se disponga de una caja negra, similar a la de los aviones, que almacene todos los datos para poder analizarlos y no solo determinar el causante del accidente, sino aprender de él para evitar que se repita en la medida de lo posible.

7.3. Mayoría de vehículos automatizados

Llegado este punto habrá hasta que modificar el significado de algunas palabras, pues dejarán de tener el significado que actualmente tienen.

Las pólizas de seguros serán completamente diferentes a las que conocemos.

La mayoría de accidentes se evitarán, pues todos los vehículos estarán conectados entre sí y todos respetarán las normas de seguridad vial. No obstante, debemos tener en cuenta que hay accidentes causados por peatones, animales o causas naturales.

Los vehículos deberán ser capaces de reaccionar ante accidentes inevitables, tales como el que comentaremos en el capítulo 9. Al crear conflictos morales, se deberá definir quién es el responsable de determinar cómo se debe actuar, pudiendo proceder de forma popular a través de una votación, dejando que cada marca decida qué hacer, creando normativas específicas...

Capítulo 8

Actualidad de los sistemas de guiado automatizados

Actualmente ya existen vehículos altamente automatizados, entendiendo por vehículo lo definido según la Real Academia Española:

Vehículo

Del lat. *vehicŭlum*.

1. m. Medio de transporte de personas o cosas.
2. m. Aquello que sirve para conducir o transmitir fácilmente algo, como el sonido, la electricidad, las enfermedades contagiosas, etc.

El piloto automático de los aviones o barcos, algunos drones, los trenes suburbanos o los AGVs son algunos de los ejemplos de vehículos altamente automatizados o incluso autónomos que se encuentran funcionando actualmente en nuestra sociedad sin que nadie se lo haya cuestionado. Por este motivo, por la falta de conciencia de la sociedad sobre el tema, estos vehículos pueden funcionar de forma autónoma sin ninguna regulación al respecto, lo cual ha agilizado su desarrollo respecto a los coches.

8.1. Piloto automático en aeronaves

En contra de la creencia popular, el piloto automático de los aviones no es autónomo, hay tres personas pendientes de la aeronave. Estos tres profesionales

son los dos pilotos que hay a bordo en la cabina y un controlador de tráfico aéreo desde tierra, siendo indispensable que uno de los dos pilotos permanezca a los mandos para actuar inmediatamente en caso de fallo o emergencia.



Figura 57 – Panel de control del piloto automático de un Airbus A340

Aunque existan sistemas más complejos, la mayoría de aviones comerciales dispone de las siguientes capacidades:

- Mantener el rumbo programado
Los aviones comerciales actuales pueden seguir una ruta que ha sido programada con anterioridad, eso sí, son incapaces de realizar cualquier tipo de corrección, lo cual será labor de uno de los pilotos.
- Mantener altitud
Además de mantener una ruta programada, pueden mantener una altitud constante durante el trayecto.



- Seguimiento GPS

Gracias a los sistemas de seguimiento GPS es posible localizar las diferentes aeronaves desde tierra o entre ellas.

Estas características se desarrollaron a principio del siglo XX, y no han podido ser extrapolables a los coches hasta la fecha debido a la gran imprevisibilidad del sector automóvil. Además, hemos de tener en cuenta que en aviación hay tres personas pendientes de la aeronave, mientras que en automoción se pretende que el vehículo circule completamente solo.

Si buscamos comparar el piloto automático en aeronaves frente a la automatización del sector automovilístico debemos tener en cuenta tres factores:

- Condiciones meteorológicas

Los vuelos intentan realizarse con unas condiciones favorables y muy estudiadas. En el caso de que las condiciones no sean buenas, el piloto deberá pilotar la aeronave sin piloto automático. Por el contrario, los coches autónomos deberían ser capaces de funcionar en cualquier situación, esto es así dado a que se prevé que desaparezca la posibilidad de tomar el mando del vehículo.

- Tiempo de reacción

Los pilotos de avión disponen de varios segundos para reaccionar ya que salvo casos excepcionales, no son situaciones cruciales y el tiempo de reacción no es un factor decisivo, mientras que en la conducción terrestre sí lo es.

- Inversión

El coste de un sistema de guiado autónomo actualmente oscila entre los 7000 y los 15000. Las aeronaves Boeing 737 rondan los 100 millones de euros, por lo que el gasto del piloto automático es despreciable, lo cual no sucede en automoción, ya que un vehículo de gama media ronda los 20000 euros.

Aunque los aviones siempre deben ser tripulados, existen aeronaves no tripuladas, conocidas como drones. En una primera etapa, los drones fueron básicamente para uso militar y eran pilotados desde tierra. Actualmente ya no es necesario ese pilotaje terrestre, siendo posible programar la trayectoria a seguir con anterioridad.

Amazon Prime Air, compañía estadounidense de comercio electrónico, realizó primera entrega autónoma el 7 de diciembre de 2016 en Cambridgeshire, Inglaterra. Dicha entrega se realizó mediante un dron, tal y como se puede apreciar en la figura 58.



Figura 58 – Primera entrega autónoma Amazon Prime Air

Desde ese hito, Amazon Prime Air no ha parado de investigar, desarrollar y realizar entregas mediante este sistema.

En Marzo de 2017, se realizó la primera entrega autónoma en Estados Unidos, y aunque en este caso el vuelo se realizó de manera mucho más reservada, un espectador lo capturó y publicó.

La empresa ya demostró su interés en operar con aeronaves no tripuladas en el año 2013, y desde entonces su principal barrera ha sido la legislación, por lo que han propuesto un modelo de espacio aéreo dividido en zonas según la altitud.

En la figura 59 se puede observar dicha división. Existirá una zona reservada para operaciones especiales o emergencias, en la cual no estará permitido volar a excepción de estos casos. Las otras dos zonas que podemos apreciar se diferenciarán en función de la velocidad de la aeronave.

Aunque Amazon presentase este diseño del espacio aéreo, no ha sido aprobado legalmente, por lo que todavía se podrían realizar más diseños diferentes, siempre y cuando el fin sea una mayor seguridad.

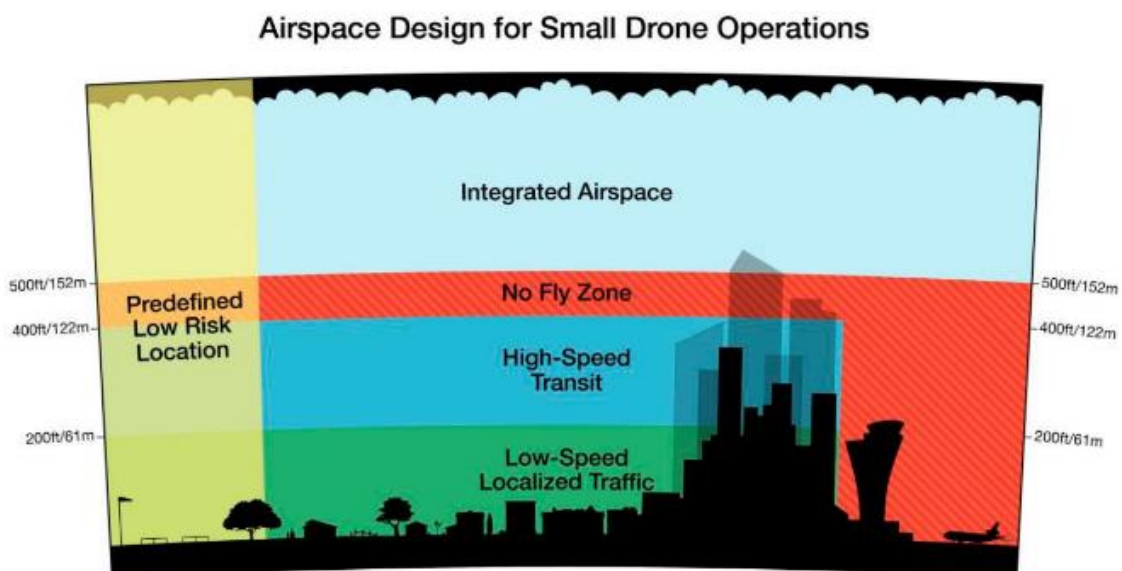


Figura 59 – Modelo espacio aéreo

8.2. Piloto automático en navegación marítima

El piloto automático en navegación marítima es muy similar al del capítulo anterior, teniendo muchos puntos en común.

Dependiendo de la complejidad de los sistemas de control, los barcos podrían mantener un rumbo determinado, conservar el ángulo de incidencia del viento o navegar hacia una posición determinada. Comparando estos sistemas con los niveles de autonomía, los barcos podrían ser de nivel 2, es decir, semiautónomos.

8.3. AGVs

Carretillas Mayor es una Sociedad Anónima con sede en Cabezón de Pisuerga, Valladolid. Esta empresa fabrica y desarrolla, entre otras cosas, una amplia gama de AGV. Este hecho, sumado a que la sociedad ha trabajado con las empresas más prestigiosas a nivel mundial, nos ha hecho solicitarles información. Según Carretillas Mayor:

“Los AGV son vehículos capaces de moverse de forma automática sin necesidad de conductor, su función principal es el transporte de una gran variedad de cargas a través de una ruta predeterminada obedeciendo una serie de instrucciones asignadas. Son especialmente útiles en tareas repetitivas y con alta cadencia de forma ininterrumpida.”

Las características a destacar de un AGV son rapidez, fiabilidad, versatilidad, eficacia, sencillez, seguridad y robustez.



Figura 60 – Características AGV

Los sistemas de seguridad son uno de los elementos primordiales en los AGV. Suelen llevar un escáner que genera una lectura láser de 180°, lo que asegura una alta seguridad ante el contacto o colisión con personas u objetos. Este sistema puede producir mapeados inteligentes de forma automatizada. También es posible emitir señales acústicas y ópticas de advertencia.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 9

Percepción de la sociedad

La conducción autónoma o automatizada es un tema de actualidad, y no sólo en España, sino mundialmente. Por este motivo, es de especial relevancia estudiar la percepción de la sociedad y el impacto que genera en ella.

Para tomar una muestra más realista de la sociedad, hemos decidido exponer tres estudios diferentes.

9.1. NHTSA

La Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras de Estados Unidos de América, conocida por sus siglas, NHTSA, tiene como meta salvar vidas, reducir los accidentes y disminuir el coste de carreteras a través de actividades de investigación, educación y seguridad.

Por este motivo, la secretaria de transporte de Estados Unidos, Elaine L.Chao, decidió realizar un informe, actualizable periódicamente, sobre sistemas automatizados en vehículos. Desde que tomó el cargo, en Enero de 2017, Elaine L.Chao ha realizado un total de tres informes.

La primera versión es obsoleta y ya no se encuentra en su página web por lo que no hablaremos de ella.

La segunda versión trata dos secciones bien diferenciadas, la orientación voluntaria y la asistencia técnica a los estados.

La tercera y última edición habla de los roles en la automatización y del camino que aún queda por recorrer.

Gracias a estos informes, Estados Unidos conoce las últimas novedades en el sector, lo que les permite modificar la legislación en consecuencia. Además, los ciudadanos son conscientes de cómo avanza la tecnología, lo que reduce el rechazo debido al a lo desconocido, como está pasando en otros lugares.

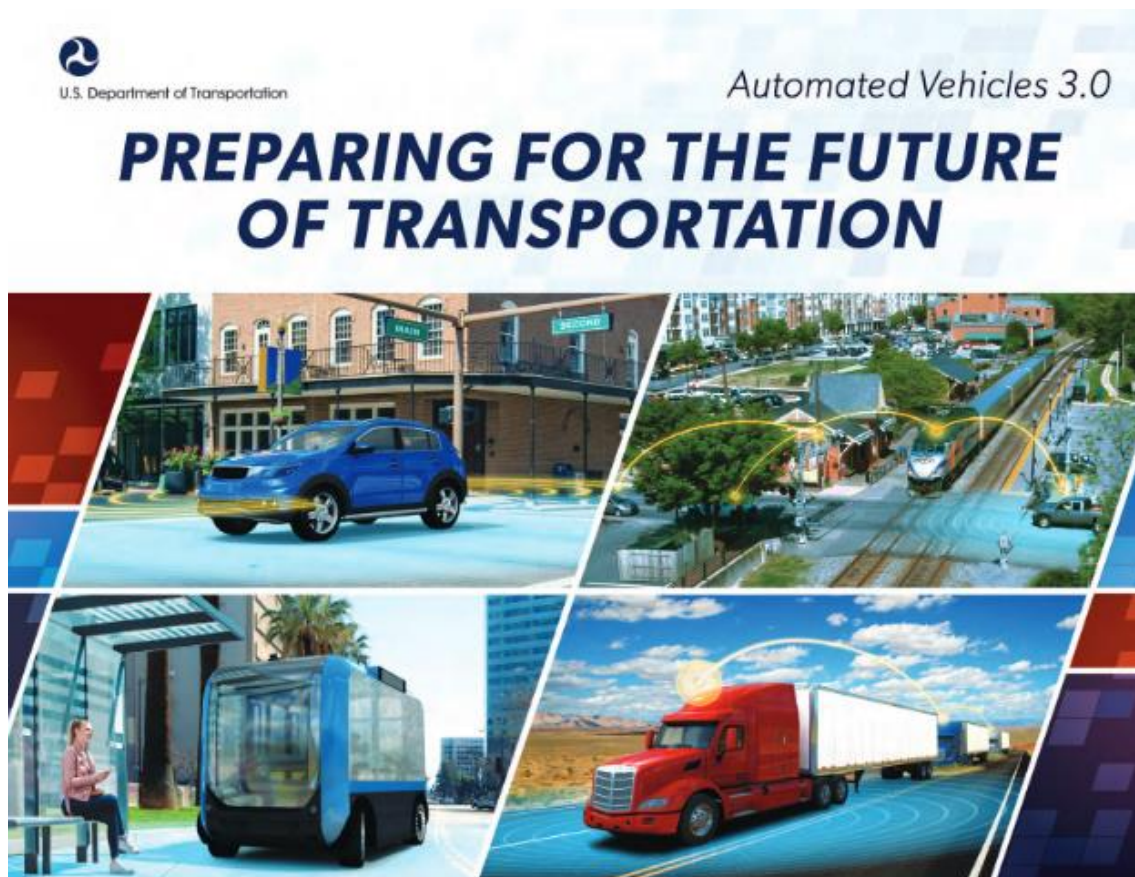


Figura 61 – Informe departamento de transporte EEUU

9.2. Máquina moral

Mientras en Estados Unidos disponen de informes anuales con un contenido bastante extenso sobre conducción autónoma o automatizada, en España sólo disponemos de noticias de breve longitud, las cuales no suelen dar demasiados detalles sobre el tema.

A finales de 2018 El País publicó una de las noticias con mayor repercusión mediática en España sobre la conducción autónoma. Esta trataba el experimento realizado a dos millones de personas sobre el conflicto moral en caso de accidente inevitable, con consecuencias mortales, de un vehículo no tripulado.

Concretamente, el artículo de Miguel Ángel Criado se tituló: “¿A quién mataría (como mal menor) un coche autónomo?”.

El experimento en el que se basa el artículo es conocido como la máquina moral, y forma parte de un proyecto de investigación del MIT. Han participado más de dos millones de personas de más de 200 países diferentes. A fecha de hoy, todavía se puede formar parte del experimento realizando un pequeño juego en su [página web](#).

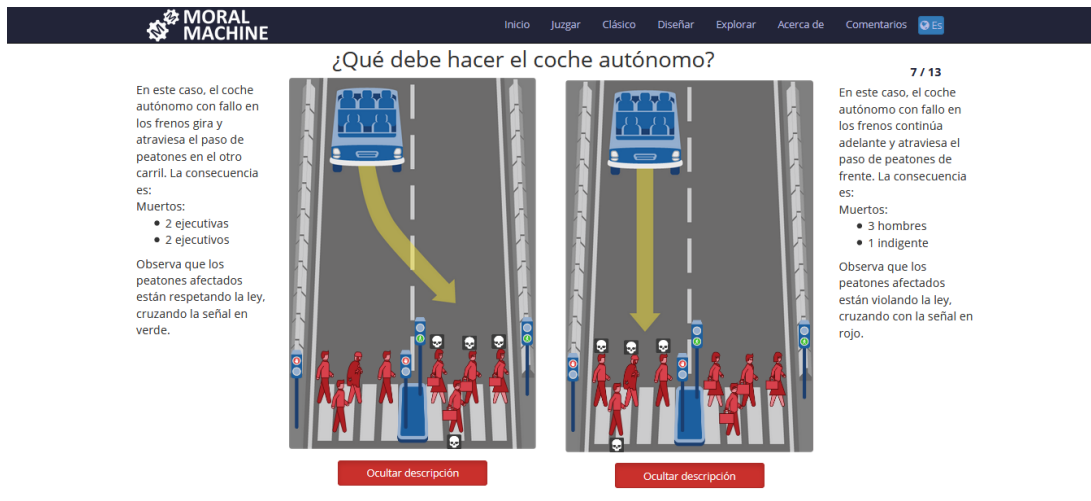


Figura 62 – Juego Máquina Moral del MIT

El juego expone diferentes escenarios para recopilar información sobre cómo actuaríamos en caso de accidente inevitable, para poder extrapolar después esos datos en una forma de programación para vehículos autónomos.

El juego crea diferentes escenarios, creados de forma aleatoria. No obstante, siguen un patrón similar en todos los casos.

El coche autónomo tiene que decidir qué hacer entre:

- Peatones vs peatones
- Peatones enfrente vs pasajeros
- Pasajeros vs peatones en el otro carril

¿Entre quién está decidiendo el coche autónomo?



Peatones vs peatones



Peatones enfrente vs pasajeros



Pasajeros vs peatones en otro carril

Figura 63 – Diferentes escenarios

Además, también hay escenarios con semáforos, buscando de esta manera decidir cuan importantes son los aspectos legales.



Figura 64 - Aspectos legales

Hay un total de 20 personajes sobre los que decidir, desde un bebé hasta un anciano, pasando incluso por animales. También se diferencia en función de sexo.



Figura 65 - Personajes

En función de los resultados, se crean unas soluciones individualizadas diciendo qué prima para la persona que ha estado jugando, comparadas con la

media. Los resultados que se presentan indican qué personaje ha sido salvado más veces y cual menos. Además, los resultados indican cómo de importantes son para la persona que ha realizado el juego los siguientes aspectos:

- Salvar más vidas
- Proteger a los pasajeros
- Respetar la ley
- No intervenir
- Preferencia de género
- Preferencia de especie
- Preferencia de edad
- Preferencia por estar en forma
- Preferencia por valor social

9.3. El Observatorio Cetelem

Cetelem es la marca comercial de financiamiento de BNP Paribas y su especialidad es el crédito al consumo, crédito en línea y tarjetas de crédito. Aunque la sede de la oficina central se encuentra en París, Francia, se establece en treinta países diferentes con más de 27 millones de clientes.

Dentro de los contenidos de Cetelem se encuentra el Observatorio. El Observatorio Cetelem publica estudios mensuales y estacionales además de cuatro informes al año sobre cuatro temas diferentes:

- Motor
- Consumo Europa
- Consumo España

- eCommerce

Esto hace que el Observatorio Cetelem sea referencia para periodistas, empresas, especialistas en estudios de mercado, consumidores, personas del ámbito académico...

En el año 2016 el Observatorio Cetelem realizó el mayor informe realizado hasta la fecha en España sobre el coche autónomo.

Dicho informe consta de casi cien páginas y trata temas como la situación macroeconómica en España, el coche autónomo conectado o de cómo el coche autónomo es el futuro.

Como estos temas ya han sido tratados con anterioridad, a excepción de la situación macroeconómica en España, la cual creemos que no tiene especial relevancia en este Trabajo Fin de Grado, nos vamos a centrar en el análisis estadístico del informe.

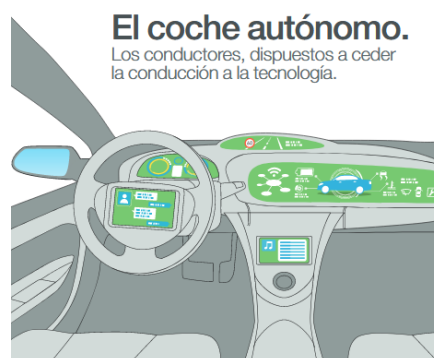


Figura 66 - Portada informe Observatorio Cetelem

Se trata la confianza en el coche autónomo como uno de los temas a analizar.

Tres de cada cuatro conductores a nivel mundial consideran que el coche 100% autónomo será una realidad. Además, cabe destacar que más de uno de cada dos conductores están interesados en utilizar este tipo de coches.

Más de un tercio de los encuestados a nivel mundial piensan que en un periodo comprendido entre 3 y 5 años dispondremos de vehículos 100% autónomos. Los porcentajes son similares si discriminamos los resultados por nacionalidad española. No obstante, estos datos son de 2016, es decir, hace tres años, por lo que sería interesante repetir esta encuesta para comprobar las tendencias actuales.

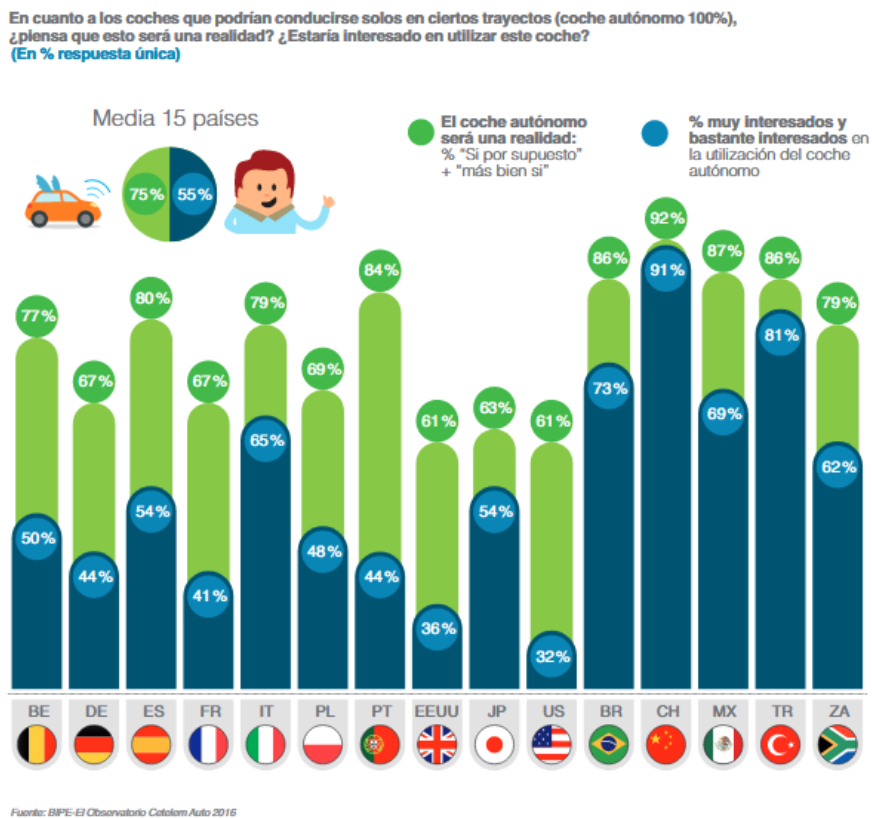
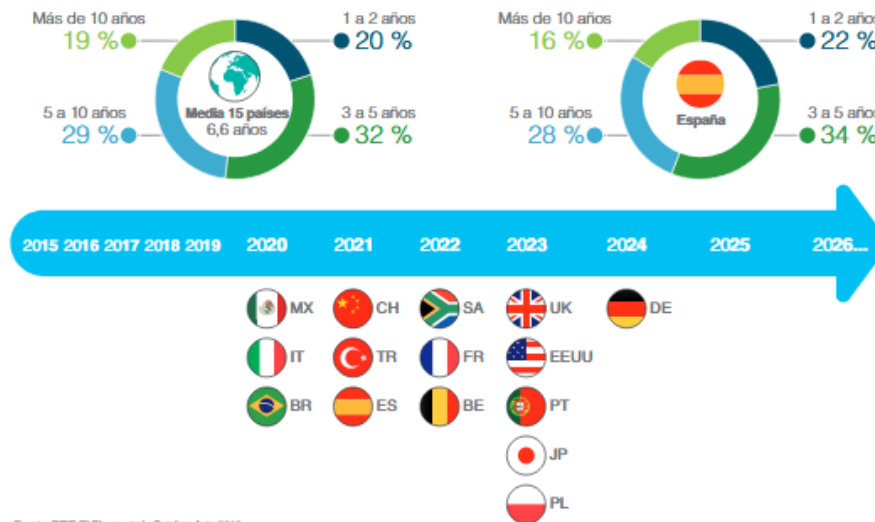


Figura 67 – Resultados sobre si el coche autónomo será una realidad



¿Cuánto tiempo piensa que tardará en ser usuario de un coche 100% autónomo?
Media de los 15 países. (En % respuesta única)



Fuente: BIFE-El Observatorio Cetelem Auto 2018

Figura 68 – Resultados sobre el año de lanzamiento del vehículo autónomo

Como conclusiones finales al informe del observatorio Cetelem se obtienen las siguientes hipótesis:

- El 62% piensa que los fabricantes tradicionales serán los auténticos protagonistas del paso a este nuevo tipo de vehículo, aunque el 55% dice estar dispuesto a adquirir un coche autónomo de Google o Apple.
- El 75% cree que será una realidad universal, y que tardaremos 6.6 años en poder usarlos.
- En un coche 100% autónomo, casi la mitad de los conductores dicen que dedicarían el tiempo al ocio.
- El principal miedo de los usuarios alrededor del coche autónomo es no tener el control del vehículo.

9.4. Cuestionario

Ante la necesidad de obtener datos recientes sobre la percepción de la sociedad, creamos un pequeño cuestionario al cual respondieron un total de 368 personas. Cabe destacar que el número de respuestas es muy superior al esperado. Además, es de importante relevancia el número de participantes ya que no fue compartido por vías oficiales de la Universidad, lo cual significa que la mayor parte de respuestas son debidas al boca a boca, y esto demuestra el interés de la gente por el tema.

Presentaba la siguiente estructura:

PARTE 1 - INTRODUCCIÓN

- Rango de edad
 - -16
 - 16-25
 - 25-40
 - 40-60
 - 60
- ¿Cómo te sueles mover en el día a día?
 - Andando
 - Coche
 - Moto
 - Bus
 - Bici
 - Otra
- ¿Dispone de ayudas a la conducción el vehículo que utilizas habitualmente?
 - Sí
 - No
- En caso afirmativo, ¿cuáles? (Respuesta de opción múltiple)



- Sensores de aparcamiento
- Aparca solo
- Control de crucero
- Control de crucero adaptativo
- Luces cruce/carretera con cambio automático
- Luces MATRIX
- Cámara(s)
- Alerta de colisión frontal
- Frenado automático de emergencia
- Alerta de salida del carril
- Reconocimiento de señales
- Otra

PARTE 2 – CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

- ¿En qué año crees que podremos disfrutar de vehículos completamente autónomos? (Respuesta abierta)
- ¿Confiarías en un vehículo autónomo?
 - Sí
 - No
- En caso no confiar, ¿a qué se debe? (Respuesta abierta)

PARTE 3 – DILEMAS ÉTICO-MORALES

Uno de los grandes problemas a día de hoy es cómo programar estos vehículos en caso de accidente inevitable.

A continuación te voy a exponer un caso de accidente inevitable, en el que tú, como ser humano, deberás elegir qué hacer, para así poder hacernos una idea sobre lo que deberían hacer los vehículos autónomos.

- Te encuentras circulando por una autovía de tres carriles en un vehículo pequeño. Vas por el carril central. De repente ves que el camión de delante pierde parte de su carga, ¿qué harías?
 - Volantazo a la derecha, donde hay un SUV con una familia entera en su interior. Su vehículo es más grande que el tuyo, crees que su coche puede absorber el impacto del tuyo sin que a ellos les pase nada. Aunque igual tú no corres la misma suerte
 - Volantazo a la izquierda, donde hay un motorista. Seguramente causes la muerte del motorista por el impacto, pero tú saldrías mejor parado al colisionar con algo de menor volumen y peso que tu coche
 - Frenazo, aunque con la cantidad de coches que vienen detrás igual creas un efecto dominó
 - Sigues como si nada, asumes el riesgo de chocar con la carga ya que crees que sería la situación menos desfavorable
- ¿Quién debería decidir qué hacer en estos casos?
 - El gobierno, mediante una ley que regule la conducción autónoma
 - Cada marca debería tener la capacidad de crear sus propios patrones
 - Otra

La muestra de 368 personas encuestadas no sirve como referencia general, pero sí para sacar conclusiones sobre nuestro entorno más cercano.

Presentaremos los resultados obtenidos en forma de gráficos, comentándolos brevemente.

La primera pregunta trata el rango de edad de las personas encuestadas. Es normal que el predominante sea la franja entre 16 y 25, pues el formulario ha sido compartido en gran medida entre estudiantes.

Cabe también destacar que este rango de edades suele disponer de menos recursos para la compra de automóviles, por lo que normalmente disponen de vehículos más envejecidos. Aunque también resulta interesante ya que serán los

futuros compradores de la tecnología cuando esta se encuentre en la etapa de madurez.

Rango de edad

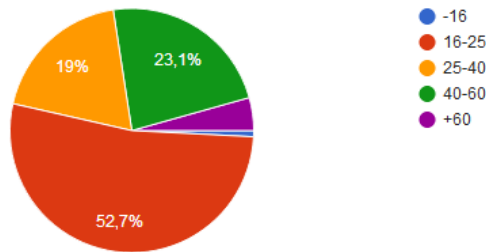


Figura 69 – Rango edad

Como podemos ver en la figura 70 las respuestas a esta pregunta han sido más equilibradas, siendo casi igual el porcentaje de gente que se mueve en coche o andando. El 4.5% de los encuestados optó por la respuesta “otros”, con respuestas, entre muchas otras, como cercanías, tranvía o patinaje eléctrico, las cuales no habían sido contempladas en un principio.

¿Cómo te sueles mover en el día a día?

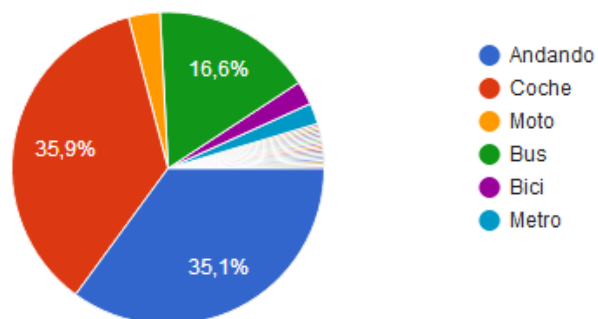


Figura 70- Método habitual de transporte

Como preveíamos que los resultados de franjas de edad fueran similares a los obtenidos, decidimos crear una pregunta sobre si el vehículo que utilizaban habitualmente disponía de ayudas a la conducción, y el resultado mayoritario fue que no.

El vehículo que utilizas habitualmente tiene ayudas a la conducción?

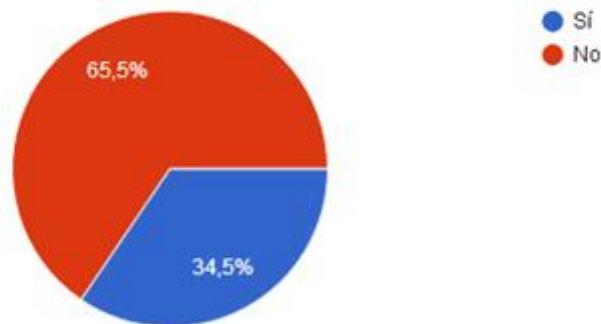


Figura 71 – Porcentaje de vehículos con ayudas a la conducción

Para obtener unos resultados más significativos decidimos hacer un gráfico comparativo entre la franja de edad y si el vehículo disponía de ayudas a la conducción o no, buscando que el número de personas de cada franja no interfiriera en los resultados. Analizando los resultados obtenidos en el gráfico podemos deducir:

- La franja de -16 años no es significativa ya que hablarán de vehículos de sus padres o familiares, los cuales tendrán más edad.
- Las franjas de edades comprendidas entre 16-25 y 25-40 son bastante similares, observándose sólo un pequeño incremento en esta segunda respecto a la primera.

- Entre los 40 y los 60 años podemos observar que el porcentaje de vehículos con ayudas a la conducción es ligeramente mayor frente al de vehículos sin ayudas.
- Las personas mayores de 60 años son las que disponen de vehículos con más ayudas a la conducción.

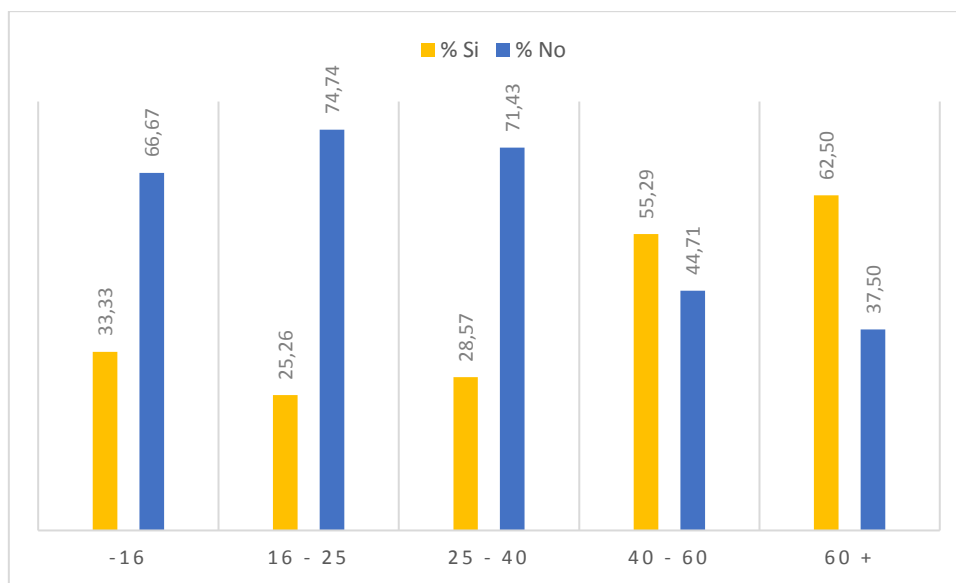


Figura 72 – Comparación rango de edad con el % de vehículos con ayudas a la conducción

La siguiente pregunta no la consideramos completamente significativa, ya que ha habido un total de 137 respuestas mientras que sólo un 34.5% de las 368 personas encuestadas marcaron “sí” en la pregunta anterior. Estas cifras apuntan a que aproximadamente 10 personas respondieron sin tener que hacerlo, aunque podemos descontar 7 que escribieron “nada”, “ninguno” o palabras similares cuando se les daba la opción de añadir otra opción que no estuviera incluida.

Una vez filtrados los datos, poniendo todos esos votos citados como nulos, los resultados son los presentados en la siguiente figura.

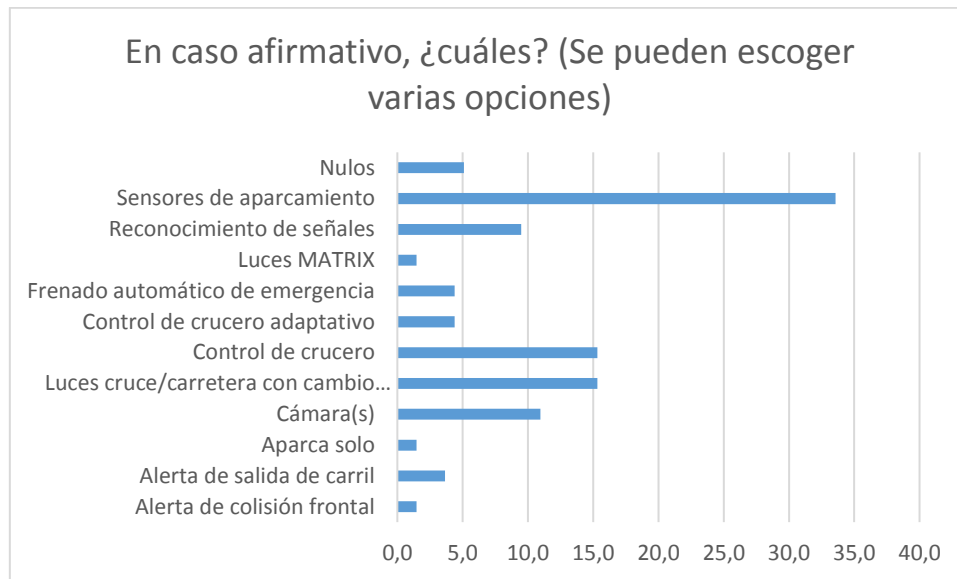


Figura 73 – Ayudas a la conducción más habituales

La siguiente pregunta (¿En qué año crees que podremos disfrutar de vehículos completamente autónomos?), era de respuesta abierta, por lo que hemos calculado la media, la mediana y la desviación típica de los resultados.

Se han contabilizado un total de 41 votos nulos. El año en el que según la media podremos disponer de vehículos completamente autónomos es el 2034, mientras que el que más veces se ha repetido, es decir, la mediana, es 2030. La desviación típica es 18.19.

Después, se preguntó si confiarían en un coche autónomo, haciendo explicar la razón a las personas que respondían negativamente. Las personas que respondían negativamente solían tener razones similares, mayoritariamente era desconfianza en el nivel de la tecnología.

¿Confiarías en un vehículo autónomo?

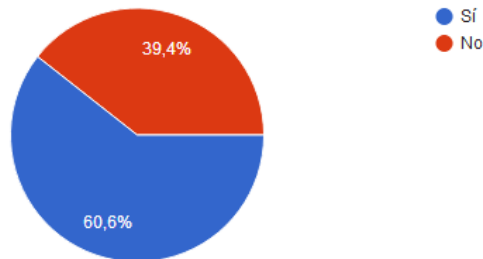


Figura 74 – Porcentaje confianza en vehículos autónomos

La siguiente pregunta era sobre el conflicto moral generado en caso de accidente inevitable. Mayoritariamente la gente prefiere pegar un frenazo, confiando que los vehículos que vengan detrás eviten el accidente de forma similar. Al igual que en la máquina moral del MIT, la gente prefiere no desviarse de la trayectoria original.

Te encuentras circulando por una autovía de tres carriles en un vehículo pequeño. Vas por el carril central. De repente ves que el camión de delante pierde parte de su carga, ¿qué harías?

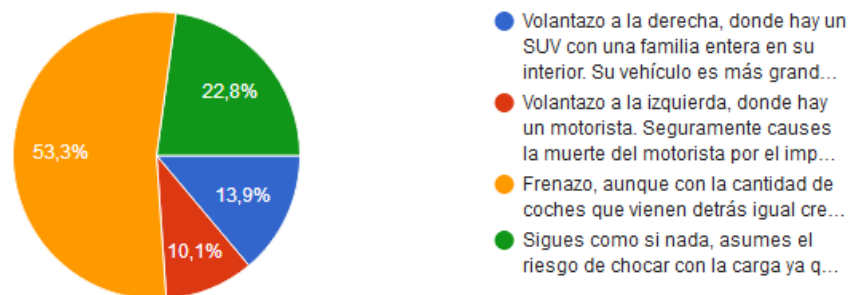


Figura 75 – Respuestas frente al conflicto moral

La última respuesta ha causado bastante controversia ya que casi un cuarto de los encuestados optaban por escribir su propia respuesta, no coincidiendo, como norma general con las demás. Se han planteado soluciones como un comité de ética internacional o incluso que moralmente nunca se deba llegar al nivel 5 de autonomía, por lo que siempre debería existir la figura del conductor.

¿Quién debería decidir qué hacer en estos casos?

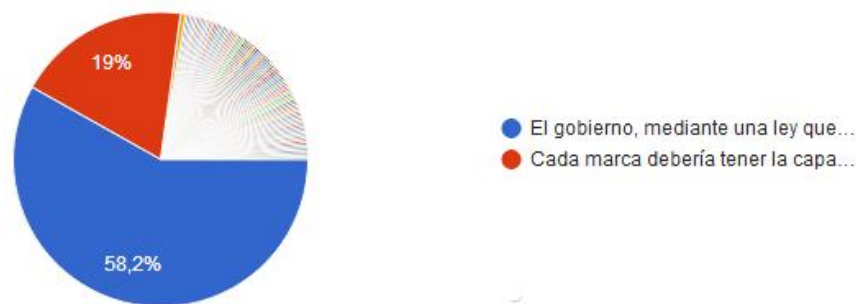


Figura 76 – Respuestas sobre quién debería decidir en caso de accidente inevitable

Capítulo 10

Futuros desarrollos

La automatización en vehículos es un tema en constante desarrollo, por ese motivo hemos querido recoger diferentes puntos de vista de cómo se prevé será su futuro.

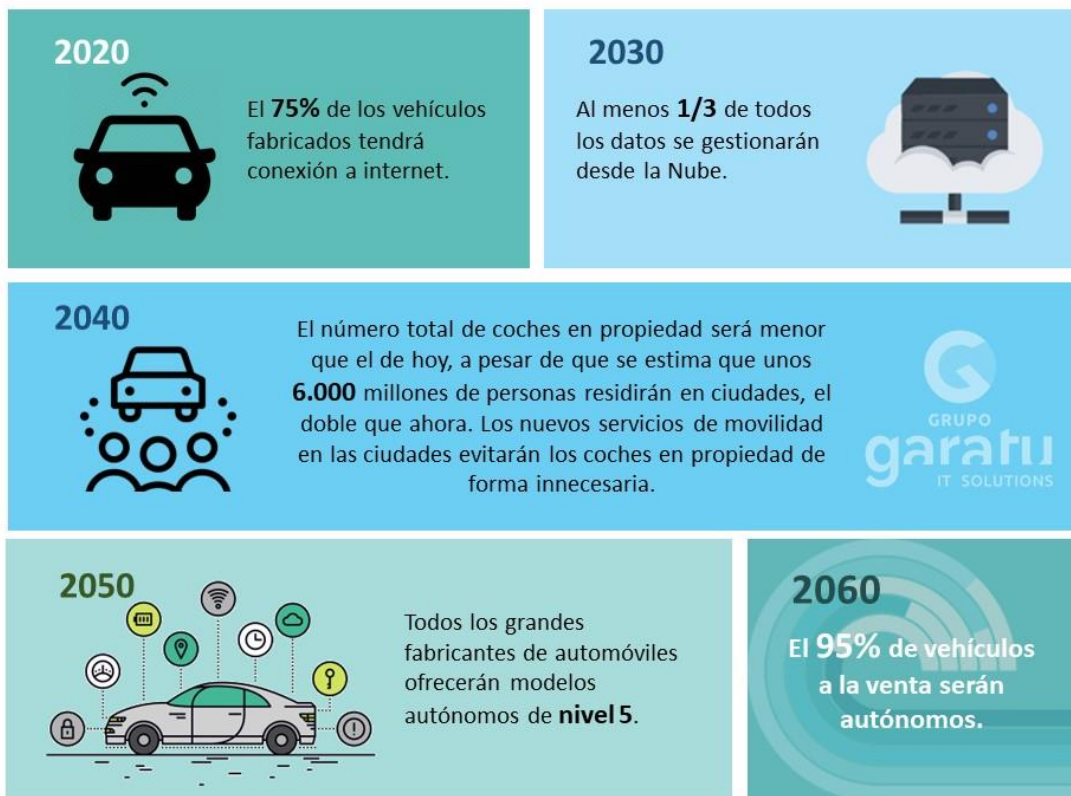


Figura 77 – Evolución prevista por Grupo Garato IT SOLUTIONS

10.1. Elementos de seguridad obligatorios en 2022

En Europa empezarán a ser obligatorios en 2022 ciertos sistemas que han sido desarrollados recientemente.

Según Javier Guillenea en “El conductor es una máquina” [Guillenea, J. 2019] del Norte de Castilla del 19 de Abril de 2019, los sistemas obligatorios serán:

- Asistente de mantenimiento en el carril
- Asistente de velocidad inteligente
- Caja negra
- Cámara trasera
- Detector de fatiga
- Etilómetro antiarranque
- Frenado automático de emergencia
- Luna de seguridad que absorba impactos
- Protecciones laterales frente a impactos
- Sensores en los neumáticos

Esto ha desatado gran polémica en la sociedad, ya que la mayoría de términos empleados son desconocidos para ellos, es por ello que Diariomotor escribió un artículo titulado “Desmontando mitos: qué elementos de tu seguridad serán obligatorios en coches nuevos en 2022” [Villareal, D. 2019].

En este artículo se explica que no habrá limitadores de velocidad, esencialmente serán sistemas de reconocimiento de señales que reconozcan los límites de velocidad, por lo que deja claro que la Unión Europea no introducirá limitadores de velocidad máxima. Además, los vehículos fabricados a partir de 2022 dispondrán de la preinstalación de un sistema de bloqueo mediante alcoholímetro. Esta preinstalación permitirá a cada país crear una legislación propia al respecto, tratando el modo a proceder, y adaptando las diferentes tasas de alcohol permitidas

según el territorio. Las cajas negras buscan que se pueda recuperar la información anterior a un accidente, siempre bajo las leyes actuales de protección de datos.

Estas medidas pretenden salvar hasta 25000 vidas y 140000 heridos graves en accidentes de tráfico hasta 2038.

10.2. Tendencias que afectarán al sector automóvil

Según PwC en el estudio “Eascy”, las tendencias que afectarán al sector automóvil se pueden resumir en las siguientes dimensiones:

- Nuevo ciclo de producción

Según este estudio, se prevé un aumento de la población y una mayor demanda de servicios de movilidad, por lo que en el año 2030 se producirá un aumento de los kilómetros recorridos por persona y año, con un aumento del 23% en Europa, del 24% en Estados Unidos de América y del 183% en China.

Este aumento de kilómetros tendrá como consecuencia una frecuencia mayor en la sustitución de vehículos, forzando a los fabricantes a cambiar su ciclo actual de producción. Se pronostica que los fabricantes optarán por actualizar los modelos de vehículos anualmente, buscando así incorporar los nuevos desarrollos de software y hardware.

Esto implica además, que desaparezca la ITV de la forma en la que la conocemos actualmente.

- Los avances del automóvil

Se estima que en Estados Unidos y en Europa en torno al 70% de los vehículos estarán conectados en 2030, mientras que en China se prevé que todos los vehículos estén conectados. Estos vehículos deberán actualizarse periódicamente, al igual que ocurre con los sistemas operativos de los Smartphone.



En el año 2030 un 95% de los vehículos matriculados a nivel mundial será híbrido o eléctrico y pese a que la mayoría de los vehículos sigan siendo de combustión, estos irán desapareciendo paulatinamente.

La inclusión de los vehículos autónomos en el mercado será más complicada que el caso anterior, sobre todo por la necesidad de regular su presencia. En 2030 se estima que entre un 85 y un 90% de los vehículos sean conducidos por personas.

- Transporte compartido

Los hábitos de consumo en materia de movilidad cambiarán de forma radical, pues frente al 1% actual de trayectos en coche compartido en Europa, se estima que en 2030 alcancen el 35%, ya que al disponer de vehículos autónomos será absurda la diferencia entre el conductor y el pasajero.

Como conclusión de este estudio, podemos decir que en un futuro dispondremos de vehículos conectados, compartidos y con mayor grado de autonomía.

10.3. Salón del Automóvil de Ginebra 2019

El Salón del Automóvil de Ginebra es un escaparate donde los grandes fabricantes de vehículos presentan sus últimas novedades o aquello con lo que están trabajando. En esta ocasión, cabe destacar las intervenciones de Volkswagen, Renault y Tesla.

El grupo Volkswagen presentó la berlina I.D.VIZZION. Este vehículo eléctrico con nivel de autonomía 2-3 se comercializará a partir de 2022, no obstante, la compañía ha afirmado que unos años después lanzará una nueva versión de la misma berlina con un nivel de autonomía 5. Además, han confirmado que este vehículo no dispondrá de volante ni de pedales.

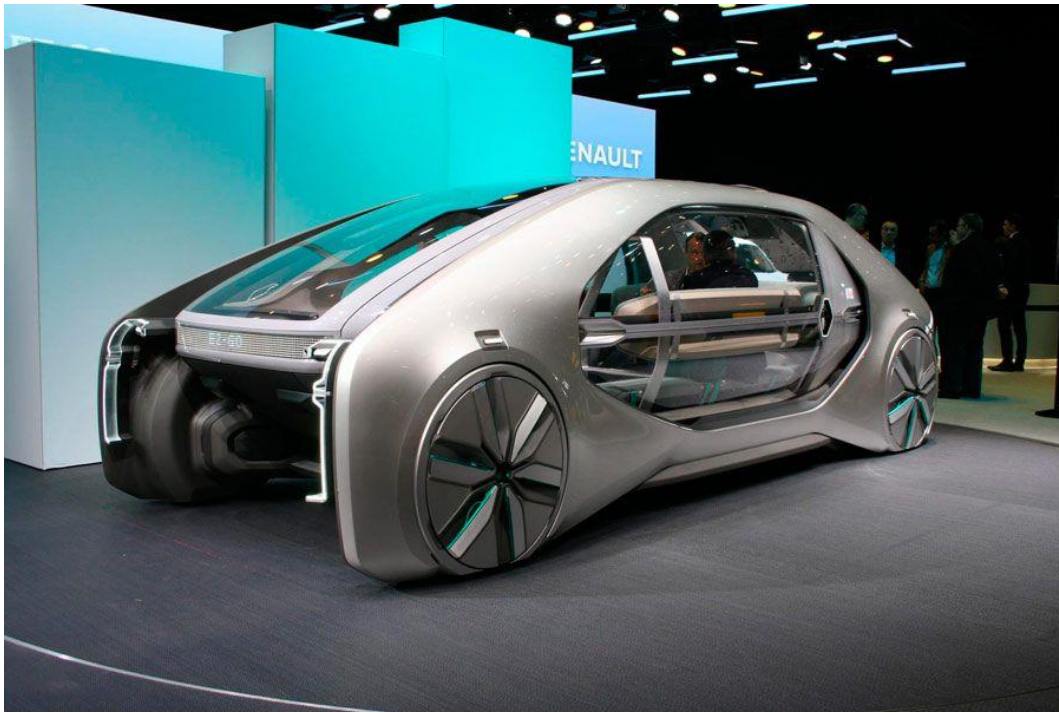


Figura 78 - Renault EZ-GO

Renault presentó EZ-GO, un vehículo con nivel 4 de autonomía y conectado. Se trata de un vehículo a partir del cual derivará una nueva familia de prototipos. No sabemos cuál es la fecha de lanzamiento de este vehículo, pero la presentación del prototipo en el Salón nos demuestra que Renault está trabajando mucho en esta tecnología.

Elon Musk afirmó durante una conferencia que Tesla dispondrá de modelos autónomos de nivel SAE 5 en 2019, aunque a fecha de hoy todavía no se ha presentado tal vehículo.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 11

Conclusiones

A continuación presento cuales han sido las conclusiones que han podido obtenerse sobre la conducción autónoma tras la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Una apuesta de futuro

Todos los fabricantes automovilísticos apuestan por la conducción autónoma y gran parte de ellos afirma tener la tecnología muy avanzada. Esto genera indicios que apuntan a que dispondremos de vehículos con nivel de autonomía 5 en torno a mediados de la próxima década.

Beneficios económicos, sociales y medioambientales

La conducción autónoma democratizará la conducción, ya que tanto ancianos como niños podrán utilizar los vehículos. Este hecho incrementará el tiempo libre de forma global, pues no tendremos que dedicar tiempo a la conducción.

El hecho de que los vehículos autónomos respeten siempre la señalización, reducirá el número de accidentes. Además, se reducirá el consumo de los vehículos ya que siempre circularán con la “marcha” adecuada a cada situación, y esto se traducirá en una reducción de emisiones de gases nocivos a la atmósfera.

Cambios en la legislación

La época de transición entre vehículos convencionales y vehículos autónomos será la de mayor probabilidad de accidentes, lo que obligará a replantear las pólizas de seguro ya que el conductor podrá no tener responsabilidad alguna en el accidente. A su vez, habrá que endurecer y remodelar las ITV.

Aunque haya que hacer cambios en la legislación, debemos saber que ésta avanza mucho más lento que la tecnología, lo cual ralentizará la inclusión de vehículos autónomos en el mercado.

Constante desarrollo

Los vehículos deberán disponer de un sistema de inteligencia artificial para aprender de situaciones anteriores y a su vez, estar conectados a una red 5G para permitir que el aprendizaje sea de toda la flota de vehículos. Esto nos indica que se deberá desarrollar una red 5G tanto en vehículos como en infraestructuras.

El aprendizaje será constante, por lo que se podría decir que será un tema en constante desarrollo. Lo cual, generará una mayor necesidad de mantenimientos preventivos en los vehículos.

Desconocimiento

Aunque la conducción autónoma parezca un tema reciente, las primeras investigaciones se realizaron hace casi un siglo, no obstante, no conocemos gran parte de la información debido al secretismo existente por parte de las compañías.

Este secretismo es debido a la rivalidad entre los fabricantes por ser los primeros en lanzar un vehículo con nivel de autonomía 5.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Apéndices

En los anexos de este Trabajo Fin de Grado podremos encontrar diversos documentos:

- Bloque I: Siglas y acrónimos significado y traducción en caso de ser necesaria.
- Bloque II: Taxonomía y definiciones de los términos relacionados con los sistemas de automatización de conducción para vehículos de motor en carretera por la Sociedad de Ingenieros en Automoción.
- Bloque III: Resultados obtenidos en el cuestionario.



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Bibliografía

- Álvarez, J. (2017). *Eléctrico, autónomo y conectado: así es EMIRAI 4, el nuevo prototipo de Mitsubishi Electric.*
- Anrigo, Ph; Gouget, N; Maignan, D. (2015). *ADAS & Autonomous Vehicle. Test & Validations Approach.*
- Arpón, C. (2017). *Los sistemas no tripulados como nuevo patrón de movilidad y su importancia para el marketing.* Trabajo Fin de Grado por la Universidad de León.
- Barrick, D. (1962). *Automatic steering techniques.*
- Bastien, R. (2017). *Autonomous driving: a revolution: a revolution for the ecosystem of mobility.*
- Bauermann, I.; Steinbach, E. (2008). *RDTC Optimized Compression of Image-Based Scene Representations.*
- Borja, F. de (2016). *Navegación automática en un vehículo con distribución Ackermann.* Trabajo Fin de Máster por la Universitat Politècnica de Valencia.
- Chao, E. L. (2018). *Automated driving systems 2.0. A vision for safety.* US Department of Transportation.
- Chao, E. L. (2018). *Automated vehicles 3.0. Preparing for the future of transportation.* US Department of Transportation.
- C-ITS Platform (2016). *Final Report.*

- Dickmanns, E. D.; Behringer, R.; Brudigam, C.; Dickmanns, D.; Tomanek, F.; Holt, V. van (1993). *An all-transputer visual autobahn-autopilot/copilot*.
- Díez, K. (2018). *Modelado de tráfico urbano de vehículos conectados*. Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior (2015). *Tráfico establece el marco para la realización de pruebas con vehículos de conducción automatizada en vías abiertas a la circulación*.
- Dirección General de Tráfico, Ministerio del Interior (2016). *Informe y análisis sobre influencia de los sistemas de ayuda a la conducción en la seguridad vial y su aplicación para la clasificación de vehículos*.
- DYNA New Technologies (2017). *Implicaciones éticas de los vehículos sin conductor*.
- El Observatorio Cetelem (2016). *El coche autónomo. Los conductores, dispuestos a ceder la conducción a la tecnología*.
- Gardels, K. (1960). *Automatic car controls for electronic highways*.
- Groupe Renault (2013). *Tech'off. La sécurité sur tous les fronts*.
- Groupe Renault (2017). *Project Management Training n°5*.
- Guillenea, J (2019). *El conductor es una máquina*.
- Hanson, M. (1966). *Projes metran: An integrated, evolutionary transportation system for urban areas*. MIT Press.

- Intel (2019). *Intel GO Autonomous Driving Solutions. Autonomous driving, accelerated.*
- Jiménez, M. L. (2015). *Implicaciones de la introducción del vehículo autónomo en España.* Trabajo Fin de Máster por la Universidad Carlos III de Madrid.
- Krabbes, M.; Bohme, H. J.; Stephan, V.; Gross, H. M. (1997). *Extension of the ALVINN- architecture for robust visual guidance of a miniature robot.*
- Luis, A. J. de (2016). *Ford dobla su apuesta para lanzar su primer coche autónomo en 2021.*
- Marquina, D. (2018). *Interfaces dirigidas por voz aplicadas a vehículos autónomos.* Trabajo Fin de Grado por la Universitat Oberta de Catalunya.
- McCarthy, J. (1968). *Computer Controlled Cars.*
- Milanés, V. (2010). *Sistema de control de tráfico para la coexistencia entre vehículos autónomos y manuales mediante comunicaciones inalámbricas.* Tesis doctoral por la Universidad de Alcalá.
- Miller, H. J.; Shaw, S. (2001). *Principles and applications.* Oxford University Press.
- Montoro, L; Martí-Belda, A; Lijarcio, I; Bosó, P.; López, C.; Viladrich, R; Suárez, J. (2018). *Coche autónomo, seguridad vial y formación de conductores.*
- Murias, D. (2016). *¿Cuántos años quedan para que pueda comprarme un coche autónomo?*
- Naranjo, J. E.; González, C.; García, R.; de Pedro, T. (2006). *ACC+Stop&go maneuvers with throttle and brake fuzzy control.*

- Naranjo, J. E.; Bouraoui, L.; García, R.; Parent, M.; Sotelo, M. A. (2009). *Interoperable Control Architecture for Cybercars and Dual-Mode Cars*.
- Pérez, J. M. (2012). *Agentes de control de vehículos autónomos en entornos urbanos y autopistas*. Tesis doctoral por la Universidad Complutense de Madrid.
- Pomerleau, D. (1995). *RALPH: rapidly adapting lateral position handler*.
- Rodella, F. (2018). *Viaje en el vehículo del futuro: sin conductor y con conexión 5G*.
- Romo, J (2016). *Conducción Autónoma*. Universidad de Valladolid.
- Rumar, K.; Fleury, D.; Kildebogaard, J.; Lind, G.; Mauro, V.; Berry, J.; Carsten, O.; Heijer, T.; Kulmala, R.; Machata, K.; Zackor, I. (1999). *Intelligent Transportation Systems and road safety*.
- Sauras, A. (2017). *La conducción autónoma empieza a gatear*.
- Sheikholeslam, S.; Desoer, C. A. (1992). *Design of decentralized adaptive controllers for a class of interconnected nonlinear dynamical systems*. Informe técnico de Institute of Transportation Studies University of California.
- Shladover, S. E. (2007). *Path at 20 – history and major milestones*.
- Sugawara, F.; Ueno, H.; Kaneda, M.; Koreishi, J.; Shirato, R.; Fukuhara, N. (1996). *Development of Nissan's ASV*.
- Vaa, T.; Pettinen, M.; Spyropoulou, I. (2007). *Intelligent transport systems and effects on road traffic accidents*.
- Villareal, D. (2019). *Desmontando mitos: qué elementos de seguridad serán obligatorios en 2022*.

- Vlacic, L.; Thomas, D.; Pérez, J. (2011). *Real time co-operative decision making & control systems*.
- Zadeh, L. A. (1965). *Fuzzy Sets*.