

El salto inminente; el vehículo autónomo conectado y sus implicaciones en la sociedad y en la infraestructura



An imminent step forward; connected autonomous vehicles and their implications for society and infrastructure

José Carlos Rubio Matilla
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Acciona Ingeniería

Comité Técnico de Planificación, Diseño y Tráfico
Asociación Técnica de Carreteras (ATC)

La llegada a medio plazo de vehículos (automóviles y camiones) semiautónomos al principio y autónomos después generará unos cambios en la sociedad aún difíciles de vislumbrar. En este artículo se analizan las principales implicaciones del uso del vehículo autónomo, así como las barreras para su generalización a corto/medio plazo y su situación legal en España. Asimismo, se describe brevemente la situación actual en el campo de los ITS colaborativos y las carreteras conectadas en España, para finalmente analizar algunas de las posibles implicaciones del vehículo autónomo y conectado en la infraestructura viaria

In the medium term, the introduction of semi-autonomous vehicles at the beginning (cars and trucks) and later completely autonomous will generate changes in society that are still difficult to foresee. This article analyzes the main implications of using autonomous vehicles, as well as the barriers to ensure their wide-spread use in the short/medium term and their legal situation in Spain. It also briefly describes the current situation concerning collaborative ITS and connected roads in Spain, to finally analyze some of the possible implications of the autonomous and connected vehicles on road infrastructures.

1. Introducción

En los últimos años estamos asistiendo al nacimiento de un nuevo medio de transporte por carretera. Si bien no resulta en su aspecto exterior tan diferente a un vehículo convencional, el concepto de ser conducido de forma autónoma supone unas implicaciones a largo plazo tan grandes que aún no son vislumbradas con claridad. Este impacto se debe a que, hasta la fecha, el automóvil es el medio de

transporte más utilizado en el mundo y casi el único que permite llegar hasta la puerta de nuestras casas y lugares de trabajo.

Es posible ver recientemente multitud de videos, anuncios y noticias en los que se pretende mostrar que el vehículo autónomo se trata de una realidad consumada, ya al alcance de casi todos. Esto no es completamente cierto, ya que existen aún múltiples obstáculos a sortear hasta que llegue a ser una realidad plena. Al igual que con otros bie-



nes de consumo tecnológico, no es fácil predecir las fechas de implantación en nuestras carreteras, aunque lo que sí es seguro es que llegará. De hecho, es deseable que la penetración de este nuevo modo de transporte se produzca de la forma más gradual posible, dada la gran cantidad de personas cuyo trabajo depende, directa o indirectamente, del vehículo a motor.

A lo largo del artículo se pretende analizar de forma somera todas las facetas que pueden resultar de mayor interés tanto para ingenieros especialistas como para público en general, dejando más al margen cuestiones excesivamente técnicas como los sistemas de comunicaciones y espectros de radiofrecuencias, el mundo de los seguros, la electrónica para toma de datos, así como la inteligencia artificial empleada.

Finalmente se apuntan algunas líneas de actuación de bajo coste en materia de infraestructuras que se podrían aplicar de cara a la progresiva implantación del vehículo autónomo.

2. Implicaciones del uso del Vehículo Autónomo (V.A.)

Hay cuestiones sobre las que existe un consenso generalizado mientras que en otras hay aún dudas en cuanto a la aceptación y las consecuencias de la implantación masiva del vehículo autónomo (a partir del nivel 4 de la Society of Automotive Engineers), tanto a corto como a largo plazo.

Entre las que hay consenso se pueden citar:

- Reducción drástica de accidentes en términos generales.
 - Como consecuencia de la menor siniestralidad, posibilidad de fabricar coches mucho más ligeros que consumen menor cantidad de combustible o electricidad por km.
 - Reducción de los costes operativos por km (combustible, seguros, etc.).
 - Permite la movilidad universal (discapacitados, niños, personas sin carnet, etc.).
 - Aumento del "carsharing" y reducción del vehículo en propiedad.
- Se podría reducir significativamente el número de usuarios del transporte público en su concepción actual por la pérdida de incentivos tales como evitar problemas de aparcamiento, poder leer durante el trayecto, etc., así como la supresión de barreras de acceso al vehículo privado (carnet y limitaciones físicas). Esto provocaría un incremento del coste del billete y agravaría el problema.
 - Especial utilidad en el transporte del "último kilómetro" desde otro medio de transporte hasta el destino final.
 - Destrucción de muchos puestos de trabajo, no solo de conductores (hay 5,6 millones de conductores de camiones pesados sólo en la UE y EEUU), sino de trabajos relacionados con el transporte actual tales como seguros, sanitarios, talleres, abogados, policías de tráfico, etc.
 - Reducción de los ingresos de los ayuntamientos derivados de los aparcamientos, así como de los de otras administraciones por multas de tráfico.
 - Expansión de las ciudades por la disminución de la importancia de vivir cerca del centro.

Entre las que sigue habiendo dudas:

- Nivel de servicio de las carreteras. Cabría suponer que la ausencia de accidentes eliminaría una gran cantidad de atascos derivados de los mismos. Asimismo, una conducción autónoma sin infracciones debe aumentar la capacidad. Sin embargo, el previsible aumento de la movilidad por las razones anteriormente expuestas mitigaría el efecto beneficioso del aumento de capacidad de las vías al reducirse las separaciones entre vehículos. Por tanto, no está claro si finalmente el nivel de servicio mejoraría o no.
- Uso del suelo en el centro de las ciudades por parte de comercios y empresas:
 - o Puede aumentar la densidad de edificación por la desaparición de los aparcamientos actuales (el coche se va de forma autónoma a un aparcamiento a las afueras) y aprovechamiento para levantar nuevos edificios. Esta cuestión depende lógicamente de la ciudad, siendo nada desdeñable en las ciudades americanas.
 - o Puede disminuir la densidad por no ser ya tan necesario estar instalado en el centro.
- Coste y modalidad de los seguros. Es de suponer una reducción notable del coste global de los seguros. Sin embargo, es de esperar una reducción drástica de los accidentes leves pero un aumento proporcional de los accidentes graves, que afecten a varios vehículos. Esto es negativo para los seguros ya que resulta más complicado de estimar costes y puede mitigar el efecto global. Además, resulta probable un cambio en la tipología de accidentes como consecuencia de, por ejemplo, la relajación de la mentalidad de los peatones por suponer que el vehículo autónomo va a frenar.

3. El Vehículo Autónomo a corto plazo

Casi todos los fabricantes están embarcados en programas de desarrollo de vehículos autónomos, por lo que parece claro que antes o después será una realidad comercial. Actualmente existen ya modelos a la venta que se pueden considerar cercanos al Nivel 3 SAE (Tabla 1), entre los que cabe resaltar el Audi A8, Mercedes Clase S, BMW Serie 7, Tesla Model S y X y el Nissan Leaf. Sin embargo, hasta la fecha no se puede hablar de conducción autónoma sino de conducción asistida o semiautónoma.

El sistema que se está generalizando entre los vehículos es el ACC (control de crucero adaptativo), que se mueven en el Nivel 2 de la tabla anterior, y que están diseñados para ayudar al conductor, no para tomar el control. Incluso este sistema, que resulta aparentemente sencillo comparado con las funcionalidades que se esperan de los vehículos completamente autónomos, tiene ciertos problemas, derivados sobre todo de la detección de vehículos parados y de aquellos que entran o salen por sorpresa del carril de circulación. EuroNCAP ha realizado recientemente pruebas a vehículos dotados con este sistema, en las que se comprueba el diferente comportamiento de cada uno frente a situaciones similares.

Existen sin embargo ciertas barreras para una introducción plena del vehículo autónomo con niveles de automa-

tización superiores, cuyas causas se podrían agrupar en barreras físicas/tecnológicas, barreras psicológicas y barreras normativas.

Entre las barreras **físicas/tecnológicas**, que provocan que la respuesta aún no sea perfecta por parte del vehículo autónomo cabe citar:

- Dificultad para encontrar un sistema que sea capaz de igualar las funciones del ojo humano (diferentes reflexiones de los materiales, diferentes alcances, radar inefectivo en peatones y ciclistas, etc.).
- El clima: la nieve y la lluvia intensa (y en general las condiciones climatológicas adversas) podrían dar problemas a la hora de orientarse y esquivar obstáculos tales como placas de hielo, seguir las rodadas del coche anterior en la nieve, etc., que son realizadas actualmente por los conductores con relativa normalidad. El LIDAR (sensor láser usado por los vehículos autónomos para orientarse) tendría dificultades para distinguir las marcas viarias y otras señales que le ayudan a conducir de forma segura.
- Baches: los sensores actuales tienen grandes dificultades para detectarlos o, al menos, distinguirlos de otros elementos como una sombra, un charco, una mancha de aceite o, incluso, un bache ya reparado. Y no es un problema sólo de comodidad, sino de los numerosos problemas

Tabla 1 Niveles de automatización según la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE)

NIVEL	DENOMINACION	DEFINICION	TAREAS DE CONDUCCION		CONDUCCION LONGITUDINAL (ACELERAR/FRENAR) Y LATERAL (DIRECCION)	CONTROL DEL ENTORNO	RECUPERACION DE LAS TAREAS DE CONDUCCION EN CASO DE CONTINGENCIA	TAREAS DE CONDUCCION REALIZADAS POR EL SISTEMA
			CONDUCTOR	SISTEMA				
0	SIN AUTOMATIZACION	El conductor realiza continuamente todas las tareas asociadas a la conducción, incluso cuando son mejoradas a través de algún aviso o la intervención de sistemas.	El conductor realiza continuamente la tarea de conducción dinámica lateral y longitudinal.	N/A	CONDUCTOR	CONDUCTOR	CONDUCTOR	N/A
1	CONDUCCION ASISTIDA	El sistema de ayuda a la conducción desarrolla una tarea específica, bien realiza la conducción dinámica lateral o longitudinal utilizando la información del entorno del vehículo, mientras que el conductor realiza el resto de tareas de conducción.	El conductor realiza continuamente la tarea de conducción dinámica lateral o longitudinal.	El sistema realiza la conducción longitudinal o lateral que no esté realizando el conductor.	CONDUCTOR Y SISTEMA	CONDUCTOR	CONDUCTOR	ALGUNAS
2	CONDUCCION PARCIALMENTE AUTOMATIZADA	El sistema de ayuda a la conducción desarrolla la conducción dinámica lateral y longitudinal utilizando la información del entorno del vehículo, mientras que el conductor realiza el resto de tareas de conducción.	Supervisión de las tareas de conducción dinámica y el entorno.	Conducción longitudinal y lateral en un caso de uso definido.	SISTEMA	CONDUCTOR	CONDUCTOR	ALGUNAS
3	CONDUCCION AUTOMATIZADA CONDICIONADA	El sistema de conducción automatizada desarrolla todas las tareas de la conducción con la expectativa de que el conductor responda adecuadamente a la petición de intervención por parte de éste.	No es necesaria la supervisión constante de la conducción automatizada pero siempre debe estar en una posición adecuada para reanudar el control.	Conducción longitudinal y lateral en un caso de uso definido. Reconoce sus límites de rendimiento y pide al conductor reanudar la tarea de conducción dinámica con margen de tiempo suficiente.	SISTEMA	SISTEMA	CONDUCTOR	ALGUNAS
4	CONDUCCION ALTAMENTE AUTOMATIZADA	El sistema de conducción automatizada desarrolla todas las tareas de la conducción, incluso si el conductor no responde adecuadamente a la petición de intervención por parte de éste.	El conductor no es requerido durante el caso de uso.	Conducción longitudinal y lateral en todas las situaciones de un caso de uso definido.	SISTEMA	SISTEMA	SISTEMA	ALGUNAS
5	CONDUCCION PLENAMENTE AUTOMATIZADA	El sistema de conducción automatizada desarrolla todas las tareas de la conducción bajo todas las circunstancias de la vía y ambientales.	N/A	Conducción longitudinal y lateral en todas las situaciones encontradas durante toda la prueba. No se requiere conductor.	SISTEMA	SISTEMA	SISTEMA	TODAS

que le pueden acarrear a los neumáticos o la suspensión. Incluso una alcantarilla sin tapa podría no ser detectada y suponer un riesgo serio de accidente, y por el contrario detectar objetos inofensivos como bolsas, papel de aluminio, etc. e identificarlos como obstáculos que hagan detener el vehículo.

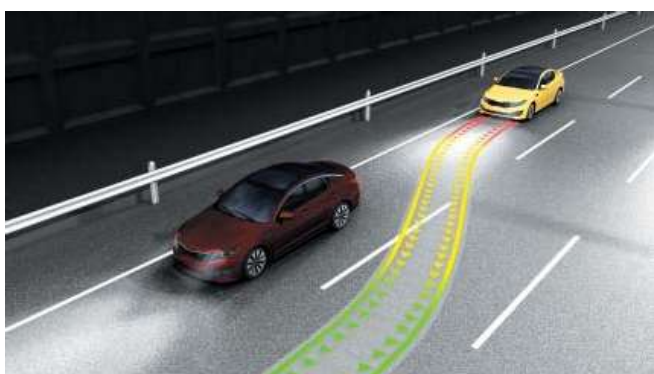
- Carreteras sin cartografiar: muchos de los vehículos autónomos se basan en los mapas detallados de las carreteras previamente escaneados, que el vehículo analiza constantemente. A día de hoy el porcentaje de vías escaneadas es ínfimo y existe una falta de precisión en el posicionamiento vía satélite para el control transversal y longitudinal, aunque es sólo cuestión de tiempo.
- Obras: actualmente los vehículos son capaces de reaccionar, con ciertas limitaciones, a una señal de stop, un operario que corta el paso, o unos conos sobre el asfalto. Sin embargo, hay muchas otras situaciones en las que los trabajos de la vía resultan completamente inesperados para el sistema de sensores de a bordo. En el caso de un desvío provisional, se produce un conflicto importante entre lo que los sensores detectan y lo que los mapas precargados indican. Del mismo modo ocurre cuando se construye un nuevo elemento tal como glorieta, cruce, etc. Por ello resulta fundamental contar con mapas constantemente actualizados.
- El factor humano: posiblemente sea el mayor obstáculo, ya que para el vehículo autónomo un ser humano no es más que un conjunto de píxeles por lo que, por ejemplo, no es capaz de interpretar los gestos que haga un agente de tráfico desde el arcén o la acera, ya que ni siquiera lo considerará como un obstáculo y lo ignorará.
- Las marcas viales deterioradas o la ausencia de ellas: el LIDAR tiene problemas para orientarse si no puede distinguir con claridad las marcas viales sobre la carretera. García et al. (2017) llevaron a cabo pruebas empíricas y demostraron que existen severos problemas de guiado por la ausencia de marca vial en las cuñas de los carriles de cambio de velocidad, en las zonas de ganancia o pérdida de un carril, y en las entradas y salidas de accesos e intersecciones.



- La propia sombra del vehículo: supone un problema a la hora de detectar y esquivar obstáculos. Sin embargo, es un problema relativamente sencillo de superar mediante la inclusión de más equipos. Por ejemplo, Ford monta cuatro LIDAR en vez de uno que utiliza el coche de Google.
- Vulnerabilidad: incremento de la vulnerabilidad a los ataques informáticos y la posibilidad de que alguien tome el control del coche con fines malintencionados. Asimismo, aumento del riesgo de sufrir actos vandálicos por el uso de inhibidores y distorsionadores. Esta circunstancia cobra especial importancia en Europa y EEUU por los recientes ataques terroristas sufridos.
- Las ciudades: existen dificultades de conexión que sufren los sistemas de GPS en las grandes ciudades de todo el mundo, debido a los altos edificios y un sinfín de emisores de señal WIFI, bluetooth, telefonía móvil, etc., así como a un aumento de las situaciones mencionadas anteriormente (marcas viales en mal estado, obras, etc.).

Entre las **barreras psicológicas** cabe resaltar:

- Coste: actualmente el coste de la tecnología a bordo de los vehículos autónomos resulta elevado. A corto plazo seguramente muchos de los conductores no estén dispuestos a pagar mucho por un vehículo que les haga estar todo el tiempo pendientes de tomar el control. Esta circunstancia además supondrá un freno para su desarrollo.
- Leyes de la robótica: Isaac Asimov ya enunció en los años cuarenta del siglo XX tres leyes que deberían definir el comportamiento ético de un robot. Se trata de tres leyes aplicables al vehículo autónomo y que se resumen en:
 - o Un robot no puede hacer daño a un ser humano o, por omisión, permitir que un ser humano sufra daños.
 - o Un robot debe obedecer las órdenes que reciba de los humanos, excepto si estas entran en conflicto con la primera ley.
 - o Un robot debe protegerse a sí mismo, salvo que esta protección entre en conflicto con las dos primeras leyes.
 Esto implica que, atendiendo a dichas leyes y a la voluntad de la sociedad en su conjunto, el vehículo debería sacrificar al conductor si así salva a varias personas. Sin embargo, resulta muy difícil que, salvo que una ley lo imponga, un conductor voluntariamente compre un vehículo (más caro) que está programado para sacrificarle si con ello salva más vidas, incluso aunque sean los demás los que hayan cometido una infracción. Existe una curiosa aplicación que plantea este dilema moral (<http://moral-machine.mit.edu/hl/es>) en la que se presentan distintos casos para que el usuario pueda decidir cuál cree que debería ser el comportamiento del vehículo autónomo frente a un incidente con alguna muerte inevitable.
- Preferencia entre un gran número de conductores por seguir disfrutando del placer de conducir. Acorde con un estudio llevado a cabo por el Observatorio Cetelem,



existe una gran dispersión en los resultados en función de los países. Mientras que en China, México y Brasil hay una fuerte intención de compra de un vehículo autónomo (en torno al 85%), en otros países como Japón, EEUU, Francia, Reino Unido y Alemania ronda el 35 %. En global, la encuesta arroja una media de un 55 % de conductores favorables a la compra de un vehículo de este tipo.

Por último, existen ciertas **barreras legales, burocráticas e inherentes a un nuevo producto** que retrasarán la implantación masiva del vehículo autónomo a corto plazo:

- En EEUU, motor principal de lo relacionado con el automóvil, cada Estado tiene una normativa diferente, lo cual está retrasando el desarrollo de los vehículos autónomos y la creación de un marco único. Esto se ha tratado de paliar mediante una propuesta de ley federal (la primera del mundo para coches autónomos) que se está tramitando. Ha sido sometida a una primera aprobación en octubre 2017 (Ley AV START). Sin embargo, aún no ha sido ratificada por todas las instancias, por lo que podría sufrir modificaciones en su redacción final. Acorde a la redacción inicial, las principales cuestiones a resaltar son:
 - o siempre debe haber una persona en el asiento del piloto.
 - o no es suficiente con que el conductor tenga el permiso de conducir normal, sino que ha de superar un curso previo (lo cual por ahora resulta un contrasentido dado que a lo que se pretende tender es a la movilidad universal)
 - o los vehículos deberán tener la capacidad de ponerse en modo seguro si se produce cualquier error de soft-

ware y si el sistema determina que no está en condiciones de seguir circulando, se detendrá en seco.

- o el gobierno norteamericano permitirá la fabricación y comercialización de 15.000 vehículos por fabricante en el primer año, mientras en función de si la experiencia resulta positiva, el Gobierno Federal tiene en mente ampliar los plazos otros tres años, con un cupo máximo de 80.000 unidades más por año.
- El Departamento de Vehículos Motorizados (DMV) de California en Estados Unidos, ha lanzado una nueva regulación más permisiva para las pruebas de coches autónomos, por lo que desde el 2 de abril 2018 se permite la circulación de vehículos sin conductor, aunque de momento ninguna empresa ha obtenido la licencia correspondiente.
- Por ahora, cada fabricante desarrolla su actividad de forma independiente (algunos se centran en la conducción a baja velocidad en ciudad, otros en alta velocidad en autopista, etc.) por lo que es complicada la adopción de estándares únicos, así como el planteamiento de una política única para los vehículos autónomos.
- No está claro a quién pertenecen, o deberían pertenecer, los datos que almacena el coche sobre los hábitos del conductor, sitios visitados, etc., ni si es lícito que alguien (público o privado) los use.
- Para un importante sector de la sociedad, sólo se debería permitir la circulación autónoma cuando se demuestre que es completamente segura. A día de hoy, cada accidente de un vehículo autónomo crea un gran revuelo y alarma social. Resulta muy difícil pensar que el vehículo autónomo consiga ser absolutamente seguro, por lo que es muy probable que se termine imponiendo el otro criterio existente entre la sociedad que propugna que una vez se demuestre que la conducción autónoma es más segura que la manual, aquella debería ser permitida e impulsada.
- Hasta que no estén muy claras las implicaciones para los fabricantes en cuanto a su responsabilidad en caso de accidente puede generarse un freno para los fabricantes igual que ocurrió en los años 70 con la introducción del airbag. Asimismo, la asunción de mayor parte de responsabilidad civil por parte del fabricante quedará repercutido en el precio de venta aumentando aún más el coste de adquisición del vehículo, provocando una retracción de la demanda.

4. Los ITS colaborativos (C-ITS) y las carreteras conectadas (C-Roads)

Hasta hace unos pocos años el conductor estaba acostumbrado a ser receptor de información que analizaba para actuar en consecuencia. Inicialmente la información de la situación del tráfico, obras u otras incidencias provenía del servicio de TELERUTA y posteriormente la DGT asumió esta

función. Evidentemente contaba con el inconveniente de ser una información muy general, siendo además complicado asegurar que llegara a los principales interesados. Después se introdujeron los paneles de señalización variable, que presentaban la enorme ventaja de focalizar el mensaje en su dimensión espacial y temporal, quedando dirigido únicamente a los conductores afectados y asegurando su recepción por parte del conductor ya que no dependía de la sintonización de la emisora en el momento adecuado. Finalmente, con el canal de mensajes de tráfico (TMC) se proporcionó a los navegadores de los vehículos los datos necesarios para calcular la ruta óptima en función del estado de las carreteras por tráfico, accidentes, obras, etc.

Esta situación cambió hace unos pocos años, y el conductor pasó a ser un emisor de información útil para otros conductores. De esta forma, aplicaciones como Google Maps o Waze recogen los datos de los móviles de los usuarios para establecer zonas de congestión y recomendar rutas alternativas.

En esta línea, cada vez el usuario será más importante en este proceso de interacción con otros vehículos (vehículo a vehículo o V2V) y con la infraestructura (vehículo a infraestructura o V2I), de forma que mediante las aplicaciones y sistemas adecuados los gestores de las infraestructuras serán capaces de proporcionar a los conductores información útil que deberá tender a reducir la accidentalidad. Además, a medio plazo, estos sistemas deberán jugar un papel importante en la implantación de la conducción autónoma, especialmente de nivel 3, ya que en función de la información recopilada serán capaces de decidir si la conducción en modo autónomo es segura en una zona concreta o si se debe circular en modo manual (climatología adversa, accidente, obras, etc.).

El vehículo conectado es independiente del vehículo autónomo. Sin embargo, el desarrollo de ambos ha coincidido en el tiempo. Fruto de esta unión en el tiempo de la evolución del vehículo autónomo y de los ITS de carreteras surge el que con toda probabilidad será el concepto más extendido, que es el vehículo que además de conducirse de forma

autónoma está conectado con la infraestructura y con el resto de vehículos del entorno.

Los ITS Cooperativos (C-ITS o sistemas cooperativos) abarcan un grupo de tecnologías y aplicaciones que permiten un intercambio de datos eficaz a través de tecnologías de comunicación inalámbrica entre componentes y actores del sistema de transporte, entre vehículos (V2V) o entre vehículos e infraestructura (V2I).

El despliegue de estos C-ITS se concibe como un proceso evolutivo, en el cual se irán implantando los sistemas de forma gradual a medida que la tecnología vaya avanzando. De forma generalizada en el sector, se les denominan Servicios del Día 1 y del Día 1,5 en función de la fecha en la que se espera que puedan estar disponibles.

La plataforma C-ROADS es una iniciativa de diferentes Estados miembros y operadores de carreteras públicos y privados que nace en diciembre de 2016 y está compuesta por agentes públicos y privados. Inicialmente comenzaron 8 países socios y actualmente está compuesta por 16, entre ellos España que se adhirió a finales de 2017. Tiene los siguientes objetivos:

- Vincular los proyectos pilotos de despliegue de las C-ITS en los distintos Estados Miembros
- Desarrollar especificaciones técnicas comunes
- Comprobar interoperabilidad mediante pruebas cruzadas

5. Experiencias de C-ROADS y C-ITS en España

En España, la plataforma C-ROADS tiene previstos varios proyectos piloto en diversas ubicaciones del territorio, entre los que cabe mencionar el Corredor Cantábrico, el área de Vigo, el Corredor Mediterráneo y la Calle 30 de Madrid.

También está en marcha el proyecto AUTOCITS (España, Portugal y Francia), que cuenta con un programa para España ubicado en Madrid. Con la participación de Indra, la UPM y la DGT, se ha instalado un tramo de pruebas en el BUS-VAO de la A-6 entre la M-40 (pk 17) y la M-30 (pk 7) con 6 RSU (Road Side Units), con la intención de probar el funcionamiento de toma de datos por parte de un vehículo y su envío a otro con tres escenarios: obras, congestión o accidente y meteorología. Las RSU son dispositivos dedicados de comunicaciones de corto alcance (DSRC), que trabaja con tecnología ITS-G5 (5.9 GHz). En el caso del dispositivo de Siemens, por ejemplo, tiene unas dimensiones aproximadas de 30x30x8 cm y un peso de 4 kg, montado sobre un poste sencillo

Merece una mención más detallada la Plataforma del Vehículo Conectado DGT 3.0 (aunque no ha habido 1.0 ni 2.0), que aspira a crear una especie de 'nube' del tráfico que reciba y envíe incidencias sobre la circulación a tiempo real y de forma personalizada para cada usuario a lo largo de una red de 12.270 km. Previsto en octubre de 2016 se ha adjudicado en abril de 2018 a KPMG. Se contemplan el desarrollo de los siguientes casos prácticos, muy ligados con los servicios del



Día 1 y que ilustran bien el concepto del V2V y V2I comentados anteriormente. Así, las especificaciones dadas por la DGT para la creación de la plataforma se centran en 7 casos:

- Caso 1: alta de incidencia genérica provocada por un tercero. Incidencia no planificada en la plataforma suministrada por un tercero, por ejemplo: vehículo detenido, grúa en la calzada, accidente, estrechamiento, carretera cortada, vehículo en sentido contrario, obras, niebla, etc.
- Caso 2: obras en ejecución. Se trata de obras planificadas con anterioridad y que en un momento determinado pasan a un estado “en ejecución”. La fuente es la DGT (sistemas de autorizaciones de obras). Se conocerá: cuando, donde, etc.
- Caso 3: provisión de información proporcionada por los sensores del vehículo. Se trata de información generada por los sensores del vehículo (tales como el encendido de luces antiniebla, activación del ABS y ESP, activación del Warning, puesta en marcha de limpiaparabrisas) que pueden ser enviadas de forma remota para su tratamiento.
- Caso 4: editor de mensajes en el PMV virtual. Se podrán dar de alta mensajes del tipo: desvío, itinerarios alternativos, carriles reversibles, carriles en sentido contrario al habitual, aplicación de medidas contempladas en protocolos de emergencia por contaminación, restricciones a la circulación, etc.
- Caso 5: envío dinámico de coordenadas (x, y) por las especiales condiciones de circulación de un vehículo. Ejemplos: velocidad anormalmente reducida, vehículo o grúa de grandes dimensiones que afecta a la vialidad, vehículo en emergencias (policía, bomberos, ambulancias), usuario vulnerable, vehículo circulando en sentido contrario, etc.
- Caso 6: difusión de información estática con coordenadas (x, y) dispuesta en el mapa de movilidad de la dirección general de tráfico. Se informará a los usuarios de la vía de la presencia en su itinerario de diferentes elementos previamente publicados en el mapa de movilidad. Ejemplos: límite de velocidad de la vía en el tramo, restricciones de masa y dimensiones, estaciones de recarga de vehículo eléctrico, gasolineras, etc.
- Caso 7: información sobre velocidades recomendadas en zonas en función de del mapa de congestión. Se tratará de capturar la información de (x, y) dinámicas que lleguen a la plataforma a fin de detectar posibles zonas de congestión. Esa información de (x, y) será usada para validar información de otros casos de uso, para proporcionar y difundir velocidades recomendadas y para alimentar los sistemas de información de gestión del tráfico de la Dirección General de Tráfico.

Finalmente, la DGT ha firmado un convenio con Intel – Movileye para preparar el ecosistema de infraestructuras y adaptar a la normativa española la circulación de vehículos autónomos. Así, pondrá en las calles de Barcelona una flota de 5.000 vehículos con la tecnología Mobileye 8 Connect. Esta

flota tendrá como objetivo recopilar grandes cantidades de datos en tiempo real para crear un enorme mapa de alta definición que facilitará la llegada del coche autónomo.

6. Legislación y marco normativo del vehículo autónomo en España

En cuanto a la posibilidad de uso de los vehículos autónomos, se han dado pasos importantes en España como la “no ratificación” del convenio de Viena (obligatoriedad de conductor dedicado únicamente a dicha labor), imprescindible para los niveles 4 y 5 de automatización. De este modo, España es de los pocos países en los que la circulación de los V.A. está permitida sin precisar de ninguna modificación de calado en la normativa nacional de tráfico. En el artículo de Juan José Arriola (DGT) en la revista Carreteras, se indica que la legislación actual no prohíbe explícitamente el uso de vehículos automatizados, por lo que se infiere que su operación podría estar permitida. Sin embargo, la DGT está trabajando en dos enfoques para abordar la operación del vehículo autónomo, especialmente para el nivel 3 SAE ya que, según amplio consenso, es el que puede dar más propensión a una falsa seguridad por parte del conductor. Las posibilidades son:

- Regulando expresamente qué puede y qué no puede hacer el conductor.
- Implicación de los fabricantes para que la venta sea previa comprobación del conocimiento de las limitaciones por parte del conductor, así como definir escenarios, capacidades y casos de uso para cada nivel de automatización. Este enfoque es por el que se decanta la DGT. Actualmente la mayoría de los accidentes de vehículos autónomos están generados por el incumplimiento de las normas de los fabricantes por parte del conductor.

A la vista de las circunstancias actuales, este último resulta un enfoque lógico por varios motivos:

- Una relación pormenorizada de actividades que se pueden realizar circulando en modo autónomo puede ser enormemente farragosa, permanentemente cuestionada y por ende, poco operativa.
- La ausencia de estándares, propias de los primeros estadios de una tecnología, provoca una dispersión importante en cuanto al comportamiento del vehículo autónomo en función de cada fabricante. Por tanto, parece más práctico realizar un “examen de aptitud” que verifique el adecuado conocimiento del conductor frente al comportamiento del modelo concreto de V.A.
- Distinción de responsabilidades. Hasta el nivel 3 SAE la DGT considera responsable al conductor. A partir del nivel 4 se considera responsable al fabricante. Por tanto, independientemente de toda la casuística que se pudiera establecer en la reglamentación, el estatus legal del conductor en nivel 3 sería el mismo que en un vehículo convencional.



En lo referente a la realización de pruebas con vehículos autónomos, se aprobó la Instrucción 15/V-113 sobre “Autorización de pruebas o ensayos de investigación realizados a vehículos de conducción automatizada en vías abiertas al tráfico en general”, en la que se indican los criterios y supervisiones que han de aplicar para el ensayo de vehículos con nivel de automatización 3, 4 y 5. En ella se pone especial énfasis en el “override” (sencilla recuperación del control del vehículo en caso necesario).

A lo largo del 2019, la DGT prevé ultimar la regulación necesaria para dar soporte legal a los vehículos autónomos:

- Reglamento específico para los vehículos autónomos.
- Ley del seguro obligatorio.
- Ley de seguridad vial.

7. Implicaciones en la infraestructura

Hay escasa información de las implicaciones de los vehículos autónomos y las C-ITS en la infraestructura, si bien hay varias líneas en las que parece haber cierto consenso:

- No es eficiente la instalación masiva de Road Side Units a lo largo de toda la red viaria debido al bajo rango de alcance, por lo que se debe recurrir al 5G. Sin embargo, en los corredores principales si puede resultar una opción razonable.
- Podría ser factible una reducción de la anchura del carril.
- Al menos hasta el medio-largo plazo, la opción más factible es la creación de corredores que cumplan los estándares requeridos (denominados high quality level of service highway HQoSH) en los que se autorice, de la forma que sea reglamentada, la conducción automatizada. Por tan-

to, un viaje largo podría ser una sucesión de tramos en “manual” y tramos en “automático”.

- La creación de nuevas infraestructuras debe tener en cuenta el impacto de los vehículos autónomos mediante una auditoría previa.

Mención aparte cabe el artículo escrito por García et al. (2017) en la revista Carreteras en la que se introduce un concepto que puede tener una clara aplicación real de cara a la adaptación de las infraestructuras para el inminente uso del vehículo autónomo (al menos hasta el nivel 3): el concepto de la Velocidad Automatizada (AS) como la máxima velocidad a la que un vehículo autónomo puede mantener el control sin cedérselo al conductor. Así, mediante un estudio experimental se llega a algunas conclusiones importantes:

- La AS es en general menor que la limitación de velocidad, especialmente en curvas de radio reducido (200 a 600 m), lo que implica:
 - o Reducción de las expectativas de los conductores y, por tanto, inconsistencias.
 - o Posible aumento de la accidentalidad derivado de la dispersión de velocidades entre vehículos en modo manual y automático.
 - o Aumento de siniestralidad por pasar el control al conductor precisamente en las curvas más cerradas.
- La AS sufre una disminución drástica con un índice de cambio de curvatura alto y con variaciones bruscas del mismo.
- Conveniencia de establecimiento de una AS para un tramo, o mejor, gracias a las C-ITS el aporte al vehículo autónomo de la información de la AS para cada subtramo

dentro del corredor.

- La AS irá aumentando paulatinamente a medida que se desarrolle la tecnología.

Como consecuencia, a corto plazo y dado que los primeros estadios de la conducción autónoma estarán basados en la creación de corredores “autónomos”, una línea de actuación sería el establecimiento de corredores en los que se contemple la conducción autónoma con un mínimo coste y en las condiciones lo más seguras posibles. Habida cuenta de lo que se conoce hasta la fecha, una posible metodología para la selección de los corredores podría ser:

- Selección de aquellas autopistas/autovías con parámetros muy amplios de trazado en los que se minimice la posibilidad de cesión de control.
- Dentro de estas, selección de aquellos tramos con una menor densidad de enlaces, habida cuenta de la influencia de la disposición de las marcas viales en el comportamiento del guiado (análisis también llevado a cabo por Alfredo García en pruebas de conducción real).
- Análisis de IMD y porcentaje de vehículos pesados, siendo en principio deseable vías con IMD medianamente bajas y sin un porcentaje excesivo de pesados para evitar una amplia dispersión de velocidades de circulación.
- Confirmación de la idoneidad de los tramos con parámetros de accidentalidad teniendo en cuenta si los accidentes se han producido por somnolencia debido a la monotonía del trazado o a otras causas como peralte insuficiente, etc.
- Confirmación del índice de cambio de curvatura a lo largo de los tramos seleccionados para verificar que no hay cambios bruscos.
- Realización de pruebas con distintos vehículos de cara a establecer la AS con garantías.
- Creación de la señalización adecuada (y en un futuro establecimiento de sistemas más complejos de interacción dinámica I2V para adecuación de la velocidad, incluyendo la limitación automática de la misma sin dar posibilidad a su aumento en modo autónomo).
- Modificación de la señalización horizontal en carriles de cambio de velocidad de los tramos de prueba para mejora del guiado y comprobación general de la visibilidad de todas las marcas viales.
- Análisis de los resultados y toma de decisiones de cara a la ampliación a otros tramos.

Algunas medidas de pequeño o prácticamente nulo coste, para su consideración en vías de nuevo trazado o rehabilitación de existentes según el caso, podrían ser:

- Ligero sobrecancho del arcén. Una vez se hayan implantado de forma generalizada los vehículos autónomos, se podrá tender a una mayor utilización de la infraestructura mediante la conversión de una autovía de dos carriles con una plataforma de 11 m (arcén derecho de 3 metros) en



una de 3 carriles de 3 metros de anchura con arcenes de 1 m. Esto podría ser factible dado que el vehículo autónomo puede circular con carriles más estrechos de los 3,5 m a los que estamos acostumbrados, y la eventual circunstancia de un vehículo detenido en el arcén será conocida por el resto de los vehículos con mucha antelación, cambiando de carril anticipadamente sin que se ponga en riesgo la seguridad vial. En cualquier caso y como refuerzo, se pueden construir apartaderos cada cierta distancia.

- Marcas viales continuas en enlaces para evitar problemas de guiado.
- Clotoides con parámetros más amplios que el mínimo utilizado habitualmente que minimice el cambio de curvatura rápido, especialmente en curvas de radio reducido.

Más a largo plazo, habría que revisar muchas otras cuestiones como la longitud mínima de los ramales, distancias entre elementos singulares, visibilidad, etc., en función de la evolución real de la conducción autónoma.

8. Conclusiones

La introducción del vehículo autónomo es un acontecimiento que, si bien es seguro que llegará, presenta aún una serie importante de obstáculos que han de ser salvados.

A corto y medio plazo, la conducción autónoma seguramente sea cuestión de una sucesión de tramos en automático y en manual en función del estado de la infraestructura, el entorno y la tecnología montada en el propio vehículo.

Aunque aún asistiremos a abundantes noticias refiriendo incidentes con vehículos autónomos, se debería permitir la conducción autónoma cuando se demuestre que es mejor que la media de la circulación manual, como principio general para las políticas a implantar, frente a la doctrina de exigir la casi perfección del sistema antes de su autorización.

La llegada del vehículo autónomo, incluido el transporte de mercancías por carretera, supondrá el desplazamiento laboral de muchos trabajadores relacionados directamente con la conducción, desde policía a transportistas pasando por mecánicos y agentes de seguros. Dada la cada vez más rápida adopción de la tecnología en nuestra sociedad, esta cuestión deberá ser tenida en cuenta por los agentes sociales de cara a facilitar la diversificación de los sectores afectados.

Entre otros aspectos de índole tecnológica entre los que el conductor no tiene ningún papel que jugar, una de las cuestiones subjetivas cruciales a digerir por parte de éste es la asunción del comportamiento que tendrá su vehículo en caso de accidente, en el que puede que éste decida sacrificarse (y con él al conductor) en aras de un bien social superior.

Existe una clara apuesta a nivel mundial y específicamente en Europa por crear estándares comunes y aunar esfuerzos para avanzar en los ITS colaborativos. España cuenta con un marco normativo que le permite avanzar en esta línea, así como con el apoyo por parte de la DGT y otros organismos.

Aún resulta difusa la implicación a corto plazo en la infraestructura, si bien se han identificado ya algunos aspectos que pueden ayudar a la conducción autónoma tales como unos parámetros de clotoide más amplios, una señalización horizontal continua y en buen estado, así como medidas que permitan una futura reducción de la anchura de los carriles que favorezcan un incremento de capacidad de las carreteras.

9. Referencias

- [1] "The AUTOCITS Project". <https://www.autocits.eu>
- [2] C-Roads Plattform <https://www.c-roads.eu/platform.html> y <https://www.c-roads.es/>
- [3] Plataforma DGT 3.0 <http://www.dgt.es/es/el-trafico/dgt-3-0/index.shtml>
- [4] Esmartcity <https://www.esmartcity.es/>
- [5] Congreso de los Estados Unidos <https://www.govtrack.us/congress/bills/115/s1885>, <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/senate-bill/1885>
- [6] Departamento de vehículos motorizados de California, <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/auto?lang=en>
- [7] International Transport Forum, "Managing the transition to Driveless Road Freight Transportation" <https://www.itf-oecd.org/managing-transition-driverless-road-freight-transport>
- [8] Autonomous Vehicle Technology. A Guide for Policy-makers. RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-2.html
- [9] Circula Seguro "Obstáculos que los coches autónomos aún no pueden evitar" <http://www.circulaseguro.com/obstaculos-que-los-coches-autonomos-aun-no-pueden-evitar/>
- [10] Circula Seguro "El dilema del coche autónomo: ¿atropellarías a un peatón para salvarte?" <http://www.circulaseguro.com/dilema-del-coche-autonomo-atropellarias-peaton-salvarte/>
- [11] Science "The social dilemma of autonomous vehicles" <http://science.sciencemag.org/content/352/6293/1573>
- [12] El observatorio Cetelem Auto 2016. El coche autónomo: los conductores, dispuestos a ceder la conducción a la tecnología https://elobservatoriocetelem.es/wp-content/uploads/2016/03/observatorio_cetelem_auto_2016.pdf
- [13] Mead & Hunt, The impact of self-driving cars on infrastructure design <https://meadhunt.com/self-driving-cars/>
- [14] Asociación Mundial de la Carretera. Revista Routes/Roads nº373 <https://www.piarc.org/es/Biblioteca-Virtual/Revista-Routes-Roads/#tab-s7538X42N1>
- [15] Circulación de vehículos autónomos. Retos legislativos. (Juan José Arriola). Revista Carreteras nº216 de la Asociación Española de la Carretera <https://www.aecarretera.com/servicios/publicaciones/revista-carreteras/revista216>
- [16] Influencia de la infraestructura de carreteras en la velocidad de los vehículos automatizados. García et al. Revista Carreteras nº216 de la Asociación Española de la Carretera. <https://www.aecarretera.com/servicios/publicaciones/revista-carreteras/revista216/2845-influencia-de-la-infraestructura-de-carreteras-en-la-velocidad-de-los-vehiculos-automatizados>
- [17] Assessment of Key Road Operator Actions to Support Automated Vehicles. Austroads www.austroads.com.au
- [18] Automated and Connected Vehicles: Status of the Technology and Key Policy Issues for Canadian Governments. Library of parliament research publications. Parliament of Canada. <https://lop.parl.ca/Content/LOP/ResearchPublications/2016-98-e.html#a10>
- [19] Siemens Connected Vehicle Roadside Unit (RSU) https://w3.usa.siemens.com/mobility/us/en/road-solutions/traffic-management/Documents/Siemens%20RSU%20Brochure_NEW.pdf
- [20] EURONCAP Pruebas de conducción automatizada 2018 <https://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-veh%C3%ADculos/campa%C3%B1as-de-seguridad/2018-pruebas-de-conducci%C3%B3n-automatizada/>
- [21] Mejoras en el diseño de marcas viales para aumentar la eficacia de los vehículos automatizados. Alfredo García García et al. Revista RUTAS nº173 de la Asociación técnica de la carretera. http://www.atc-piarc.com/rutas_historico.php?rID=204 ❖