

FELIPE Jiménez

Profesor Titular de Universidad
Director de la Unidad de Sistemas
Inteligentes del Instituto Universitario
de Investigación del Automóvil (INSIA)
Universidad Politécnica de Madrid



Cambios tecnológicos
necesarios en el vehículo
y la infraestructura para la
introducción del

coche autónomo

RESUMEN

El vehículo autónomo ha supuesto una revolución en la concepción del transporte por carretera, pasando de ser una entelequia futurista a una realidad tangible para los próximos años. Sin embargo, en el proceso de automatización de los vehículos, todavía quedan numerosos aspectos críticos esenciales para tener un despliegue real de los niveles de automatización más altos y no sólo experiencias piloto con prototipos. Este artículo se centra en los principales aspectos tecnológicos que es preciso tener en cuenta, abarcado un amplio abanico de disciplinas diferentes desde aspectos mecánicos, electrónicos, de sensorización, comunicaciones, relacionados con la infraestructura, etc. Abordar esos retos permitirá que el vehículo pueda hacerse cargo cada vez de más tareas que, hasta ahora, son responsabilidad del conductor. Sin embargo, no sólo serán estos aspectos técnicos los que condicionen el desarrollo del vehículo autónomo, lo que también será discutido brevemente.

PALABRAS CLAVE

Conducción autónoma, vehículo conectado, tecnología, detección, decisión, comunicaciones

ABSTRACT

The autonomous vehicle has led to a revolution in the concept of road transport and has passed from being a mere pipe dream to becoming a tangible reality in the near future. However, in the process of autonomising vehicles there are still numerous critical and essential aspects that have to be resolved to allow the real deployment of the highest levels of automation and not just pilot experiences with prototypes. This article focuses on the main technological aspects that have to be taken into account and that cover a wide spectrum of disciplines, ranging from mechanical, electronic and sensing to communications and infrastructure, etc. Once these challenges are met it will be possible for the vehicle to take control of an increasing number of tasks that, up till now, are the responsibility of the driver. However, it should not be presumed that these technical aspects alone will condition the development of the autonomous vehicle.

KEYWORDS

Self-driving vehicles, connected vehicle, technology, detection, decision, communications

1

Inicios de la conducción autónoma

La idea de un vehículo autónomo es casi tan antigua como el mismo vehículo. Ya en 1939, la visión de General Motors sobre el futuro del transporte, presentada en la feria de muestras Futurama, durante la Exposición Universal en Nueva York, incluía vehículos sin conductor. Sin embargo, no es hasta 1977 cuando se puede hablar del primer vehículo realmente automatizado cuando el laboratorio Tsukuba Mechanical Engineering en Japón desarrolló un vehículo con la funcionalidad de seguimiento de marcas blancas pintadas en la carretera y alcanzar una velocidad máxima de 30 km/h. Posteriormente, en los años 80, un grupo de la Universidad de Munich puso en circulación un vehículo a velocidades de hasta 100 km/h en calles sin tráfico, controlando a la vez volante, acelerador y freno por medio de comandos de ordenador basados en una evaluación en tiempo real de secuencias de imágenes.

Entre finales de los años 80 y principio de los 90, se desarrolló en Europa un proyecto que resulta crucial para fijar las bases de los vehículos inteligentes: el proyecto PROMETHEUS (PROgramme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety): En ese marco, varios prototipos automatizados fueron mostrados en Octubre de 1994 en la Autopista 1 cerca del aeropuerto Charles-de-Gaulle de París. En 1995, se completa un viaje de 1.600km desde Múnich (Alemania) a Copenhague (Dinamarca), alcanzando los 175 km/h y el viaje es autónomo durante el 95% con condiciones son reales y el vehículo autónomo adelanta a otros más lentos. Un grupo de la Universidad de Parma recorrió 2000 km en 1996 por autopistas de Italia a una velocidad media de 90 km/h, estando el 94% del tiempo en modo automático

Por otra parte, en Estados Unidos, en 1991, el Congreso aprobó un proyecto de ley, instando al Ministerio de Transporte a mostrar un vehículo automatizado y una infraestructura apta para la conducción automatizada. El Laboratorio de la Universidad Carnegie Mellon desarrolló 11 vehículos automatizados y en 1995 viajaron 3000 millas con un vehículo que condujo de forma automatizada el 98 % del tiempo, y en 1997 se realizó una demostración con 20 vehículos en la autopista I-15 en San Diego. Un hito relevante fue la

organización por parte de la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA) de un total de 3 competiciones para coches autónomos sin conductor. En la primera carrera, en 2004 en el desierto de Mojave, ningún coche fue capaz de finalizar la carrera. En 2005, el vehículo ganador recorrió 212 km y no fue el único alcanzar la meta. En 2007 la competición se desplazó a un entorno urbano, incluyendo cruces de calles.

En España también hubo iniciativas de desarrollos de vehículos autónomos como el grupo AUTOPIA de CSIC (Godoy et al, 2015) o la automatización de vehículos ligeros y pesados por parte de INSIA-UPM (Jiménez et al, 2014). Sin embargo, el salto del vehículo a la opinión pública saltó, principalmente, cuando Google anunció sus desarrollos. A partir de ese punto, han surgido numerosas iniciativas y proyectos, los fabricantes van incorporando cada vez más funciones de automatización en sus vehículos. Sin embargo, este desarrollo ha ido poniendo de manifiesto los retos que hay que es preciso ir resolviendo, no sólo desde un punto de vista tecnológico que era lo que primaba en las primeras experiencias. Sin embargo, a pesar de los avances realizados, todavía existen numerosos retos de índole tecnológica, que se referirán a continuación.

2

Niveles de automatización

La clasificación más extendida de los niveles de automatización es la proporcionada por SAE y que distingue 5 estados. La tabla 1 ilustra las diferencias entre ellos. Como se puede observar, hasta el nivel 2, la monitorización del entorno recae sobre el conductor, aunque la actuación ya la comparte con el vehículo en el nivel 2. En el nivel 3, el vehículo adquiere la tarea de monitorización del entorno y es en el nivel 4 cuando también asume la supervisión de la tarea de conducción de manera que el conductor queda totalmente al margen. La diferencia principal entre dicho nivel 4 y el 5 consiste en que, en el primero sólo está operativo dicha automatización en algunos escenarios por lo que, en algún momento se producen las transiciones automático-manual con suficiente anticipación, mientras que, en el 5, esta automatización se extiende a cualquier escenario.

Nivel	Descripción	Actuación sobre mandos	Monitorización del entorno	Supervisión de la tarea de conducción	Escenarios	
0	Sin automatización	Conductor	Conductor	Conductor		
1	Asistencia al conductor: El vehículo controla la velocidad o la dirección mientras que el conductor realiza todos los aspectos restantes de la tarea de conducción, vigilando constantemente el tráfico y siendo capaz de controlar el vehículo en cualquier situación	Conductor	Conductor	Conductor	Algunos	HANDS ON
2	Automatización parcial: El vehículo controla la velocidad y la dirección mientras que el conductor realiza todos los aspectos restantes de la tarea de conducción, vigilando constantemente el tráfico y siendo capaz de controlar el vehículo en cualquier situación	Conductor - Vehículo	Conductor	Conductor	Algunos	HANDS OFF
3	Automatización condicionada: El sistema toma el control longitudinal y lateral del movimiento del coche, pero el conductor tiene que vigilar permanentemente el entorno y el sistema, para ser capaz de retomar el control del vehículo en cualquier situación.	Vehículo	Vehículo	Conductor	Algunos	EYES OFF
4	Automatización alta: El sistema toma el control longitudinal y lateral del movimiento del coche en una situación predefinida y ya no es necesario que el conductor supervise permanentemente el sistema. En caso necesario, el conductor recibirá la solicitud para retomar el control con suficiente margen.	Vehículo	Vehículo	Vehículo - Conductor	Algunos	MIND OFF
5	Automatización completa: El sistema toma el control longitudinal y lateral del movimiento del coche en todas las situaciones; y no es necesario que el conductor supervise el entorno o el sistema ni que retome el control sobre el vehículo.	Vehículo	Vehículo	Vehículo	Todos	DRIVELESS

Tabla 1: Niveles de automatización (SAE, 2016)

3 Retos en el vehículo

En el funcionamiento del coche autónomo, desde el punto de vista del vehículo, se plantean 3 tareas fundamentales: percepción, decisión y actuación. Los principales problemas surgen en las dos primeras, habiendo sido la tercera resuelta de forma satisfactoria hace años. Este hecho es semejante a lo que sucede con los conductores humanos, los cuales encuentran realmente dificultades en las 2 mismas tareas. A continuación, se desgranar los principales retos que se pueden identificar.

Por un lado, la percepción del entorno del vehículo se realiza mediante sensores embarcados que pueden ser de corto y largo alcance. Dentro del primer grupo, se tienen sensores de ultrasonidos, capacitivos o infrarrojos. Su funcionamiento es



relativamente simple, así como la interpretación de las señales que proporcionan. En el caso de largo alcance, se suele recurrir a sensores radar, láser rotativo o visión artificial. Es en este ámbito donde están presentes los principales retos y, sobre todo, a partir del nivel 3 de automatización que es cuando la monitorización del entorno recae sobre el vehículo:

- Los sensores de largo alcance tienen características muy diferentes que hacen que sean apropiados en algunos casos pero ineficaces en otros (Jiménez y Naranjo, 2011). De esta forma, el sensor radar tiene un campo de visión muy estrecho aunque alcances muy largos. Esto facilita su uso en entornos de vías de alta capacidad para supervisar el carril por el que va circulando el vehículo, pero no es aplicable a entornos donde sea necesaria una visión más periférica. Por otra parte, la visión artificial es sensible a los cambios de iluminación y a las condiciones meteorológicas adversas, además de requerir una alta carga computacional. Por último, el láser rotativo permite el filtrado de falsas alarmas a causa de condiciones adversas, pero su alcance puede ser más limitado, además de encontrar dificultades en la interrelación de los obstáculos. Así, además de la selección del sensor, deben desarrollarse algoritmos para interpretar el entorno.
- Todo lo anterior motiva que un único sensor no sea suficiente sino que deba complementarse con otros y compensar así las ineficiencias de cada uno de forma aislada. Esta necesidad se acrecienta más cuanto más amplia y fiable deba ser la percepción alrededor del vehículo.
- El uso de varios sensores implica el desarrollo de algoritmos de fusión sensorial (García, F, 2012). Esta fusión se puede realizar a bajo nivel (fusionando datos sin procesar

directamente para generar un conjunto de datos más completo para ser posteriormente procesado, y que se emplea sobre todo cuando se utiliza una misma tecnología de detección), nivel medio (fusionando datos preprocesados de los diferentes sensores) y alto nivel (donde se fusionan las decisiones adoptadas de la percepción de cada sistema de forma separada).

- La conjunción de los algoritmos anteriores debe perseguir una representación completa y fiable del entorno que garanticen, en la medida de lo posible, no tener falsos positivos o negativos.
- La introducción de sensores con altas capacidades de percepción implica que los fabricantes de componentes se encuentran en el proceso de actualizar su oferta de productos. Cabe indicarse que los sensores principales en los que se basa el funcionamiento de los vehículos autónomos viene de la mano de empresas que no han estado, en general, vinculadas al sector de la automoción en el pasado, como Mobileye para los sistemas de visión artificial, Velodyne para la percepción mediante LIDAR, los receptores de posicionamiento por satélite sobre mapas precisos, etc. Así, grandes empresas como Bosch tienen líneas de trabajo en ese sentido con el fin de ofertar sensores que ofrezcan las funcionalidades requeridas a un precio lo más asumible posible por el mercado.

La percepción del entorno también puede complementarse por medio de comunicaciones inalámbricas, lo que da lugar al concepto de vehículo conectado (Jiménez, 2012). De esta forma, el alcance es muy superior y se aumenta la capacidad de anticipación. Estas comunicaciones se pueden



plantear entre vehículos, con la infraestructura o con otros usuarios, lo que se denominan comunicaciones V2X que dan lugar a los sistemas cooperativos. Haciendo hincapié en sus vinculaciones con el vehículo autónomo, se pueden indicar los siguientes retos:

- Existen diferentes tecnologías de comunicaciones, tanto de corto alcance como de largo alcance (Jiménez, 2012; Jiménez, 2017). Cada una tiene sus ventajas e inconvenientes. En concreto, la penetración de las comunicaciones móviles es mucho mayor pero adolece de problemas de latencia, por ejemplo, que hace su uso limitado para algunas aplicaciones de seguridad, por ejemplo. Aunque se anuncia que la tecnología 5G podrá superar dicha dificultades, su despliegue masivo no está previsto hasta dentro de algunos años por lo que deben darse pasos para trabajar con las tecnologías ya presentes y maduras
- Es necesario establecer estándares de comunicación, tanto hardware como software para que puedan interactuar vehículos de diferentes fabricantes.
- Debe analizarse el efecto de la penetración de usuarios dotado de estas tecnologías, así como a forma de realizar la interacción entre usuarios dotados e las mismas con aquellos que no las tienen.
- Estas comunicaciones inalámbricas implican un alto volumen de información. Esta información debe ser corrobora-

da, ya que es posible la introducción de datos erróneos o imprecisos, y tiene que ser procesada, lo que puede ser problemático cuando se exigen respuestas en tiempo real.

- Los vehículos pasan a ser sensores flotantes que ponen información a disposición de otros usuarios (Feng et al, 2014), si bien debe establecerse un modelo eficaz de mercado de la información.
- La comunicación debe ir más allá del concepto de conducción conectada para alcanzar la conducción cooperativa, que puede resolver situaciones complejas en la toma de decisiones.

Por último, el posicionamiento en mapas electrónicos supone una fuente adicional de información y se puede considerar como un sensor secundario que ayuda a interpretar la escena que los sistemas de percepción o, incluso, las comunicaciones proporcionan. Aunque esta tecnología se lleva empleando desde hace años para funciones de navegación, las nuevas aplicaciones en sistemas de asistencia, seguridad y conducción autónoma presentan nuevos retos:

- Algunas aplicaciones requieren el posicionamiento de alta precisión, en ocasiones, a nivel de carril (Jiménez et al, 2016), para lo que, en muchos casos se recurre a fusión sensorial con otros sensores embarcados, ya que la tecnología actual de posicionamiento por satélite no ofrece los niveles de precisión adecuados y se producen pérdidas de

señal o calidad de ésta con frecuencia en entornos adversos pero no infrecuentes en las zonas de circulación de los vehículos (Jiménez et al, 2011).

- Los mapas electrónicos para navegación no disponen del detalle y precisión que se requiere, lo que obliga a revisar las formas de adquirir la información recogida en los mapas (Jiménez et al, 2009). Así, la cantidad de información es muy superior y no queda restringida al ámbito informativo, sino que se requieren precisiones tales para que dichos datos puedan ser empelados en funciones de seguridad
- Las modificaciones en la información contenida en los mapas deben actualizarse en el menor tiempo posible, para lo que deben articularse procedimientos que, hasta la fecha, no eran tan esenciales, y emplear las comunicaciones inalámbricas anteriores

Como se puede observar, los retos en el ámbito de la percepción del entorno no son triviales y presentan un amplio abanico de campos que tratar, desde el desarrollo de sensores, la mejora de algoritmos, etc. Además, las incertidumbres sobre la percepción tienen su repercusión directa sobre la toma de decisiones, lo que implica una serie de complicaciones técnicas relevantes que pueden redundar en la seguridad y aceptación de la tecnología, principalmente, según se avanza hacia niveles de automatización más altos. Así, se puede destacar:

- Las limitaciones del sistema de percepción se trasladan a la capacidad del sistema para tomar decisiones, lo que obliga a adoptar conductas conservadoras ante la falta de información.
- Se exige que las decisiones del vehículo autónomo sean tan fiables, al menos, como las de un conductor humano de forma que no cometa errores donde se presupone que un humano atento y entrenado no lo haría. La ausencia de fenómenos de fatiga favorece esta fiabilidad, pero las incertidumbres en la percepción juega en contra.
- Si bien el razonamiento humano es capaz de hacer frente a situaciones complejas y desconocidas, los sistemas automáticos cuentan con menos flexibilidad de forma que encuentran dificultades para gestionar estos escenarios. Tal es el caso de intersecciones o rotondas complejas con alta densidad de tráfico, por ejemplo (Okumura et al, 2016).
- El uso de herramientas de Inteligencia Artificial busca el poder reproducir el conductor humano en estas situaciones, si bien todavía resta bastante camino
- El usuario debe percibir que el comportamiento es similar a lo que podría esperar de un transporte como este con

conducción manual ya que, en caso contrario, podría ofrecer rechazo a las nuevas tecnologías, es decir, debe existir consistencia con las expectativas de los conductores (Lefevre, 2012). Además, el comportamiento debe ser predecible tanto para los usuarios embarcados en el vehículo autónomo para que no se vean sorprendidos, como para el resto de usuarios de la vía.

- Un vehículo autónomo debe seguir las normas (está programado para ello), si bien existen escenarios en los que es preciso no observar dichas normas de forma estricta.
- Cuando el vehículo adopta decisiones, la responsabilidad deja de recaer en el conductor. En este sentido, se plantea el problema del “dilema del tranvía” donde el vehículo debe adoptar una decisión en un entorno donde no existe una solución perfecta (Lari et al, 2014).

Finalmente, en todos los aspectos anteriores surge la necesidad de altos niveles de fiabilidad, lo que redundaría en el aumento creciente de la confianza en los sistemas. Esta fiabilidad es complicada de evaluar ante cualquier tipo de escenario ya que implicaría un número muy elevado de kilómetros recorridos y una ralentización excesiva de los avances. Por ello, las Administraciones están promoviendo normativas que permitan asegurar niveles adecuados de seguridad de una forma objetiva, pero realizable en el tiempo. Como aspecto vinculado a dicha fiabilidad, cabe citarse el hackeo de datos y del propio del control del vehículo es una preocupación recurrente para la que se deben poner las protecciones oportunas

Por otra parte, hasta alcanzar el nivel 5 de automatización, que se antoja en la actualidad en un horizonte temporal muy lejano, el conductor sigue participando en la tarea de conducción aunque, según en el nivel en el que se encuentre, su papel cambia, lo que debe ser tenido en cuenta en los desarrollos tecnológicos. Es decir, no debe dejarse de lado el papel del conductor en los avances de la automatización de los vehículos.

- En el nivel 2, la responsabilidad de la conducción recae sobre el conductor, que monitoriza entorno y funcionamiento, aunque el vehículo pueda desempeñar algunas funciones.
- En el nivel 3, la monitorización del entorno pasa a recaer en los sistemas del vehículo (de ahí los grandes retos antes indicados), pero no así la monitorización de la conducción por lo que el conductor debe estar atento a recuperar el control si fuese necesario.
- En el nivel 4, no es necesaria tal atención por parte del conductor, pero existen escenarios en los que el vehículo autónomo no puede operar. Esta transición automático-

manual debe cumplir requerimientos para garantizar que se realiza de forma segura y que el conductor se encuentra en condiciones adecuadas. Ello implica la introducción de tecnologías de monitorización del conductor que ya se están aplicando como sistema de asistencia para avisar de fatiga, sueño o distracción

- En el nivel 5, ya no será necesaria la intervención humana a lo largo de la tarea de conducción.
- Los saltos entre los niveles anteriores, que permiten descargar progresivamente al conductor de tareas de actuación o supervisión, implican saltos tecnológicos cada vez más notables, por lo que debe valorarse si la sociedad va demandando dichos saltos y de qué forma, lo que sólo se puede analizar con una implantación gradual y progresiva.

4

Retos en la infraestructura

Aunque tradicionalmente el desarrollo del coche autónomo se ha asociado a tecnología en el vehículo, el papel de la infraestructura es indudable para un despliegue efectivo y realista. Este hecho es cada vez más patente según se intenta ir a niveles más altos de automatización y al observar los problemas que se encuentran en las etapas que debe desempeñar el vehículo como la percepción y la decisión. Entre los aspectos más relevantes se pueden destacar:

- Los sistemas actuales de automatización de nivel 2 se basan en el seguimiento de los carriles y en respetar los límites de velocidad, por lo que es necesario que esté en buen estado tanto la señalización horizontal como vertical. Aunque las vías de alta capacidad, salvo tramos concretos, suelen cumplir este requerimiento, no ocurre igual en muchos tramos de la extensa red de carreteras convencionales.
- A pesar de lo anterior, se ha comprobado que, aún en el caso de vías con un alto nivel de calidad y equipamiento, los sistemas empleados en la actualidad para la percepción del entorno tienen dificultades para mantener unos niveles de fiabilidad que garanticen actuaciones correctas. Tal es el caso, por ejemplo, de puntos de la infraestructura con cambios bruscos de la curvatura (resulta complicado para el controlador del vehículo adaptarse de forma suave salvo que el alcance de la percepción sea suficientemente amplio y permita una mayor flexibilidad), cambios de rasante que dificultan la estimación del tramo de ruta siguiente o las marcas ocasionadas en las tareas de reparación de grietas en la calzada que, según su orientación pueden ser confundidas con líneas que delimiten el carril o la calzada, al tener una reflectividad mayor a la usual de la calzada por lo que

los sensores embarcados las diferencian. También se han identificado problemas en zonas de discontinuidad de marcas viales como secciones con carriles de incorporación o salida o zonas de cambio del número de carriles, donde los sistemas de percepción del vehículo pueden perder la referencia de las líneas si la discontinuidad es excesivamente larga.

- De igual forma, condiciones del entorno o meteorológicas pueden influir negativamente en la percepción de los elementos de la infraestructura (por ejemplo, una carretera nevada). Igualmente, tramos con señalización provisional a causa de obras puede inducir a error a los medios clásicos de percepción que no sabrían distinguir entre las líneas provisionales, las borradas o las nuevas.
- Por todo ello, y dado que resulta muy costoso y largo en el tiempo, la actualización y mejora de dichas infraestructuras, si se desea ampliar las funciones de automatización a dichos entornos deben emplearse otros medios para el guiado como es la delimitación de la calzada por los sensores embarcados, un posicionamiento preciso, etc.

• Por otra parte, la información puede proporcionarse también con marcas viales con contenido específico que puedan captar con facilidad y fiabilidad los sensores embarcados, siendo este sistema complementario a otros medios como las comunicaciones inalámbricas anteriores.

Al margen de la infraestructura en sí, existen otras soluciones que permiten soportar la conducción automatizada solventando algunos de los problemas anteriores al proporcionar información adicional. A continuación se presentan algunas soluciones no directamente vinculadas a la infraestructura en el sentido más clásico, sino a través de nuevo equipamiento:

- Un posicionamiento preciso en mapas electrónicos precisos, detallados y actualizados permite dotar al vehículo de mayor conocimiento del entorno y mayor capacidad de decisión. Sin embargo, el lograr todos estos requerimientos en posicionamiento y mapas no es trivial como se ha indicado con anterioridad.
- Si se implantan sistemas de conducción conectada, se plantean otras vicencias:

o Se hace necesario el disponer de sistemas para la captación, procesamiento y diseminación de la información, lo que requiere equipamiento específico en la infraestructura. En función del tipo de tecnología de comunicaciones que se elija, se requerirá unos equipos u otros. Esto implica un despliegue de sistemas de comunicaciones a lo largo de las carreteras, estando la tecnología que soporte estos servicios todavía en estudio. Esta actuación tiene, sin duda, un



coste elevado si se pretende una cobertura significativa en la red viaria.

- o La comunicaciones anteriores implican una cooperación entre los sectores del vehículo y de la infraestructura, que, a menudo, operan de forma independiente

- o En línea con lo anterior, debe garantizarse la interoperabilidad al cambiar de país o de explotador de infraestructura.

- o Por otra parte, los requisitos de los servicios V2I no son iguales a los requeridos para los sistemas basados en comunicaciones V2V, lo que implica buscar el modelo tecnológico más apropiado en cada caso, sin incurrir en sobrecostes innecesarios (por ejemplo, al pretender tiempos de latencia más estrictos de lo realmente necesario), pero sin reducir las prestaciones.

De cualquier forma, la gestión de la movilidad y las infraestructuras debe ser revisada para la circulación de los vehículos autónomos. Así, por ejemplo, debe contemplarse la gestión de la información proporcionada a los vehículos, principalmente información variable, que debe estar actualizada. Además, la calidad de los datos suministrados es esencial para lograr efectividad de los sistemas, si bien esta calidad no es un aspecto trivial y se requiere la fusión de diferentes fuentes de información y algoritmos que permitan discriminar los datos correctos de los erróneos.

Por otra parte, la infraestructura debe estar preparada para los nuevos escenarios de conducción como son la convivencia de vehículos con diferentes niveles de automatización o conectividad, o zonas de operación propias de una conducción autónoma de alto nivel (por ejemplo, zonas de

estacionamiento para el vehículo en caso de que no se haya podido realizar la transición automático- manual). Cabe indicarse que, aunque hay iniciativas con infraestructuras dedicadas que independicen el tráfico autónomo del convencional, parece más viable el trabajar sobre infraestructuras inteligentes, sensorizadas con datos de calidad, que permitan cada vez un mayor intercambio de información con los usuarios que circulan por ellas, si bien, entornos concretos sí pueden aconsejar una cierta segregación, principalmente cuando ciertos vehículos logren niveles de automatización altos. En este sentido, el vehículo autónomo se debe poder desenvolver en un entorno de tráfico compartido con otros usuarios, vehículos o de otro tipo, dotados o no de tales tecnologías, lo que hace aún más difícil la percepción y la decisión.

5 Reflexiones finales

Sin duda, la evolución de la automoción va hacia una mayor automatización de tareas. En concreto, muchas son las voces que abogan por las 4 características fundamentales del vehículo del futuro: autónomo, conectado, compartido y eléctrico. En este sentido, al margen de los nuevos actores que se han introducido con la irrupción del vehículo autónomo, los actores convencionales trabajan en la misma línea de ir incorporando funciones de automatización y conectividad en sus modelos. En este sentido, las principales marcas premium ofrecen sistemas automáticos de mantenimiento de velocidad, distancia de seguridad y mantenimiento en el carril que, previsiblemente, se irán extendiendo a los modelos más eco-



nómicos. De igual forma, los fabricantes están involucrados en proyectos de innovación propios o en cooperación para el desarrollo de mayores niveles de automatización.

Sin embargo, las predicciones de futuro deben ser cautas, sobre todo, cuando existen tantos condicionantes, no sólo tecnológicos, que pueden tener influencia. De hecho, un motivo para ser cautos en este campo fue la afirmación en 2001 donde el Congreso de los Estados Unidos establecía que un tercio de los vehículos terrestres tendría que funcionar sin conductor para el 2015. De hecho, en la actualidad, si bien los fabricantes anuncian vehículos con nivel 4 de automatización para la década de 2020, el plazo para la automatización completa de nivel 5 no la cifran en menos de 15-20 años, periodo más que suficiente para tener cambios en todos los ámbitos: técnicos, económicos, sociales, etc, que influirían sobre esas predicciones. En todo caso, siendo conservadores y considerando las limitaciones no exclusivamente técnicas, en la actualidad nos encontramos con una tecnología madura de nivel 2 y experiencias en el campo del nivel 3.

Lo que sí es claro es el hecho de que la introducción de estas nuevas tecnologías dan cabida a otros sectores que anteriormente se encontraban al margen del sector de la automoción como es el de las telecomunicaciones y los grandes gestores de la información, lo que requiere el esta-

blecimiento de nuevos modelos de negocio y una cooperación con los fabricantes, prácticamente inédita hasta el momento. De igual modo, las experiencias desplegadas hasta el momento están poniendo de manifiesto la necesidad de coordinación entre vehículo e infraestructura, incluso a nivel de comunicación. Incluso, parámetros clásicos de trazado, señalización, etc. deben ser revisados para ir aumentando en los niveles de automatización fundamentalmente por dos razones: el aumento de la fiabilidad en la percepción y toma de decisiones, y el aumento de capacidades al proporcionar una mayor información. Esto rompe con la separación clásica entre el sector de la automoción y el de la infraestructura viaria, quedando este vínculo abierto para la participación de ambos sectores, así como de terceros actores. Es decir, el vehículo autónomo y conectado supone un nicho de oportunidad para múltiples ramas de la Ingeniería como la Industrial, Mecánica, Electrónica, Telecomunicaciones o Civil, ya que se requiere una intervención multidisciplinar y, en la mayoría de los casos, coordinada..

Por último, el incremento de la automatización debe realizarse de una forma progresiva de forma que se evalúen las dificultades de cada paso de forma secuencial y se vayan superando barreras simultáneamente en todos los ámbitos: técnicos, sociales, legales, etc. De este modo no deben anticiparse problemas que no han llegado, aunque hay que estar preparados para ellos. 🌀

REFERENCIAS

- Feng, Y., Hourdos, J., Davis, G. A. (2014). Probe vehicle based real-time traffic monitoring on urban roadways. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, pp 160-178
- García, F. (2012). *Data Fusion Architecture for Intelligent Vehicles*. Tesis Doctoral Universidad Carlos III de Madrid
- Godoy, J., et al., 2015. A driverless vehicle demonstration on motorways and in urban environments. *Transport* 30, 253_263.
- Jiménez, F., Aparicio, F., Estrada, G. (2009). Measurement uncertainty determination and curve fitting algorithms for development of accurate digital maps for Advanced Driver Assistance Systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 17 (3), pp 225-239
- Jiménez, F., Naranjo, J. E. (2011). Improving the obstacle detection and identification algorithms of a laserscanner-based collision avoidance system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19 (4), pp 658-672
- Jiménez, F., Naranjo, J. E., García, F., Zato, J. G., Armingol, J. M., de la Escalera, A., Aparicio, F. (2011). Limitations of positioning systems for developing digital maps and locating vehicles according to the specifications of future driver assistance systems. *IET Intelligent Transport Systems*, 5(1), pp 60-69
- Jiménez, F. (2012). *Libro Verde de los Sistemas Cooperativos*. ITS España y Universidad Politécnica de Madrid
- Jiménez, F., Naranjo, J.E., Gómez, O., Anaya, J.J. (2014). Vehicle Tracking for an Evasive Manoeuvres Assistant Using Low-Cost Ultrasonic Sensors. *Sensors* 14 (12), pp 22689- 22705
- Jiménez, F., Monzón, S., Naranjo, J.E. (2016). Definition of an Enhanced Map-Matching Algorithm for Urban Environments with Poor GNSS Signal Quality. *Sensors*, 16 (2), pp 193
- Jiménez, F. (2017). *Intelligent Road Vehicles: Enabling Technologies and Future Developments*. Elsevier
- Lari, A., Douma, F., Onyiah, I (2014). *Self-Driving Vehicles: Current Status of Autonomous Vehicle Development and Minnesota Policy Implications*. University of Minnesota
- Lefevre, S. (2012). *Estimation du risque aux intersections pour applications sécuritaires avec vehicules communicants*. Université de Grenoble.
- Okumura, B., James, M. R., Kanzawa, Y., Derry, M., Sakai, K., Nishi, T., Prokhorov, D. (2016). Challenges in Perception and Decision Making for Intelligent Automotive Vehicles: A Case Study. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 1(1), pp 20-32
- SAE (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*, s.l.: SAE International.

