

Coche Autónomo, seguridad vial y formación de conductores

Realizado por:

Grupo de investigadores INTRAS

Luis Montoro González

Ana Martí-Belda Bertolín

Ignacio Lijarcio

Patricia Bosó

Consuelo López

Colaboradores CNAE

Raül Viladrich i Castellanas

José Suárez Reyes

Contenido

1. Introducción	1
2. ¿Qué es un coche autónomo?	4
2.1 Primeros pasos hacia una conducción autónoma	4
2.2 Tecnologías al servicio de la conducción autónoma	9
2.3 Distintos niveles de automatismo en vehículos	16
2.4 Consecuencias de la automatización en el conductor	23
2.4.1 Automatización parte del tiempo	23
2.4.2 Automatización todo el tiempo	24
3. Legislación internacional vigente.	25
3.1 Regulación del coche autónomo en Estados Unidos	29
3.2 Regulación del coche autónomo en la Unión Europea	31
3.3 Regulación del coche autónomo en Japón	34
4. La adaptación de las ciudades al coche autónomo	35
4.1 Red Española de Ciudades Inteligentes	40
4.2 Algunos ejemplo de Smart City	41
5. La conectividad del futuro	43
6. Licencias y permisos requeridos.	48
7. Retos y dilemas morales	50
8. Conclusiones y recomendaciones	54

1. Introducció

De entre todos los inventos que el ser humano ha desarrollado a lo largo de la historia, el automóvil es sin duda la representación más fiel del afán de superación que es propio de nuestra especie. Las mentes más brillantes de la humanidad han dedicado un sin fin de recursos a facilitar la movilidad, ya sea de personas u objetos, de un punto a otro, de la manera más eficiente posible. Sin duda alguna, la revolución industrial nos hizo abandonar nuestro anterior concepto de tecnología. El dominio de la electricidad y la mecánica nos permitió crear vehículos cuya tracción no dependiera de la energía de personas o animales, dotándonos de la capacidad de trasladar la carga de trabajo a las máquinas. Esta concepción de la tecnología revolucionó por completo todos los sistemas de transporte existentes, y lo que es más importante, permitió a un gran porcentaje de la población beneficiarse de estos descubrimientos, poniendo el vehículo motorizado al alcance de casi todo el mundo.

Los primeros automóviles llegaron a España antes de finalizar el siglo XIX, comenzando así su presencia imparable entre la población. Por ello, y con el fin de controlar la nueva situación, el 17 de septiembre de 1900, un reglamento, aprobado por Real Decreto el 20 de septiembre, obligaba a matricularlos vehículos con motor y a obtener permisos de conducción, dando sentido a la futura aparición de los centros de formación vial.

La difusión del uso del vehículo también dio lugar a que aumentara la competitividad entre las distintas marcas, repercutiendo favorablemente en la evolución tecnológica de los primeros modelos. No obstante, prácticamente hasta los años 90 todo este progreso era básicamente mecánico, mejorando la estabilidad, resistencia, velocidad, seguridad y eficiencia de estos vehículos. Por otro lado, en otros campos y áreas, tecnologías no tan directamente relacionadas iban marcando su propio camino. Así, por ejemplo, la comunicación entre personas sufrió una gran transformación con la llegada de la telefonía móvil e internet; los sistemas de grabación de vídeo y audio también tuvieron grandísimas mejoras. Un punto de

inflexión en la evolución del automovilismo fue sin duda el momento en el que empezaron a integrarse en los vehículos convencionales componentes de estas áreas, a las que hasta ahora se habían considerado tan alejadas de la automoción. Otro campo de investigación que ha influido de manera determinante en la evolución del transporte ha sido la carrera espacial, que nos ha permitido tener un sistema de geolocalización en nuestro vehículo, vehículo que, a su vez, nos faculta por ejemplo la posibilidad de realizar una llamada a cualquier parte del mundo mientras grabamos con una pequeña cámara de alta resolución todo lo acontecido en nuestros trayectos, o simplemente reproducimos el último disco de nuestro artista preferido. Y todo esto sin ni siquiera separar las manos del volante.

Es evidente, que los cambios sufridos son muchos e importantes, y en este contexto las escuelas de formación vial han sabido siempre adaptarse a esta evolución, con formación, medios materiales y profesionales cualificados.

Que la evolución del automóvil ha sido extraordinaria desde su acercamiento a las masas, es algo innegable, así como que en estos últimos treinta años esa evolución ha resultado incluso mayor de lo esperado. Sin embargo, el automovilismo se enfrenta a una serie de retos que van a forzar a la industria a empezar distintos procesos de adaptación, especialmente debido al incierto futuro fin de los combustibles fósiles. Todo este dinámico progreso y adaptación es sin duda un fenómeno muy interesante, y es precisamente en el campo de la automoción donde puede ser observado en su forma más paradigmática.

En el presente informe se examina de forma sintética los últimos cambios acontecidos en el vehículo y su influencia en el ámbito de la formación vial, procurando alejar el foco de atención de las diferencias entre marcas y modelos, fijándonos en el concepto más llano y compartido de automóvil. Así mismo, se realizará una recapitulación de la situación actual, cómo podrá llegar a ser la aparición de los primeros modelos autónomos, y cómo afectará esto a los distintos sectores que se nutren directamente de la industria del automóvil. Especialmente atenderemos a los sistemas de capacitación para la conducción, y en concreto, cómo se podrán ver

afectados los modelos de negocio con la llegada de estos vehículos autónomos.

Con el fin de llegar a una conclusión lo más cercana posible a la realidad futura que nos acontece, se revisarán tanto estudios sobre el estado de la situación actual, como análisis e investigaciones de sistemas aún no comercializados. A lo largo del presente informe también se analizará y examinará la información más relevante de la que la tecnología actual dispone. Para realizar esto de la manera más clara, concisa y sencilla posible se elaborará un guión que permita al lector navegar entre las diferentes temáticas que conformarán los capítulos y se expondrá la información de manera precisa y sintética, estudiando las problemáticas que puedan surgir, analizando a fondo las oportunidades y dificultades con las que el sector de la seguridad vial y la formación se pueda encontrar (ver apartado de conclusiones).

Finalmente es importante destacar las dificultades y problemas que existen en relación con el tema del vehículo autónomo. No hay mucha documentación, la existente es muy dispersa, las tecnologías no se describen con precisión, las marcas no dan a conocer toda su experiencia, los descubrimientos (por cuestiones comerciales) se guardan celosamente, las normativas son escasas, etc. Todo ello, hace especialmente difícil la existencia de datos y opiniones consolidadas y totalmente fiables sobre un tema de extraordinaria importancia pero de difícil diagnóstico en su evolución.

2. ¿Qué es un coche autónomo?

2.1 Primeros pasos hacia una conducción autónoma

Según los datos de la Comisión Europea, un total de 1.090.300 accidentes de tráfico se producen en las carreteras de los diversos países que componen la U.E. De entre todos ellos, 26.100 personas perdieron la vida y 1.448.100 resultaron heridas (C.E. 2015). Teniendo en cuenta que el error humano es el principal causante de estas alarmantes cifras de siniestralidad (Montoro et al 2002), es sin duda necesario tomar medidas que vayan dirigidas a paliar el grave daño sanitario, personal y económico que este fenómeno desencadena. Y sin duda, uno de los espacios fundamentales para generar una sociedad de conductores responsables es el centro de formación vial.

A lo largo de las últimas décadas, los sistemas de seguridad en los vehículos han evolucionado contribuyendo a reducir significativamente las cifras de muertes y heridos en las ciudades y carreteras. Según las estadísticas europeas, desde el año 2001 hasta el 2015, la mortalidad se ha reducido hasta en 28.900 fallecidos, en gran parte gracias a las innovaciones que el sector automovilístico ha ido añadiendo en materia de seguridad a sus vehículos. No obstante, el factor humano en la siniestralidad del tráfico sigue siendo central y es un problema que requiere de la colaboración en materia de recursos y medios, de cuantos sectores y organizaciones tengan capacidad de acción, ya sea en la gestión de esos recursos, como en la regulación de los ámbitos que engloban todo el sistema de transporte.

Como se ha ido viendo a lo largo de décadas, la aproximación tecnológica a dicha problemática puede aportar buenos resultados. El uso de *airbags*, las distintas mejoras en los sistemas de frenado (pasando de los sistemas de tambor, al *ABS*) o los dispositivos de aviso de cambio de carril, son sistemas de seguridad activa y pasiva que van dirigidos a reducir la gravedad de los siniestros y las posibilidades de que el accidente se produzca, influyendo en los factores participantes del posible suceso. En relación con el factor humano, si se consiguen paliar los errores que pueden darse en la conducción, aumenta el porcentaje de probabilidades que se tiene de evitar un

accidente. Siguiendo esta lógica, y haciendo uso del progreso que las tecnologías, tanto de la información, como de la geolocalización o procesamiento de imagen, están teniendo en nuestros días, los distintos responsables de la innovación automovilística implementan diferentes dispositivos con capacidad para responder a una cada vez mayor cantidad de situaciones, aumentando de este modo la velocidad de respuesta del vehículo, intentando compensar los posibles errores del operador humano en la conducción. La progresiva automatización de los vehículos tiene como objetivo disminuir la carga de trabajo sobre el conductor que la conducción requiere, y conseguir con ello, reducir la probabilidad de ocurrencia de accidentes, debidos a una situación en la que el conductor pueda ver comprometidas sus capacidades para realizar dicha tarea

En este contexto y sin profundizar en cuestiones más o menos técnicas que puedan poner en entredicho la definición general más comúnmente usada en la actualidad, un **vehículo autónomo es aquel capaz de emular las capacidades humanas de manejo y conducción** (Sukthankar, 1992). Percibirá el entorno y tomará decisiones en función de aquellas señales que advierta y considere de relevancia para la consecución de los objetivos para los que el vehículo haya sido programado. Si nos centramos en el marco legal, en palabras de la *DGT* (2015): “Vehículo autónomo es todo aquel que dispone de capacidad motriz equipado con tecnología que permita su manejo o conducción sin precisar la forma activa de control o supervisión de un conductor, tanto si dicha tecnología autónoma estuviera activada o desactivada de forma temporal o permanente”. De manera conceptual, este vehículo no requerirá de la presencia de ninguna persona en su interior para realizar sus trayectos, y es precisamente por esta razón por la que en algunos entornos es denominado también como *vehículo robótico*.

Cuando se habla de vehículo autónomo se podría pensar que es un concepto nuevo, propio de la época actual. Esto no es en absoluto cierto, ya que los planteamientos sobre este tipo de vehículos ya existieron hace bastantes años, muchos más de lo que podemos imaginarnos. Las primeras aproximaciones hacia una conducción automatizada podrían situarse en los años veinte, cuando ya hubo intentos

de desarrollar coches que no necesitaban conductor ya que eran controlados por radio, aunque los experimentos no tuvieron excesivo éxito. En 1935, David H. Keller describía un futuro donde los coches circularían sin necesidad de conductor.

No obstante, el primer “vehículo autónomo” conocido, precursor de los actuales, data del año 1939, y fue expuesto en la feria de muestras Futurama, patrocinada por General Motors, siendo presentado por el diseñador industrial Norman Bel Geddes. El vehículo también se basaba en el sistema de control por radio y un circuito eléctrico, una tecnología que veinte años más tarde siguió investigando la General Motors y la Radio Corporation of América. El año 1950 también supuso un hito en la automatización, cuando se crearon los primeros controladores de velocidad, que proporcionaban *feedback* en base a la acción del acelerador. Más tarde, ya en los noventa surgieron los primeros dispositivos de frenado automático utilizado en los sistemas de control de velocidad.

Años más tarde, en 1980, se fabricó con relativo éxito una furgoneta guiada por visión artificial. Fue diseñada y creada por un amplio grupo de investigadores de la Universidad de Múnich, encargándose de su diseño el investigador Erns Dickmanns. Dicha furgoneta autónoma atrajo la atención de la Comisión Europea, y promovió la decisión de invertir cerca de 800 millones de euros, para su desarrollo dentro del proyecto EUREKA Prometheus. El gran interés manifestado por la Comisión Europea se debía, en buena medida, a las posibilidades de futuro que se vislumbró podrían existir. Este vehículo sin conductor logró alcanzar la velocidad de 100 kilómetros por hora, aunque en una carretera por la que no circulaban otros vehículos.

Desde entonces, y en especial en las últimas décadas, han ido apareciendo un gran número de tecnologías que hicieran más cómoda y segura la experiencia de la conducción. El Sistema Antibloqueo de Ruedas (*ABS*), los Dispositivos de Control de Estabilidad (*ESC o ESP*) o los nuevos Sistemas de Aparcamiento Asistido, forman parte de ese conjunto de elementos tecnológicos que, además de facilitar la experiencia a los usuarios, reduce algunos riesgos debidos al factor humano durante la conducción, disminuyendo de este modo las probabilidades de que ocurra un accidente causado

por distracciones, inexperiencia, negligencias, etc. (Bengler et al 2014).

En 1980, la compañía DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) creó un vehículo que funcionaba mediante láser, además de contar con visión computarizada. A su vez, en el año 1987 se produjo un gran avance al construir los laboratorios HRL un vehículo que consiguió desplazarse más de 600 metros, creando una propia ruta y moviéndose incluso por terrenos relativamente complejos, como por ejemplo, las pendientes y zonas con vegetación o terrenos con grandes rocas. Este vehículo llevaba instalado el sistema de GPS, cuyo invento e incorporación a los vehículos con motor fueron revolucionarios para el desarrollo del vehículo autónomo.

Paralelamente al desarrollo de sistemas de seguridad activa y pasiva, otras complejas tecnologías de asistencia al conductor se han introducido en el mercado, centradas fundamentalmente en proporcionar información y advertencias al conductor. Como ya se ha explicado, el desarrollo de tecnologías y dispositivos en apariencia alejados del sector automovilístico, han permitido el progreso de los sistemas de conducción que aquí se tratan. Un buen ejemplo de ello es como la tecnología GNSS (sistemas de navegación por satélite), habitualmente usada y desarrollada por el ejército, se ha visto impulsada por la reducción de costes conseguidos por los dispositivos móviles y su divulgación a todos los sectores de la sociedad. Esto ha permitido que los vehículos incorporen estas complejas tecnologías en su diseño y fabricación, asistiendo al conductor en algo tan importante como la orientación, contribuyendo a reducir la carga de trabajo del conductor, que necesitará menos recursos cognitivos para su ejecución.

Aunque nos encontramos todavía lejos de ver coches que circulen sin personas sentadas en los asientos delanteros, nos estamos acercando a pasos agigantados hacia ese momento. No obstante es necesario aclarar que tanto los vehículos, como la sociedad, han de sufrir todavía muchas transformaciones, unas electrónicas, dado que la tecnología actual no nos permite todavía delegar la responsabilidad de tomar decisiones en una máquina; otras mecánicas, debido principalmente al progresivo acercamiento por parte de la industria y la sociedad al uso de los sistemas eléctricos en

el automòvil; y otras de índole más económica y social.

En este último ámbito personal y social es importante reflexionar sobre el hecho de que el coche es más que un sistema de transporte. Es una expresión de la libertad de movilidad del ser humano. A muchos conductores les gusta conducir, correr más o menos, pararse en ciertos sitios, ir por un determinado carril, adelantar, ir despacio para mirar, acelerar más en ciertas zonas, tener una forma personal de conducción y un largo etc. ¿Cómo se va a compaginar esta libertad de estilos de conducción y movilidad con el vehículo autónomo? Esta es una de las muchas preguntas a resolver. De hecho, es preocupante que un sistema que va dirigido a las personas, se esté desarrollando con inversiones tecnológicas multimillonarias, sin haber hecho apenas estudios sobre cómo va a ser recibido, percibido y aceptado por las sociedades y las personas que van a ser los receptores y usuarios finales del sistema.

Es más, algunos estudios realizados y otros que se están realizando, indican que a un elevado porcentaje de la población (en algunos casos se habla del 80%, especialmente entre los jóvenes) no les seduce en absoluto la idea de conducir un coche autónomo. Igualmente hay un amplio grupo poblacional al que actualmente el vehículo autónomo parece que les causa desconfianza, les produce estrés tecnológico, les da inseguridad, les genera ansiedad pensar que están totalmente en manos de una máquina que tomará las decisiones sin su control, o simplemente no ven la utilidad que puede tener este tipo de vehículos, en el contexto general de los previsibles cambios de futuro en los sistema de movilidad públicos.

Por último, es importante señalar que todos los sectores directa o indirectamente relacionados con el transporte por carretera, se verán necesariamente empujados a la adaptación de sus modelos de negocio hacia una nueva situación que, paulatinamente, se irá implantando en las carreteras y ciudades. No olvidemos que el fin último dela tecnología autónoma es un sistema de tráfico donde no será requerida la presencia de ningún conductor. El progresivo acercamiento a este objetivo podría ser el origen de nuevas formas de abordar la conducción, pudiéndose requerir nuevas

capacidades y conocimientos, para los cuales habrá que diseñar una formación diferente a la actual y además más especializada.

2.2 Tecnologías al servicio de la conducción autónoma

Generalizando, se podría decir que un vehículo completamente autónomo será aquel que se conduzca en cualquier situación de tráfico sin la necesidad de intervención de ningún individuo, ya sea dentro o fuera del vehículo. En la actualidad, no es posible pasar de los sistemas de conducción existentes (donde la intervención de los sistemas del vehículo en la conducción es asistencial, y no interfiere de manera significativa en el manejo) a una conducción completamente automatizada, sin pasar antes por la inclusión, paso a paso, de dispositivos que sean seguros para todos los usuarios de las vías de circulación. A continuación se describen de manera esquemática las distintas tecnologías que usan y los niveles en los que se clasifica la automatización de estos vehículos.

Para desarrollar un vehículo con capacidades de conducción automáticas, las primeras aproximaciones deben ir dirigidas a modificar la acción de los principales actores del sistema: el acelerador, los frenos y el volante. Por un lado, el sistema de reconocimiento del coche debe proporcionar al ordenador de control toda la información que requiera la modificación de la dirección del vehículo. Por otro lado, durante la conducción autónoma, el acelerador se controla con una señal analógica que indica la presión que se ejerce sobre el pedal. Y en tercer lugar, como es lógico, el sistema de frenado es uno de los más importantes de todos ya que deberá permitir detener el coche en el caso de que alguno de los otros sistemas autónomos del vehículo fallara.

Con la actuación de los tres sistemas mencionados, el vehículo ya es capaz de realizar las funciones básicas pertinentes que puedan permitir la adición de otros sistemas de asistencia a la conducción que, a su vez, capaciten al vehículo para actuaren situaciones de peligro (como pueden ser, la velocidad, la cercanía a otros

vehículos o a señales horizontales). Pero para realizar todo ello, el vehículo autónomo necesita captar el entorno al que ha de responder con seguridad. Para ello, utiliza sistemas como los que se describen a continuación.

- **GPS:** Los sistemas de posicionamiento global, también conocidos como *GPS*, permiten determinar la posición del vehículo en cualquier punto del planeta, con una precisión de centímetros. Actualmente funcionan mediante una red de 24 satélites que utilizan métodos matemáticos para determinar las posiciones relativas de objetos usando la geometría de triángulos, también conocido como *Trilateración*.
- **Sensores Ultrasónicos:** Son usados para detectar obstáculos en el entorno del vehículo. Inicialmente, estos sistemas tenían una función de prevención frente a colisiones, de hecho, son usados de manera más común, en los sistemas de asistencia al aparcamiento. Actualmente se utilizan para completar la información de otros sensores utilizados para la percepción del vehículo.
- **Radar:** Los sistemas de radar se implementaron en los vehículos para captar la morfología del entorno que los envolvía, detectando distancias, obstáculos y evitando posibles colisiones advirtiendo al conductor del peligro. No obstante, en la actualidad, los sistemas *lidar* que se explican a continuación, superan a los sistemas de radar en tecnología y utilidad.
- **LIDAR (*Light Detection and Ranging*):** Permite medir la distancia existente entre el emisor láser y el objeto empleando un haz de láser pulsado. Midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección, es posible determinar la distancia a los obstáculos. Normalmente estos dispositivos se acoplan sobre la zona superior del vehículo, permitiendo una visión en 360º de lo que sucede en el entorno más próximo. El automóvil, gracias a este sistema, es capaz de realizar un mapeo en 3D de su alrededor. Cada píxel que compone estos sensores *LIDAR* es capaz de recoger 44 muestras por cada impulso, siendo lo habitual situarse entre las 20 o 30.
- **Dispositivos de conexión inalámbrica:** Conectando mediante ondas electromagnéticas todos los dispositivos que se encuentren en el rango de

alcance que el instrumento emisor posea. El rango de acción de este sistema inalámbrico no debería superar los 80 metros, de lo contrario no se podrá evitar el exceso de canales de comunicación abiertos. Es muy probable que para cuando se pueda crear un sistema de conexión a tiempo real en el sistema de tráfico, las redes de quinta generación (5G), hasta cuatro veces más rápida que las actuales, sean las utilizadas por este tipo de vehículos. De ello se hablará en apartados posteriores.

Llegados a este punto, es importante remarcar que las tecnologías desarrolladas y por desarrollar son casi infinitas, a ello hay que sumar el hecho de que las marcas no están siempre dispuestas a revelar los sistemas que están estudiando y probando, ni mucho menos, dispuestas a explicar su funcionamiento. Por ello, tanto la gran cantidad y variedad de tecnologías implicadas en la conducción autónoma, como la necesaria confidencialidad que se impone en el mercado, hacen difícil el poder ser exhaustivos en la enumeración de dichos desarrollos tecnológicos. No obstante, a continuación se describen las tecnologías de asistencia a la conducción más divulgadas y utilizadas.

- **Sistema antibloqueo de frenos (ABS).** Sistema de frenado que evita el bloqueo en frenadas de emergencia, evitando de este modo que se pierda adherencia y estabilidad.
- **Control de tracción (TCS, ASR).** Previene la pérdida de adherencia de las ruedas y que éstas patinen cuando el conductor se excede en la aceleración del vehículo o el firme está muy deslizante.
- **Control de estabilidad (ESP, VDC, DSC, ESC, VSC).** Detecta si hay riesgo de derrape, interviene frenando individualmente las ruedas y reduce la potencia del motor para restaurar la estabilidad del vehículo. Fue creado por Bosch en 1995 y debe ir equipado en todos los turismos que se fabriquen en la UE desde noviembre de 2011. El ESP incluye las funciones de ABS y TCS.
- **Reparto electrónico de la frenada (EBV, EBD).** A diferencia del ABS, este sistema reparte de forma electrónica la fuerza de frenado entre ejes, y no individualmente a cada rueda. Determina cuánta fuerza hay que aplicar a cada

rueda para detener el vehículo en una distancia mínima y sin que se des controle. Ayuda a que el freno de una rueda no se sobrecargue y que el de la otra quede infrutilizado

- **Control de velocidad de cruceo adaptativo.** Este sistema utiliza un radar o una cámara de vídeo para reconocer el vehículo que nos precede y medir la distancia que hay hasta él. El sistema mantiene constante la velocidad de cruceo que el conductor ha programado y a la vez mantiene la distancia de seguridad adecuada, acelerando o frenado lo que sea necesario en cada momento.
- **Sistema de dirección eléctrica asistida (EPS).** A través de sensores el sistema es capaz de registrar el movimiento que el conductor realiza sobre el volante, la velocidad de marcha del propio automóvil y el régimen del motor de combustión. Y en función de estos parámetros una unidad de control eléctrica calcula instantáneamente el par de asistencia necesario en cada momento. Este sistema incrementa el control de la dirección cuando circulamos a altas velocidades y facilita las maniobras de aparcamiento a baja velocidad.
- **Sistema pre-colisión (PCS).** Este sistema reduce los daños y lesiones en una colisión. Reconoce situaciones de accidente inminente y prepara tanto el coche como a los pasajeros para minimizar los daños, por ejemplo activa los pretensores de los cinturones de seguridad o ajusta las posiciones de los asientos. Ahora también se ofrece una versión más avanzada que alerta al conductor de peligro de colisión mediante una señal sonora y un aviso en la pantalla de información, si el conductor no reacciona pone en marcha el asistente de frenada de emergencia y aplica los frenos automáticamente para reducir la velocidad de impacto.
- **Detector de ángulo muerto (BLIS, BSM, LCA).** Los sensores pueden detectar vehículos que se acercan por detrás o por el lateral y que se encuentran en un ángulo de visibilidad reducida del conductor (carril de adelantamiento/carril adyacente), advirtiéndole de su aproximación. En caso de un cambio de carril con peligro inminente de colisión, el sistema emite una señal para advertir al

- conductor y prevenir el impacto. De esta manera el ángulo muerto pierde su peligrosidad, pero sigue siendo imprescindible girarse y mirar hacia atrás.
- **Sistema de frenada de emergencia automática (NBS, AEBS).** El sistema de frenado de emergencia avanzado se basa en un regulador de distancia que ayuda a prevenir colisiones por alcance o, en su defecto, reducir la velocidad de impacto y minimizar la gravedad del siniestro.
 - **Aviso de salida de carril (LDW, LKS).** Estos sistemas pueden advertir al conductor que va a cruzar una línea longitudinal de demarcación de pavimento cuando circula por carreteras secundarias y por autopistas y autovías, es decir, fuera de las zonas urbanas.
 - **Asistente de mantenimiento en el carril (LKA).** Es un sistema inteligente que ayuda al conductor a guiar su coche y garantizar que no se salga del carril de manera involuntaria. Sujeto a las condiciones atmosféricas y al estado de la carretera, la LKA supervisa las líneas blancas de la calzada a través de una cámara estéreo. Este sistema incluye la función de Aviso de salida del carril (LDW).
 - **Asistente para atascos de tráfico.** Este sistema combina el asistente para el mantenimiento en el carril, el sistema de frenada de emergencia automática y el control de velocidad de cruce adaptativo. Haciéndose uso de ellos, en caso de atasco de tráfico, el coche puede seguir la cola de la retención por sí mismo, manteniendo la velocidad según sea posible, conservando la distancia de seguridad, frenando, parando el coche, volviendo a acelerar y manteniendo el coche en el carril, sin la intervención del conductor.
 - **Asistente de visión nocturna.** El sistema vigila la carretera mediante una o varias cámaras de infrarrojos y proyecta la imagen captada delante del vehículo en una pantalla, brindando imágenes electrónicas claras de personas y animales ante un fondo de alto contraste. El asistente de visión nocturna también funciona en el caso de que se acerquen vehículos en sentido contrario deslumbrando a los demás usuarios. Más efectivos aún son los nuevos dispositivos que proyectan con un haz de luz pulsada a través de los faros una

imagen activa del campo delantero y lateral del vehículo.

- **Head-up-Display (HUD).** Sistema de visualización que proyecta la información vial importante directamente al campo de visión del conductor. Con el Head-up-Display el conductor no necesita desviar la mirada de la carretera hacia el panel de instrumentos para informarse sobre su velocidad de cruce, la señalización de la carretera o sobre la detección de peatones o ciclistas por el sistema de visión nocturna, aumentando de esta manera el tiempo de reacción ante posibles peligros.
- **Detector de peatones con frenada de emergencia.** Esta tecnología es capaz de detectar la presencia de un peatón delante del vehículo y si el conductor no responde a tiempo el vehículo avisa y activa automáticamente los frenos. A través de un radar en la parrilla del coche, una cámara al lado del espejo retrovisor interior y una unidad de control central el sistema detecta cualquier peatón situado delante del coche al tiempo que calcula la distancia entre ambos. También es capaz de detectar peatones que están a punto de alcanzar la calzada.
- **Sistemas de iluminación adaptativa (AFL, AFS).** Mediante nuevas configuraciones automáticas, los sistemas ofrecen una iluminación óptima adaptada a la velocidad, el entorno y el trazado de la carretera, sin cegar a quien se acerca en sentido contrario mediante una tecnología inteligente. Hay sistemas que permiten a los faros seguir de forma automática el trazado de la curva.
- **Sistemas de aparcamiento automático.** Valiéndose de sensores que miden la distancia desde el coche hasta los límites de la plaza, otros coches u obstáculos, el sistema se encargará de controlar la dirección, marchas, frenado, etc., todo lo necesario para hacer la maniobra completa de aparcamiento.
- **Sistemas de advertencia de fatiga (AA, DA).** El sistema analiza constantemente el comportamiento del conductor mediante sensores y algoritmos de evaluación de datos, siendo señales claras de disminución de concentración y alerta de fatiga las maniobras bruscas o una menor frecuencia de parpadeo. El

sistema combina la forma y frecuencia de dichas reacciones con otros datos como la velocidad vehicular, la duración del desplazamiento o la hora del día y calcula de esta manera el grado de fatiga. Si el sistema detecta la fatiga del conductor, le avisa mediante una señal visual y/o acústica y le recomienda descansar.

- **Sistema inteligente de información al conductor (IDIS).** Este sistema registra continuamente la actividad del conductor y es capaz de retrasar la entrada de mensajes de texto y llamadas cuando las circunstancias de conducción no son adecuadas y puede haber riesgo de accidente. De esta manera se reduce la distracción del conductor.
- **Sistema de reconocimiento de señales de tráfico.** Detecta límites variables de velocidad, prohibiciones de adelantamientos y finalización de las mismas. En el futuro será posible detectar otras señales de tráfico. Gracias a este sistema el conductor está continuamente informado de los límites de velocidad de la carretera por la que circula.
- **Reconocimiento de voz.** En la actualidad se ofrecen sistemas de conectividad en el automóvil que reconocen un número determinado de vocablos que permiten al conductor dar órdenes por voz de llamadas de teléfonos, mensajes de texto, regular el climatizador, etc. Los sistemas de reconocimiento de voz tienen como objetivo evitar al máximo las distracciones de conductor.

Todos estos sistemas de asistencia a la conducción, muchos de los cuales se integran como parte de la tecnología del vehículo autónomo, deberían ser conocidos en profundidad por el profesor de formación vial. Con ello, deben ser capaces de dar respuesta a las nuevas demandas de formación de los alumnos, que necesariamente han de pasar por el conocimiento y el uso de estas tecnologías. En caso contrario, cabe el riesgo de que otros sectores intervengan en la formación de esta dimensión, con el riesgo que ello implica para el sector de las autoescuelas.

2.3 Distintos niveles de automatismo en vehículos

El coche autónomo, como lo fue el coche manual en su momento, es un incuestionable avance para el progreso de la sociedad general. Es por ello que, con el fin de mejorar la tecnología, los distintos equipos de ingenieros e investigadores de todo el mundo comparten los avances conseguidos en sus respectivos campos. Uno de los centros de intercambio de información es, por ejemplo, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), una organización enfocada al desarrollo de los estándares tecnológicos para todo tipo de vehículos. En el globalizado mundo en el que vivimos, es de vital importancia el flujo de información entre todos los países que tienen como objetivo común el progreso de la tecnología y la creación de una serie de estándares que permitan compartir los progresos y la evolución en el diseño y fabricación de las máquinas del futuro.

Por ello, la SAE promulgó el listado una serie de niveles que permiten cuantificar el progreso en la automatización de los automóviles, aunque no impone requisitos a sus fabricantes sino que es algo meramente informativo y orientativo. En definitiva, la SAE, creó una escala que permitía medir la autonomía de los vehículos. Esta escala tiene seis niveles que van desde el 0 hasta el cinco, donde el cero sería una automatización inexistente, y el 5 sería el de un vehículo totalmente autónomo. Estos distintos estadios de desarrollo son bien conocidos en la industria automovilística, entre los proveedores de servicios de telecomunicaciones o las empresas que investigan en soluciones de inteligencias y visión artificial.

Los niveles propuestos de automatización de la conducción vienen definidos en referencia al rol específico desempeñado por cada uno de los tres actores principales en el rendimiento del DDT (*Tarea de Conducción Dinámica*): el conductor (operador humano), el sistema automático de conducción (el automóvil) y otros vehículos, sistemas o componentes (ver *Imagen 1*). Por DDT entenderemos todas las funciones operativas y tácticas en tiempo real necesarias para operar un vehículo en el tráfico rodado, excluyendo las funciones estratégicas como la programación de viajes y la selección de destinos y puntos de paso (SAE 2014). Algunas de las principales

funciones que se relatan son:

- **Operativas:** control de movimiento lateral del vehículo mediante dirección.
- **Operacionales:** control longitudinal del movimiento del vehículo mediante aceleración y desaceleración, así como funciones de frenado.
- **Tácticas:** planificación de maniobras y ejecución de respuesta de objetos y eventos, al igual que la supervisión del entorno de conducción, mediante la detección de objetos y eventos.

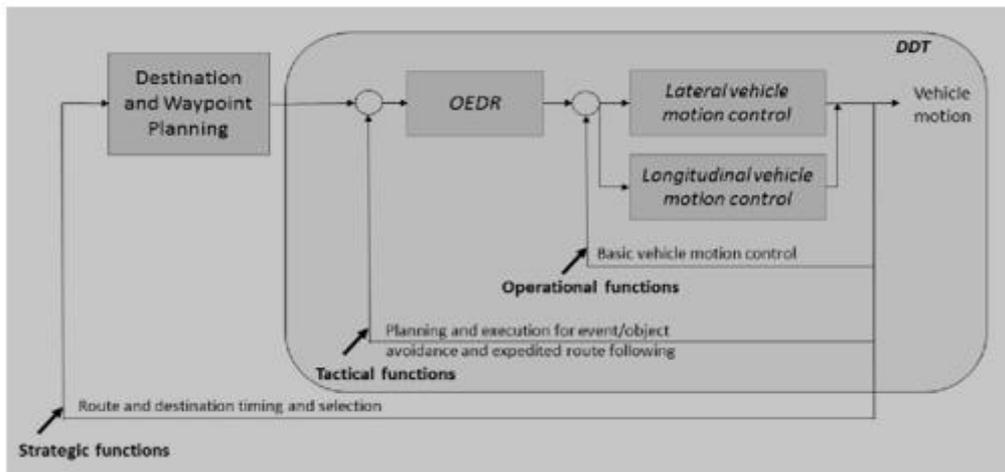


Imagen 1: Visión parcial esquematizada de DDT

Los niveles de automatización de la conducción están organizados en función del rol que ejercen en la conducción estos tres activos principales. En este caso el “rol” se referirá a la actuación esperada de un elemento concreto, basándose en las funciones para las cuales ha sido diseñado y no necesariamente en el rendimiento real. Por ejemplo, cuando un conductor no está manteniendo su atención en la carretera, a la vez que un sistema de control de velocidad adaptativo de **Nivel 1** está en funcionamiento, sigue manteniendo su rol de conductor a pesar de estar descuidando totalmente sus funciones.

Es importante a la hora de analizar los niveles definidos por la SAE, explicar ciertos conceptos técnicos que utilizan para referirse al funcionamiento de los distintos automatismos que se han venido añadiendo con el tiempo en nuestros vehículos.

No es posible una explicación completa de todas las dimensiones que abarca el análisis de la *Tarea de Conducción Dinámica* (siglas en inglés, DDT) sin añadir información acerca del *Dominio del Diseño Operativo (ODD)*, que abarcaría todas las condiciones específicas bajo las cuales un sistema de automatización de accionamiento dado o una característica del mismo está diseñada para funcionar, incluyendo modos de conducción. Podría incluir, por ejemplo, limitaciones geográficas, de carreteras, ambientales, de velocidad...etc.

Una vez explicados estos conceptos (Tarea de Conducción Dinámica y el Dominio del Diseño Operativo) podemos pasar a explicar cuáles son los criterios de inclusión en uno u otros niveles de automatismo.

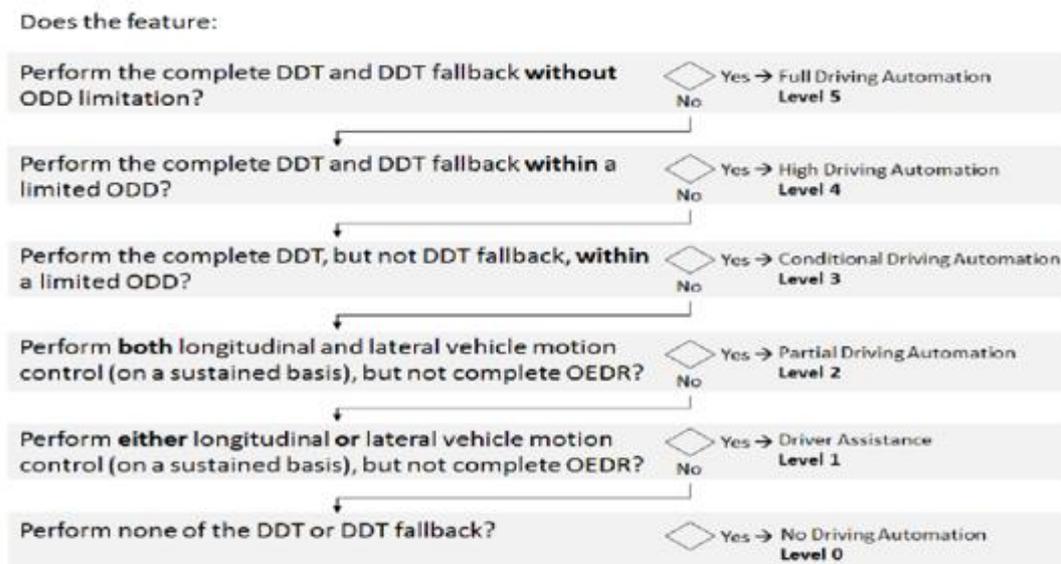


Imagen 2: Diagrama de flujo lógico simplificado para asignar el nivel de automatización de la conducción a una función.

Como se puede observar en la *Imagen 2*, la inclusión en uno u otro nivel dependerá principalmente de las funciones del *DDT* que el vehículo es capaz de realizar, así como las limitaciones del *ODD* que puede llegar a tener, y la respuesta a los fallos de ambos que el vehículo puede sufrir. Así, nos encontramos con los siguientes niveles:

- **Nivel 0: Control del conductor**

El conductor tiene el control de todos los sistemas del vehículo. Esto no incluiría los

elementos de seguridad activa o pasiva, ya que, siguiendo los criterios de inclusión de la SAE, no tienen influencia en el DDT. Aunque los elementos de seguridad activa mejoran el rendimiento del conductor en el DDT.

En este nivel se podrían incluir una gran parte del parque automovilístico que actualmente se mueve en nuestras vías. Esto es sin duda un claro indicador de la rápida evolución que los sistemas de conducción han tenido en muy poco tiempo, así como por contra una demostración de la baja velocidad de adaptación de la sociedad a los agigantados pasos de la tecnología.

- ***Nivel 1: Asistencia al conductor***

Se ejecuta de manera sostenida y específica el ODD por un sistema de automatización de conducción de la subtarea de control de movimiento lateral o longitudinal del DDT (pero no de manera simultánea). Esto significa que el ODD limita mucho las condiciones de automatismo en este nivel, de este modo puede que aparezcan eventos y objetos a los que el sistema de reconocimiento del vehículo no será capaz de responder. Uno de los sistemas más comunes que incluye a un vehículo en este nivel de autonomía es el Asistente de Mantenimiento de Carril y el Control de Velocidad de Crucero.

- ***Nivel 2:Automatización de la conducción parcial***

Al igual que en el nivel 1, se ejecuta de manera sostenida el ODD incluyendo esta vez la capacidad de movimiento longitudinal y lateral simultáneamente en la conducción automática situacional. Un claro ejemplo de este nivel es precisamente el asistente de aparcamiento. En el nivel 1 el asistente nos advierte y puede corregir frenando el vehículo para evitar una leve colisión durante el aparcamiento. Sin embargo, en el nivel 2 ya podemos encontrarnos con la posibilidad de dejar a los sistemas autónomos del vehículo la capacidad de estacionar sin la intervención del conductor. Se incluyen en este nivel mejoras en los sistemas de mantenimiento de carril, corrigiendo la dirección del vehículo a expensas de la situación del conductor, y no sólo advirtiendo de la posibilidad de fallo humano.

- ***Nivel 3: Automatización de la conducción de manera condicional***

En este nivel de automatización el *ODD* amplía su rango, dejando que el vehículo controle la totalidad del *DDT* y responda a fallos del mismo sistema. El conductor no tendrá la necesidad de supervisar el control del vehículo mientras el nivel 3 está en activo. Sin embargo, se espera de él que pueda estar preparado para reanudar el *DDT* cuando el asistente de conducción emita una solicitud de intervención (como ocurriría con un fallo relevante del sistema *DDT*). Buen ejemplo de este nivel sería un asistente a la conducción capaz de realizar el *DDT* en una autopista, con tráfico y a baja velocidad.

Actualmente podemos encontrar, entre otros sistemas, el Asistente para Atascos de Tráfico. Teniendo en cuenta que durante situaciones de esta índole la velocidad del usuario siempre es muy baja, el asistente de conducción puede tomar sin peligro el *DDT* al completo, sin grandes implicaciones a la hora de tomar decisiones relevantes. A diferencia del nivel 4, en este punto de la autonomía del vehículo, el conductor siempre ha de estar pendiente de supervisar las características y solicitudes del asistente ("*eyes off*"). Este nivel ya requiere modificaciones legislativas.

- **Nivel 4: Alta automatización de la conducción**

En este caso, durante el desempeño sostenido y específico del *ODD* por el asistente de conducción (que controla la totalidad del *DDT*), el vehículo no recibe *feedback* de ningún tipo por parte del conductor ("*mind off*"). Así pues, el asistente no tiene expectativas de una posible respuesta por parte del usuario a las solicitudes que pueda tener. Esto determina una serie de características auto-regulatorias del vehículo que colocan al mismo en altos niveles de *inteligencia artificial*.

Es precisamente en este punto donde podemos encontrarnos con los primeros dilemas éticos, unidos inevitablemente al empoderamiento del que se faculta a la máquina, como la elección de víctimas en caso de colisión inevitable, entre otras situaciones. En el nivel 4 el vehículo debe ser capaz de lograr una condición donde el riesgo sea mínimo si el conductor no reanuda su actividad sobre el *DDT*. Existe en este nivel, además, la capacidad de realizar viajes completos o parciales.

En el nivel 4, el vehículo sería capaz de realizar el *DDT* entero durante el funcionamiento sostenido en una autovía, es decir, dentro de su *ODD*. Sin embargo, en determinados casos, el conductor deberá ser capaz de tomar los mandos para salir del mismo; de no ser así, el vehículo buscaría una condición de riesgo mínimo para que se pueda llevar a cabo la finalización del viaje. Por tanto, este nivel implica, todavía, la presencia de un conductor.

- **Nivel 5: Automatización completa**

En el nivel de automatización completa, un asistente de conducción realizará un desempeño sostenido e incondicional (sin *ODD*) y será capaz de realizar todo el *DDT* y responder a los fallos y solicitudes del mismo. Todo esto sin expectativa alguna de que el usuario del vehículo pueda ser capaz de responder a cualquier advertencia.

La desaparición del *ODD* es el mayor avance en este nivel, y el que realmente lo diferencia del anterior. No existiría condición alguna para el asistente, ya sean climatológicas, temporales o geográficas. No obstante, puede que haya condiciones no manejables ni por un conductor en las cuales el asistente sería incapaz de completar el viaje (una gran tormenta, una nevada, una inundación, etc.) hasta que las condiciones adversas se solventen de algún modo. En este nivel el asistente buscaría siempre la situación de riesgo mínimo, ya sea deteniéndose en el arcén, o intentando encontrar vías alternativas. En definitiva, en este nivel de automatización, la presencia del conductor ya no debería ser necesaria.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

Imagen 3: Tabla resumen distribución niveles de automatismo

En resumen, a partir de lo expuesto se puede ver que los niveles de automatismo permiten clarificar y clasificar los avances en la tecnología de la asistencia a la conducción. Actualmente se puede decir que nos encontramos en un nivel de desarrollo de autonomía 3 relativamente consolidado, dado que las tecnologías actuales incluyen sistemas que podrían ser encasillados en este nivel de autonomía, según la clasificación de la SAE.

No obstante, diversas marcas y equipos multidisciplinares dedicados a la temática de la automoción, empiezan a desarrollar sistemas que van más lejos en las tareas de automatismo. Los fabricantes más innovadores ya están realizando pruebas con el nivel 4, aunque su aparición inicial en las carreteras convencionales no se espera hasta 2020. En cualquier caso, y como trataremos más adelante, los sectores tecnológicos dedicados a la investigación en este campo se han encontrado con una problemática que es necesario resolver: las legislaciones vigentes de los distintos países donde se vienen desarrollando estas prácticas, principalmente Estados Unidos y Europa.

2.4 Consecuencias de la automatización en el conductor

Indudablemente, la actual y futura automatización de los vehículos afecta directamente a la figura del conductor. En este sentido, muchos interrogantes se dirigen al hecho de que los principales recursos cognitivos que demandan la tarea de la conducción (como puede ser la atención, los tiempos de reacción, etc.), verán reducido su uso de manera importante. A medida que los dispositivos que automaticen el vehículo vayan siendo implantados, la demanda que dichos vehículos hagan de las capacidades de una persona para tomar el control del vehículo se irá reduciendo. Este aspecto se puede considerar algo positivo a la hora de reducir los errores humanos y aumentar la comodidad de los conductores. Sin embargo, en el camino a la implantación de un sistema completamente autónomo, uno de los mayores riesgos se sitúa en los niveles de automatismo transitorios, en los que se le permite al automóvil tomar el mando en determinadas situaciones, donde se podrá alternar el control del vehículo entre la persona y el sistema de ordenador de abordo.

2.4.1 Automatización parte del tiempo

¿Qué hacen lo conductores durante el periodo de automatización de la conducción? La conducción sería aburrida, además de que la consciencia sobre la situación que se está desarrollando en cada momento en la carretera, desaparecería. Es importante destacar que en caso necesario, la **transición de automático a manual** es un momento del todo crítico. En primer lugar, porque inevitablemente se acudiría tarde, por poco que sea, al acontecimiento que requiera del ejercicio del rol de conductor. Existe inevitablemente un tiempo que se ha de dedicar a realizar dicho cambio. Esto podría parecer de poca importancia, pero a grandes velocidades, en ese corto espacio de tiempo pueden haberse recorrido muchos metros y por ello existir un grave riesgo. Además, también es muy probable que en estas situaciones se dé el fenómeno de *Compensación del Riesgo* que implicaría la disminución del uso de medidas de precaución durante la conducción, por parte de la persona, debido a la confianza en los sistemas de seguridad o asistencia del vehículo, cayendo de este modo en un sesgo cognitivo muy común: *“Si el coche conduce mejor, puedo ser menos*

cauteloso" (Nass, 2003).

2.4.2 Automatización todo el tiempo

Además de lo indicado, una de las principales consecuencias que tendría la completa automatización de todas las funciones del vehículo sobre el conductor, sería la deshabituación a la realización de las comprobaciones que habitualmente se efectúen en el vehículo. Así mismo, se perderían comportamientos adquiridos mediante la práctica de la conducción manual, como mirar o atender a ciertos lugares o estímulos. La utilización de las capacidades cognitivas se reduciría considerablemente, situándose el individuo en un estado de alerta menor del que cabría esperar de alguien que controla una máquina de esas características. Esto es sin duda un grave riesgo en el caso de que falle el sistema y/o se necesite pasar a una conducción manual.

3. Legislación internacional vigente.

La movilidad libre es uno de los derechos fundamentales del ser humano recogidos en la Declaración Universal de los Derechos Humanos de Naciones Unidas (*art. 13.1*). También se recoge en el manifiesto de Tokio de 1984: “la libertad de movimientos y de elección del sistema de transporte forma parte de los derechos básicos de todos los seres humanos”. En España, se recoge este tema ya desde el año 1778, año en el que se dicta un Real Decreto que insta al gobierno de entonces a gestionar la seguridad y confortabilidad de los caminos y tránsitos para la fácil comunicación, la actividad circulatoria y todo lo relacionado con ella ha sido una constante en las agendas de los gobiernos.

El 17 de septiembre de 1900 se aprueba el “**Reglamento para el Servicio de Coches Automóviles por las Carreteras del Estado**”, al mismo tiempo que se matriculó el primer vehículo (cuya matrícula pasará a la historia de nuestro país como *PM-1*). Por aquel entonces, y como dato anecdótico, la velocidad máxima estaba limitada en vías interurbanas, según ese mismo reglamento, a *28 km/h*, siendo el límite de *15 Km/h* en vías urbanas.

La universalización del mundo del transporte ha sido históricamente un símbolo de riqueza y prosperidad de los países, al igual que fue la primera fuente de conflictos en materia de circulación, ya que cada Estado poseía su propio sistema de regulación. Apareció entonces la necesidad de crear herramientas legales que impulsaran a los gobiernos a formular una serie de normas comunes, compartidas entre todos y que de este modo, se facilitara lo máximo posible la comunicación entre las naciones. Con esta idea surgieron precisamente los primeros **Convenios Internacionales**, que eran de obligatorio cumplimiento para los Estados firmantes que asumían el cumplimiento de las normas contenidas en el convenio mediante ratificación del mismo. Toda esta reglamentación supranacional guiará los pasos de una conducción internacional mucho más segura, eliminando profundas disparidades entre los códigos circulatorios de las naciones, y centrando la responsabilidad de la infracción en la voluntad del infractor, ya que se partía del principio de que el desconocimiento de una norma no

exime de su cumplimiento.

En el **París** de **1909**, en una de las primeras Convenciones Internacionales, fueron enunciadas las primeras normas relativas al tránsito de vehículos y su circulación más allá de las fronteras nacionales. Entre los países que firmaron estas primeras iniciativas se encuentran: Alemania, Francia, España, Reino Unido o Italia, hasta un total de 16 países. Tras éste evento histórico, aparece el **Convenio internacional relativo a la Circulación de Automóviles**, en el que se armonizaron las normas y señales emergentes.

De esta manera, la normativa en el mundo del motor iba evolucionando paulatinamente. Con la aparición de nuevos avances tecnológicos, la comunidad internacional creaba disposiciones cada vez más complejas, siempre respetando y reconociendo a cada una de las partes firmantes el derecho soberano de reglamentar el uso que se le daba a sus carreteras.

Así, los distintos convenios que fueron apareciendo fijaron unas condiciones de aceptabilidad de la circulación en el tráfico internacional, creando diversas normas que afectaban desde los requisitos que debe reunir un conductor, hasta las características mínimas que debía tener un vehículo de determinada clase. Distintas convenciones se fueron realizando, desde entonces hasta llegar a **1968**, año histórico para la seguridad vial en el que se firmaron en Viena la histórica **Convención Sobre la Circulación Vial** y la **Convención sobre la Señalización Vial**. Ésta última vio la imperiosa necesidad que existía de adaptar la anterior *Convención de Ginebra* a las constantes evoluciones que se estaban produciendo en el mundo del motor.

Existen pues, diferentes precedentes que nos pueden indicar la inclinación y voluntad que los gobiernos de distintos países pueden mostrar hacia las nuevas situaciones que el progreso tecnológico provoca en las sociedades. En el caso de los vehículos autónomos, la diligencia con la que las distintas empresas están haciendo evolucionar la tecnología es mucho mayor que en los años en los que se firmaran las convenciones anteriormente mencionadas. La situación política internacional es bien distinta, y sin embargo la necesidad de crear canales que estandaricen en el mayor

grado posible los distintos códigos de circulación sigue estando vigente.

La existencia de distintas organizaciones internacionales facilita mucho este difícil proceso, máxime teniendo en cuenta la fuerte competencia con la que los fabricantes crean nuevos dispositivos que necesitan una rápida regulación legal. Como la misma *DGT* indica, España, sí bien firmó y ratificó la Convención de Ginebra de 1949, hasta el momento solo ha firmado pero no ratificado las Convenciones de Viena de 1968. Las causas que en su día se adujeron, conocidas jurídicamente como reservas, fueron en relación con la cláusula de arbitraje del artículo 52 de la Convención. La posición española no resiste al mínimo análisis jurídico internacional, ya que de todos es conocido que los convenios, acuerdos, etc., pueden ser ratificados con las reservas que se estimen necesarias o pertinentes. De ello que se deduce que, por el momento, España no ha tenido voluntad política de ratificar, siendo con Portugal y el Reino Unido, los tres países europeos que, por diversos motivos, no han ratificado las citadas Convenciones.

En la actualidad España sigue sin ratificar dicha Convención exponiendo que en el *Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre* se incorporan las reglas de la *Convención de la Circulación Vial*, y que la interpretación de los símbolos de señalización recoge lo establecido por la *Convención de Viena de 1968* y sus posteriores revisiones. Igualmente, otros países, como Portugal o Reino Unido, tomaron la misma decisión y en la actualidad se mantienen en la misma postura que España.

Por este motivo, hasta cierto punto, nuestro país posee un margen de autonomía a la hora de legislar sobre la inclusión de los nuevos dispositivos que la conducción autónoma ofrezca a nuestra sociedad. Debido a este hecho, distintas compañías relacionadas con los vehículos autónomos han querido probar sus innovaciones precisamente en nuestras carreteras.

Como precedentes encontramos las pruebas de los sistemas de conducción automatizada, realizadas por *Volvo*, en lo que se llamó el proyecto *SARTRE (Safe Road Trains for the Enviroment)*. Financiado por la Comisión Europea, el proyecto SARTRE

tiene como objetivo desarrollar e integrar soluciones que permitan a los vehículos conducir en agrupaciones guiadas denominadas trenes de carretera. Muy sintéticamente, este sistema se basa en que los vehículos, en función de la preferencia de ruta que el conductor elija, se unirían a otros grupos con los que podría compartir itinerario; estos grupos a su vez, serán guiados por un camión. Éste último tomaría el control de la dirección y velocidad de los vehículos que conforman el tren de carretera, permitiendo a los conductores de dichos vehículos ceder la responsabilidad de la conducción al guía. Con ello, se esperaba conseguir una reducción en el consumo de combustible, así como mejoras en materia de seguridad (Robinson et al, 2010).

Otras empresas han realizado pruebas similares, pero con la conducción autónoma individual. La idea de crear trenes de carretera con vehículos interconectados entre sí se acabó desechando, debido precisamente a que la tecnología autónoma de los vehículos avanzó mucho más rápido de lo que costaría (en recursos y tiempo) el implantar un sistema de trenes de carretera en las distintas sociedades avanzadas. Por este motivo, prácticamente todas las empresas del sector, se apuntaron a la carrera por conseguir un coche que se conduzca de manera totalmente automática.

De igual modo, y como hemos estado viendo en la recapitulación sobre la situación legal internacional, en España actualmente se está produciendo un fenómeno similar al que ocurrió con la *Convención de Ginebra*: los rápidos avances de la tecnología están empujando a los numerosos gobiernos u organizaciones internacionales, a revisar sus distintos códigos de circulación.

Teniendo en cuenta lo expuesto, a continuación se hace un análisis de la situación normativa de las dos principales potencias internacionales: La Unión Europea y Estados Unidos de América. Los grandes gigantes del sector automovilístico están ubicadas fundamentalmente en las naciones y estados que componen estas dos potencias, desarrollan sus actividades sobre sus carreteras y se regulan por sus contextos legislativos, que por ello son importantes de conocer.

3.1 Regulación del coche autónomo en Estados Unidos

En el caso de EEUU, la regulación legislativa referente al desarrollo de la conducción autónoma ha ido avanzando paulatinamente. Los vehículos autónomos se han estado probando por las carreteras estadounidenses desde 2010, cuando google empezó a probar sus primeros prototipos. Desde entonces, en ausencia de una intervención del Congreso, los estados han estado regulando de manera independiente las normas de uso del vehículo autónomo, creando un mosaico de al menos 21 leyes y pautas estatales distintas, con diferentes propósitos y prioridades. (Ver imagen 4)

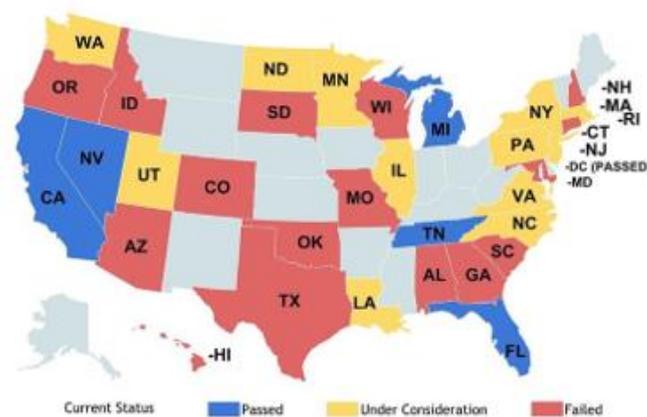


Imagen 4: Regulación del coche autónomo en EEUU

California ha sido el estado más permisivo y precoz en cuanto a la regulación de la conducción autónoma, debido principalmente a que allí se encuentra uno de los nichos tecnológicos más importantes del mundo, *Silicon Valley*. Las normas han variado mucho de un lugar a otro, aunque compartían prácticamente las mismas directrices y principios básicos: *se requiere que haya una persona capacitada ocupando el asiento del conductor. Así mismo, esta persona debe ser capaz de tomar el control absoluto del vehículo en cualquier momento. A estos principios algunos estados añadían la prohibición de la conducción de coches autónomos en vías públicas por ningún otro propósito que no fuera el de testeado o pruebas experimentales.*

Pero este escenario no es el más deseado por la industria automovilística, que aspira a construir automóviles que puedan circular por todas las vías públicas. No obstante, el propio sector reconoce que es demasiado pronto para exigir normas estrictas y concretas sobre la conducción autónoma, dado que las empresas todavía no están vendiendo estos vehículos al público, tienen que solucionar muchos problemas tecnológicos y todavía están en un proceso de estudio para determinar cómo deben funcionar

Por su parte, el gobierno, reconoce esta situación, y desea encontrar un equilibrio entre permitir que las compañías tecnológicas y de automóviles prueben sus vehículos, dándoles suficiente margen para probar los avances y recopilar datos suficientes y a su vez determinar la mejor manera de llevar a la realidad una conducción autónoma segura.

En este contexto, muy recientemente EEUU, en su afán por liderar la normalización de la conducción autónoma, acaba de aprobar la primera ley nacional sobre conducción autónoma que permitirá en un futuro fabricar y comercializar vehículos autónomos en todo el país. La ley AV START ha recibido el visto bueno del Senado estadounidense, dando de esta manera otro paso legislativo hacia la conducción autónoma.

A partir de ahora, la Agencia Nacional de Seguridad Vial (NHTSA) tiene un plazo de 24 meses para elaborar las normas sobre las que los fabricantes de automóviles deberán elaborar informes de seguridad que deberán ser aprobados por la Agencia. Igualmente este organismo tiene un año para determinar qué características de un vehículo autónomo requerirán de estándares de rendimiento, como por ejemplo, qué configuración de sensores, láseres y cámaras es la segura, como será la ciber-seguridad que tendrá que proteger la gran cantidad de información personal sobre los conductores que estos coches van a poder almacenar, o la forma en la que garantizarán que haya por lo menos un pasajero en el automóvil antes de comenzar la marcha. Porque la ley, no contempla por ahora la desaparición del conductor, que seguirá siendo necesario dentro del vehículo.

Lo que si contempla es el poder de otorgar paulatinamente una cantidad de licencias para permitir la circulación de vehículos autónomos en pruebas. Está previsto que durante el primer año, después de su aprobación, se permita la circulación de 25.000 vehículos por fabricante y si los resultados de seguridad son positivos, esta cifra irá aumentando paulatinamente hasta los 100.000 en los próximos cuatro años.

La ley también trata otros temas como la educación y formación de los conductores y determinadas protecciones para conductores con discapacidades, aunque no ha trascendido mucho al respecto.

En cualquier caso, el proceso legislativo se prevé largo. Todavía el Senado debe aprobar su propio proyecto de ley y luego ambas cámaras deberán trabajar juntas para elaborar la ley que ha de firmar el presidente. Posteriormente vendrá el trabajo más arduo de todos, consistente en ver como la NHSTA materializa todas estas propuestas y sobretodo, cómo soporta las presiones de tantos sectores implicados.

3.2 Regulación del coche autónomo en la Unión Europea

En el caso de la Unión Europea, el tráfico rodado es una de las áreas posiblemente más reguladas, dado que se tiene plena conciencia de que conlleva grandes riesgos para todos los usuarios del sistema vial. En este contexto, la automatización de los vehículos cambia los riesgos de conducción en muchos aspectos, lo que requiere una reevaluación de todo el sistema de tráfico y la regulación relacionada con el vehículo. Teniendo en cuenta que las jurisdicciones nacionales pueden obstaculizar el desarrollo de tecnologías para los sistemas o vehículos, la Unión Europea, a través de la *UNECE*, ha intervenido con el fin de armonizar estas nuevas tecnologías, dado que los enfoques fragmentados de los distintos países dificultarían la aplicación de dichas tecnologías y pondría en peligro la competitividad europea.

Dentro de este organismo, el **Grupo de Trabajo sobre la Seguridad Vial** es un órgano intergubernamental permanente encargado de administrar los convenios internacionales relacionados con el tráfico. Es importante tener en cuenta lo que dice

textualmente el **Artículo 8** de la Convención de Viena de 1968:

“(1) Todo vehículo en movimiento o combinación de vehículos deberá tener un conductor...”

“(5) Todo conductor deberá poder controlar en todo momento su vehículo...”

Sin embargo en marzo de 2014 el Grupo de Trabajo sobre la Seguridad Vial aprobó una enmienda en dicha Convención en la que se especificaba que: “ *los sistemas que influyen en la conducción de los vehículos, así como otros sistemas que puedan ser anulados o apagados por el conductor, se consideran conformes con el artículo 8*”. Por tanto, la normativa de la convención modificada todavía exige que cada vehículo deba tener un conductor. No obstante, en el futuro, se plantea exigir únicamente la posibilidad de retomar en cualquier momento el control total del vehículo. Por lo tanto, es necesario un nuevo proceso de enmienda para permitir que los vehículos circulen sin ninguna intervención del conductor.

De acuerdo con la normativa, en la actualidad, los sistemas con automatización alta o completa son en su mayoría aún incompatibles con la Convención, incluso con los cambios realizados en 2014. Hay que tener en cuenta, además, que la Unión Europea ha sido la única que ha facilitado la clasificación de una serie de niveles de automatismo (estandarizados para todos los países constituyentes) que permiten clarificar el estado de desarrollo tecnológico en el que se encuentran los vehículos. En nuestro país, concretamente, no existe una regulación oficial establecida. No obstante, la *DGT* ha anunciado medidas regulatorias para este año 2017. Es por ello que entonces y como antes hemos explicado, previsiblemente se aplicará la legislación europea.

Otra de las áreas importantes sobre la que existe debate abierto es la responsabilidad legal en caso de accidente. En este sentido, desde importantes empresas como Zúrich se destaca la idea de que el vehículo, aunque conduzca de manera automática, siempre deberá estar asegurado, si bien, puede haber un cambio de actores, pasando toda o parte de la responsabilidad del conductor (modelo actual) hacia el titular del vehículo, y desde éste se podrá derivar hacia otros actores como

fabricantes, diseñadores, programadores, mantenedores, etc. Lo que sí se anticipa desde Zúrich es que pueda haber una bajada de primas (debido al hipotético descenso de siniestralidad) y de mercado (posiblemente el parque automovilístico se reduzca debido al uso compartido de los vehículos), aunque por otro lado es posible que los costes de la accidentalidad aumenten, al estar hablando de vehículos con equipamientos de alto coste (en cuanto a daños materiales) y que los accidentes sean de mayor gravedad, al deberse a fallos del sistema y encontrar al conductor “desprevenido” (lo que puede provocar también mayores lesiones).

En resumen, parece evidente que las diferentes organizaciones gubernamentales y sus comisiones son conscientes de la celeridad con la que los nuevos dispositivos tecnológicos se están desarrollando. La conducción autónoma es una cuestión de plena actualidad, y regular su actividad es una necesidad cada vez más acuciante.

Los distintos organismos que se nutren directamente de las actividades automovilísticas, como es el caso de las autoescuelas, tendrán tiempo y espacio para preparar un plan de acción estratégico que aborde las nuevas situaciones y cambios que los sistemas de tráfico van a sufrir en los próximos años. No obstante, estar preparado ante una realidad, aunque lejana, anunciada, es una obligación del sector.

De algún modo, y como ha ocurrido en otras tantas ocasiones, frente al extraordinario avance de un nuevo fenómeno que puede revolucionar uno de los elementos más importantes del funcionamiento de la civilización, como es el transporte, los gobiernos hacen de dique, filtrando y enlenteciendo los agigantados pasos del progreso tecnológico, con el fin de tener en cuenta todo el conjunto de problemas a los que puede afectar a un nuevo desarrollo tecnológico, garantizar la seguridad y de acomodar a los diversos y heterogéneos sectores de la sociedad a una nueva situación de manera paulatina, evitando así que un grueso de la población pueda quedar apartado del nuevo sistema, ya sea por edad, disfuncionalidad o por economía.

3.3 Regulación del coche autónomo en Japón

Por último, y desde Asia, Japón también ha hecho grandes avances en la conducción autónoma. Los fabricantes japoneses más importantes vienen desarrollando enormes esfuerzos en el último lustro para desarrollar estas tecnologías y poder liderar el mercado en el futuro.

Cierto es, no obstante, que los japoneses han intentado ser lo más herméticos posibles, en cuanto a la difusión de la información relativa a los avances tecnológicos de los muchos logros que han conseguido en este campo. Por ello, resulta difícil encontrar información al respecto, aunque parece que en los próximos Juegos Olímpicos que se celebrarán en este país en el año 2020, la firma Toyota quiere tener preparado el “primer coche autónomo” para exhibirlo en circulación en la ciudad de Tokio. La firma ha hecho público que su actual reto es poder instalar sensores Lidar en sus vehículos, que como ya se ha comentado en este informe, son una pieza esencial para el funcionamiento de esta tecnología, aunque siguen siendo muy costosos y voluminosos, por lo que añadirlos al diseño de una forma discreta es todo un desafío. Por otro lado, el gobierno japonés está desarrollando una tarea ingente para llegar a mapear todo el país y así tener una base fiable para la circulación de los vehículos autónomos.

Un punto relevante es que Toyota evitar llamarles “autónomos” a los denominados coches con autónomos, ya que esto podría llegar confundir a los conductores al infundir una falsa confianza. Por ello, y contrariamente al resto de los fabricantes, han decidido llamarlo “coche automatizado”, ya que no se busca sacar a los humanos de la ecuación, sino que se sumen a la experiencia de conducción, trayendo un nuevo factor de seguridad, además de que su uso está centrado principalmente en personas que no pueden o no saben conducir, como puedan ser sujetos con alguna discapacidad importante o ancianos de edad avanzada.

En cuanto a los aspectos regulatorios de la conducción autónoma, el gobierno japonés ha abierto un plazo entre septiembre de 2017 y marzo de 2019 en varias autopistas del centro de Tokio y también en las que conectan la capital con la región central del país, para que sea posible realizar las pruebas de circulación necesarias con

este tipo de vehículos, con el fin de que se pueda chequear la tecnología existente, especialmente en relación con la seguridad. En total, se trata de un trazado de unos 300 kilómetros puestos a disposición de los ensayos. Además, el gobierno está preparando un marco legal para regular los vehículos “autopilotados” fuera de los circuitos de prueba. Esta normativa permitirá a los fabricantes testar en las carreteras más convencionales este tipo de vehículos.

4. La adaptación de las ciudades al coche autónomo

Es lógico pensar que para el buen funcionamiento de una red de automóviles automatizados, hagan falta una serie de características y transformaciones en el entorno para que se adapten a la nueva metodología vial. Como se comentará en puntos posteriores se verá, los vehículos autónomos tendrán sistemas de interconexión ya sea a otros vehículos, o a dispositivos añadidos a la red viaria. Esto garantizará la fluidez del tráfico y permitirá en determinados casos la desconexión del conductor de todas sus capacidades de control sobre el vehículo.

En este probable contexto de futuro, será necesario adaptar no sólo las vías o la distinta simbología que pueda afectar a las normas de circulación, sino que también todos los núcleos urbanos deberán crear métodos, sistemas y tecnologías, que permitan la circulación segura de este tipo de vehículos por sus vías.

En relación con este fenómeno, y adelantándose a las posibles necesidades que puedan surgir con la inclusión de los vehículos autónomos a las vías, surgen las *Smart City*. **Las ciudades desarrollarán sistemas o dispositivos tecnológicos, con el fin de contribuir, no sólo al progreso y evolución tecnológica de sus infraestructuras, sino también a la comodidad de sus habitantes, y por supuesto, a la adaptación de las vías a la llegada de los distintos tipos de vehículo que previsiblemente circularán en el tráfico. A estas ciudades se las distingue del resto con la etiqueta de *Smart City* (Nam y Pardo, 2011).**

Para poder llevar a cabo toda esta compleja modificación del entorno será

necesario el uso de complejas **Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs)**. Éstas tecnologías son “*aquellas que nos permiten acceder, producir, guardar, presentar y transferir información*” (Romaní, 2009). Estas *TICs* tienen como papel fundamental el realizar actividades de planificación y control, colaborando en la resolución de problemas cotidianos relacionados con la vida urbana a nivel ambiental, social y económico, logrando así un sistema más eficaz, interactivo y consciente de sus necesidades. Dispositivos de diversa índole recogen datos que son enviados a unos sistemas de control centralizado, a su vez, estos son procesados, analizados y almacenados, permitiendo a las diferentes autoridades realizar intervenciones en las áreas necesarias de la manera más inmediata posible.

Así pues, podemos entender las *Smart City* como el sistema que, mediante la utilización de las *TICs*, procura detectar, analizar e integrar toda aquella información que pueda ser clave para los distintos sistemas que rigen el perfecto funcionamiento de la ciudad. Al ser consideradas como ciudades inteligentes, poseen la capacidad de ejecutar respuestas inteligentes, es decir, son capaces de ofrecer distintas alternativas a las diversas problemáticas que puedan surgir, en función de la necesidad requerida, garantizando así la resolución de las mismas.

En cuanto a su estructura, es importante indicar que está compuesta por tres sistemas o capas (Su, Li y Fu, 2011): la capa de **percepción**, la capa de **red** y la capa de **aplicación**, que son las que dotan de “inteligencia” a la ciudad. En un primer lugar, la **capa de percepción** se encarga de procesar y analizar una gran cantidad de datos y de información mediante un reconocimiento difuso, a través de la nube u otro tipo de tecnologías consideradas como inteligentes. En segundo lugar, la **capa de red** se ocupa de transmitir y procesar de forma exacta, toda aquella información que de la primera capa se ha recogido. Y, por último, la **capa de aplicación** es la que realiza las funciones de reconocimiento de objetos mediante un sistema de identificación por radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification, RFID*), *GPS*, o códigos de barras, entre otros. Los sistemas *RFID* son capaces de reconocer objetos que están situados a una cierta distancia. Esto es posible gracias al uso de un tag *RFID*, también conocido como una etiqueta, que el lector es capaz de reconocer.

Por todo lo dicho, es importante que el sector de la formación vial sea conocedor de que las *Smart City* asentarán los pilares del sistema vial del futuro, para lo que será necesario la construcción de infraestructuras, así como de plataformas públicas y de los sistemas de aplicación que se requerirán, aunque según afirman Kehua Su, Jie Li, Hongbo Fu (2011), actualmente existen grandes dificultades para su construcción.

También es importante destacar que el modelo de las *Smart City* fomenta la participación de los sectores público y privado, siendo evidentes e incuestionables las bondades que podría reportar al beneficio general en la *Tabla 1*.

Sector público	Sector privado
<ul style="list-style-type: none"> • Agilidad en la gestión de los servicios públicos. • Fomentar el sistema de redes. • El acceso al conocimiento. • Cesión gratuita de la tierra. • Tiene en cuenta las necesidades de los ciudadanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de infraestructuras de vanguardia • Mayor densidad de creación de redes. • Mayor densidad de colaboración de redes.

Tabla 1: Beneficios del modelo Smart City en los sectores públicos y privados

Los datos teóricos parecen indicar que la creación de estos espacios tecnológicos contribuirá positivamente en la innovación de las infraestructuras, el crecimiento y **mejorarán la calidad de vida** de todos los ciudadanos.

No obstante, como se ha indicado existen algunos obstáculos y dificultades importantes con las que el sistema se va a encontrar, ya que son muchos los factores a tener en cuenta. Por ejemplo, el tamaño de la ciudad, uno de los más importantes, parece influir notablemente en la implantación y funcionamiento de los nuevos sistemas. Según el volumen 38 del informe *Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts* (2014), el hecho de que una ciudad sea grande favorece que las *Smart Cities* puedan desarrollarse de manera adecuada ya que, como bien afirma

Elvery (2010): *“Las grandes ciudades atraen un gran capital humano”*. Según Gleaser y Gottlieb (2006): *“las ciudades con alta densidad de población y grandes facilitan el flujo de ideas y conocimiento”*.

En los grandes núcleos es posible encontrarse ante infraestructuras con mejores y mayores recursos, un mayor número de usuarios de las TICs, lugares de divulgación de conocimiento, una mejor comunicación de ideas entre personas que facilitarán la interacción social y la participación vecinal, como afirman Glaeser y Gottlieb (2006).

No obstante, se están llevando a cabo pruebas en ciudades pequeñas, como las que se está realizando en la ciudad de *Villanueva de la Serena*, situada en Badajoz (Extremadura), las cuales comenzaron en el 2014, ofreciendo este año las conclusiones alcanzadas, según informa la nota de prensa *A paso lento hacia la ciudad inteligente del diario HOY*, publicada a principios de este año por Álvaro Rubio. Las autopistas, tampoco se quieren quedar fuera de este proceso, y ya trabajan en la infraestructura vial en la que deberán convivir vehículos autónomos y convencionales. Por ello, el grupo Abertis participa en el proyecto europeo Inframix (*Road Infrastructure Ready for Mixed Vehicle Traffic Flows*). Se trata de una iniciativa en la que participan 11 empresas e instituciones europeas, líderes en el sector automovilístico y vial, que trabajarán para compartir y analizar actividades y expectativas relativas a la preparación de las autopistas para la coexistencia de tráfico mixto.

Generalmente, este tipo de ciudades inteligentes se ha de ir construyendo en cuatro pasos, basándonos en la clasificación que se realiza en *A Smart City Initiative: The Case of Barcelona*, se realiza. En primer lugar, será necesario instalar aquellos dispositivos, sensores y medidores que puedan proporcionar los datos que requerimos, desplegando así lo que sería *la infraestructura tecnológica*. A continuación se debe establecer un centro de análisis donde se computen los datos recogidos, haciendo la función de un cerebro que visualiza, procesa y comparte información de manera simultánea entre todos los servicios de la ciudad. Posteriormente, mediante la utilización de algoritmos de actuación, se creará lo que se conoce como una

inteligencia reactiva. Posteriormente se ha intentando alcanzar en el último paso una *inteligencia predictiva* que pronostique con la mayor exactitud posible los sucesos o problemáticas que puedan surgir, anticiparse a ellos y obtener de este modo un funcionamiento mucho más seguro y fiable.

A su vez, se pueden distinguir tres dimensiones dentro de este tipo de ciudades, según la visión de Nam, Pardo y Theresa (2011):

- **Dimensión tecnológica**

Engloba el conjunto de tecnologías que posibilitan la conectividad total de los dispositivos que permiten el funcionamiento del sistema. El objetivo de esta dimensión es el de elaborar un ambiente en el que se pueda compartir información, experiencias y se colabore en tiempo real, reduciendo así al mínimo posible las diversas problemáticas que puedan surgir. Se entiende que todas aquellas ciudades no consideradas “*ciudades inteligentes*”, son etiquetadas como “*digitales*”. En un espacio con características intermedias se ubicarían las “*ciudades híbridas*”, que serían aquellas con componentes físicos asistidos por un sistema de soporte virtual.

- **Dimensión humana**

En este apartado se incluye la perspectiva del individuo como pieza fundamental para la evolución de este tipo de ciudades. Para ello, se debe mantener el conocimiento, la educación y el aprendizaje continuo de las personas, ya que toda ciudad considerada inteligente es un centro de educación superior constante.

- **Dimensión institucional**

Un sistema tan perfectamente sincronizado y cuya capacidad de procesamiento y predicción puede beneficiar tantos ámbitos de la vida cotidiana, puede ser perfectamente aprovechado por los órganos burocráticos de la ciudad. Aligerar la carga documental de los interminables

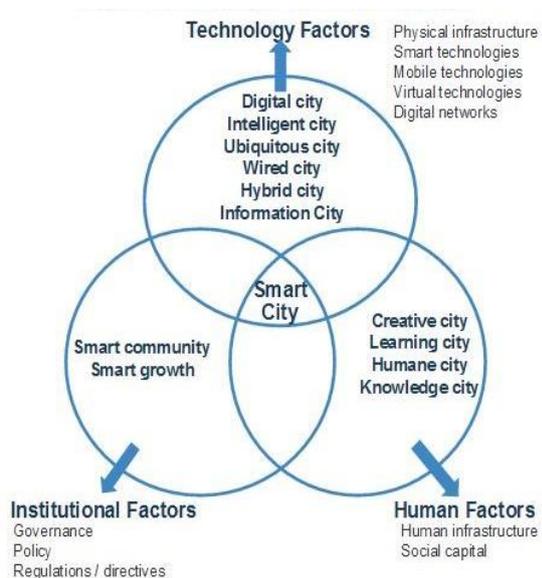


Imagen 5: Componentes fundamentales de la Smart City

procesos que se analizan día a día en todas las instituciones gubernamentales traería como consecuencia grandes beneficios en el crecimiento y evolución de la ciudad.

La suma de estas tres dimensiones acaba por formar lo que sin duda serán las ciudades de un futuro no tan lejano.

4.1 Red Española de Ciudades Inteligentes

La *Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI)* es una asociación formada por distintas localidades que, mediante el apoyo de las *TIC*, se han comprometido a la creación y mantenimiento de una red de gestión automática y eficiente de infraestructuras y servicios urbanos. Esta sociedad, formada en 2011 con la firma del “*Manifiesto de Ciudades Inteligentes, Innovación para el progreso*”, tiene como objetivo fomentar el progreso empresarial, social y económico de las ciudades, optimizando así la calidad de vida de sus habitantes. En estos momentos, basándonos en los datos de la página web de la *RECI* y descartando otras como la nota de prensa del diario de economía digital *Expansión* o el artículo *Ranking de Smart Cities IDC 2012*, por estar desactualizadas, la *RECI* cuenta con la participación de 79 ciudades, a fecha del 13 de septiembre de 2016, las cuales se encargan de explorar y explotar su lado *Smart*. Entre otras, podemos encontrar ciudades como Madrid, Barcelona o Santander, urbes que están posicionándose también como referentes mundiales sobre este tema. El fomento de los sistemas *Smart* de las ciudades por parte de la *RECI* está basado en cinco líneas de actuación estratégicas que cada vez cobran más importancia y que serán nombradas a continuación, tomando como referencia la misma información que la organización expone en su página web.

Innovación social: en la que se fomenta la **participación ciudadana**, el turismo, el ocio y la cultura.

Energía: Donde el foco de atención se centra en la divulgación de los distintos beneficios derivados del **uso de energías renovables**.

Medio ambiente: Que incluye acciones pertinentes en la **gestión de edificios públicos** y control de la calidad ambiental.

Movilidad urbana: Organización de los **sistemas inteligentes de transporte.**

4.2 Algunos ejemplo de Smart City

A nivel europeo podemos encontrar que en Padova, una ciudad al norte de Italia, se está realizando un estudio experimental llamado *Internet of Things for Smart Cities* (IoT) (2014), un reciente paradigma de comunicación que visualiza un futuro cercano en el que los objetos y actividades diarias estarán interconectados vía internet. De esta manera, elementos como por ejemplo electrodomésticos, cámaras de vigilancia, dispositivos móviles y, por supuesto, los vehículos, estarán interconectados. Este paradigma potenciaría el desarrollo de numerosas aplicaciones que se hacen servir de la cantidad de datos, dotando de nuevos servicios a los ciudadanos, empresas y administraciones públicas.

En este complejo escenario, la aplicación del paradigma de IoT a un contexto urbano resulta de particular interés, dado que responde a un interés creciente de los gobiernos por adoptar soluciones tecnológicas en las llamadas *Smart Cities*. Para estudiar esta potencialidad del uso de IoT en las ciudades, se colocaron sensores de diversos tipos conectados a internet de manera permanente, en elementos de la vía pública como postes de alumbrado público, esculturas, semáforos, etc. Posteriormente, los datos recogidos eran almacenados en la aplicación de destino. Según argumentan Andrea Zanella, Nicola Bui y Angelo Castellani (2014), la estandarización de estas tecnologías no parece muy lejana, a la vez que también lo está la fabricación de este tipo de dispositivos.

Mediante la conexión de las infraestructuras de comunicación y de la integración de diferentes tecnologías, se consigue que muchos datos urbanos relacionados con la movilidad se almacenen gracias al IoT y sean accesibles tanto para los ciudadanos como para las autoridades, con el fin de conseguir una mayor participación por parte de los primeros en los asuntos públicos, fomentar la concienciación, así como incrementar la capacidad de respuesta de las autoridades frente a los problemas urbanos relacionadas con la movilidad.

También en la península, algunas ciudades consideradas de referencia en este sector, han realizado pruebas para desarrollar las ciudades inteligentes. Como se ha indicado, está el caso de Santander, ciudad española que cuenta con mayores avances en esta área y es la única que tiene el apoyo económico de la Comisión Europea, de empresas relacionadas con la tecnología y cuenta con el apoyo del Gobierno y la universidad de Cantabria. Diversas iniciativas en Santander, tratan de lograr que todos los servicios que se ofrecen en la ciudad se integren progresivamente, trabajando los aspectos tecnológicos que componen una *Smart City*, según la clasificación que se hace en la página oficial de la RECI y en el informe *An Information Framework for Creating a Smart City Through Internet of Things* (2014).

5. La conectividad del futuro

La conectividad será un punto fundamental en el futuro funcionamiento del coche autónomo. Los vehículos conectados con las redes existentes, con el entorno, con determinados servicios o con elementos internos del propio vehículo, ofrecerán unas prestaciones, unas posibilidades y una seguridad que hace poco tiempo eran impensables. La conectividad se desarrollará en muchas dimensiones, de las que destacan especialmente las siguientes:

- **Vehículo-Conductor**, con el fin de dar al operador humano determinadas informaciones que le puedan ayudar a ser consciente de que, por ejemplo, se están produciendo problemas de atención o de deterioro de algunas capacidades psicofísicas necesarias para conducir.
- **Vía-Vehículo**, que aportará datos en tiempo real de la situación de muchas dimensiones o circunstancias de la vía, que pueden ser de utilidad tanto para la movilidad como, especialmente, para la seguridad.
- **Vehículo-Vehículo**, facilitando informaciones relativas a los demás vehículos que se encuentran en el entorno, especialmente con la finalidad de mejorar la seguridad en el complejo espacio vial compartido.
- **Vehículo-Entorno**, que permitirá estar conectado a cualquier elemento del entorno, ya sea fijo o móvil (como las personas viandantes) e incluso con elementos o servicios que puedan estar lejanos del lugar por el que se circula.

Como ya se ha comentado a lo largo del análisis del coche autónomo y lo descrito anteriormente, la conectividad entre usuarios de la vía será un punto clave para el mayor y mejor funcionamiento del tráfico y la seguridad que se quiere conseguir en el futuro. Pero esta conectividad, más allá de los dispositivos emisores y receptores de señales, dependerá especialmente del tipo de red que se vaya a utilizar. En la actualidad, la mayoría de nuestros sistemas funcionan con redes 4G, que se refieren a la cuarta generación de tecnologías de conectividad móvil.

La *Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)* creó un comité que definió los requisitos necesarios para que un determinado estándar sea considerado dentro de una u otra generación de conectividad móvil. No siendo especialmente relevante para el análisis del

impacto que causará en los distintos ámbitos de nuestra sociedad la llegada de los automóviles autónomos, pasaremos por alto la explicación de los complejos conceptos que componen las tecnologías de las comunicaciones, para centrarnos específicamente en las redes 5G. Aunque son evidentes las ventajas que nos han ofrecido las redes 4G frente a las 3G (mayor velocidad de conexión y descarga, estabilidad de señal, etc.) todo apunta a que, para la óptima comunicación de un gran caudal de vehículos a gran velocidad, es insuficiente. Es precisamente por ello que surge la necesidad de recurrir a sistemas de conexión todavía más veloces y seguros.

Este nuevo tipo de red se dio a conocer en la *Mobile World Congress (MWC)* del 2015 que se celebró en Barcelona. Este congreso es organizado por la *Global System for Mobile Communications Association (GSMA)*, nombre que proviene del francés *Groupe Speciale Mobile (GSM)*, es la reunión internacional de mayor relevancia en el sector de la telefonía móvil. Durante la convención, el gigante tecnológico *Samsung* mostró al público asistente los prometedores resultados de las distintas pruebas que ha venido realizando desde octubre de 2014. Al mismo tiempo, se explicaron los ensayos realizados con las aplicaciones ***see through***, cuyo objetivo es avisar al resto de vehículos de los obstáculos que puedan aparecer en la vía, y el ***emergency vehicle***, que se encarga de alertar al conductor de la presencia de vehículos de emergencia en los alrededores. Los fabricantes, parecen ser muy optimistas con respecto al tiempo de lanzamiento los primeros sistemas que puedan utilizar o requieran este tipo de redes. Su implantación y expansión está en principio prevista para el 2020.

Una de las ventajas que ofrece la tecnología 5G es que **los datos se transfieren de manera mucho más rápida y estable** que con las actuales redes 4G, llegando a alcanzar velocidades máximas de descarga de hasta 20Gbps, algo que está muy por encima de los estándares actuales. No obstante, más importante que el caudal de datos capaz de enviar y recibir las distintas tecnologías que incluirán nuestros vehículos autónomos, será la **latencia**. Es necesario tener en cuenta que por eficacia y seguridad la conectividad no se deberá dar en espacios de tiempo poco ajustados a la realidad de la conducción.

En última instancia, debemos esperar decenas de vehículos circulando a velocidades superiores a los 100 km/h, con trayectorias muy dispares entre sí, conectándose entre ellos y alertando de las particularidades del entorno a los sistemas del resto de usuarios de la vía, así como de todos los dispositivos de conexión con los que cuente tanto la vía, como el entorno, de manera simultánea y casi instantánea (siempre que se encuentren en el rango de acción de

estos sistemas).

Es por ello que se espera de las redes 5G una **latencia** mucho menor que la que nos ofrece en la actualidad las redes 4G. En las pruebas actuales, el retraso máximo esperado a la hora de transmitir datos sería de 100 milisegundos. Esto significa, que en 100 milisegundos el vehículo ha debido enviar y recibir del sistema todas las solicitudes y alertas pertinentes para cada situación. Para que todo este volumen de datos pueda ser gestionado, este nuevo tipo de red tiene como característica particular la parcialidad de selección de conexiones. Al contrario que sus predecesoras, las conexiones 5G priorizarán una u otras conexiones en función de la importancia, asiduidad o preferencia de éstas. Ello repercutirá muy positivamente en la fluidez con la que los usuarios de esta red podrán hacer uso de ella.

Centrándonos en el caso de España, no podemos sino lamentar el hecho de que nuestros sistemas de conexión llevan cierto retraso en la implantación e interiorización por parte de la sociedad, en relación con los últimos avances de la tecnología móvil. Seguimos expandiendo las redes 4G desde el año 2013. Esto puede ser debido a la descentralización del grueso de la población, ubicándose un menor porcentaje del total de habitantes del país en núcleos urbanos de gran densidad de población, algo que no ocurre en otros países europeos donde las redes 4G están más que distribuidas y asentadas. El complicado reparto de recursos a todas las pequeñas poblaciones que conforman el estado, ralentiza la normalización y el uso habitual de los mismos. Es previsible que la tecnología más puntera sufra ciertos retrasos de aparición en España, con respecto a algunos de los Estados miembros de la Unión Europea, u otros estados altamente involucrados en el desarrollo y evolución de sus infraestructuras, como en el caso de Estados Unidos, Canadá, etc.

Como ya se ha visto en el análisis del coche autónomo y lo descrito anteriormente, la conectividad entre usuarios de la vía será un punto clave para el buen funcionamiento del tráfico rodado previsto para el futuro. Esta conectividad, más allá de los dispositivos emisores y receptores de señales, dependerá especialmente del tipo de red que se vaya a utilizar. En la actualidad, la mayoría de nuestros sistemas funcionan con redes 4G, que se refieren a la cuarta generación de tecnologías de conectividad móvil.

La *Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)* creó un comité que definió los requisitos necesarios para que un determinado estándar sea considerado dentro de

una u otra generación de conectividad móvil. No siendo especialmente relevante para el análisis del impacto que causará en los distintos ámbitos de nuestra sociedad la llegada de los automóviles autónomos, pasaremos por alto la explicación de los complejos conceptos que componen las tecnologías de las comunicaciones, para centrarnos específicamente en las redes 5G. Aunque son evidentes las ventajas que nos han ofrecido las redes 4G frente a las 3G (mayor velocidad de conexión y descarga, estabilidad de señal, etc.) todo apunta a que, para la óptima comunicación de un gran caudal de vehículos a gran velocidad, es insuficiente. Es precisamente por ello que surge la necesidad de recurrir a sistemas de conexión todavía más veloces y seguros.

Este nuevo tipo de red se dio a conocer en la *Mobile World Congress (MWC)* del 2015 que se celebró en Barcelona. Este congreso es organizado por la *Global System for Mobile Communications Association (GSMA)*, nombre que proviene del francés *Groupe Speciale Mobile (GSM)*, es la reunión internacional de mayor relevancia en el sector de la telefonía móvil. Durante la convención, el gigante tecnológico *Samsung* mostró al público asistente los prometedores resultados de las distintas pruebas que ha venido realizando desde octubre de 2014. Al mismo tiempo, se explicaron los ensayos realizados con las aplicaciones ***see thought***, cuyo objetivo es avisar al resto de vehículos de los obstáculos que puedan aparecer en la vía, y el ***emergency vehicle***, que se encarga de alertar al conductor de la presencia de vehículos de emergencia en los alrededores. Los fabricantes, parecen ser muy optimistas con respecto al tiempo de lanzamiento los primeros sistemas que puedan utilizar o requieran este tipo de redes. Su implantación y expansión está en principio prevista para el 2020.

Una de las ventajas que ofrece la tecnología 5G es que **los datos se transfieren de manera mucho más rápida y estable** que con las actuales redes 4G, llegando a alcanzar velocidades máximas de descarga de hasta 20Gbps, algo que está muy por encima de los estándares actuales. No obstante, más importante que el caudal de datos capaz de enviar y recibir las distintas tecnologías que incluirán nuestros vehículos autónomos, será la **latencia**. Es necesario tener en cuenta que por eficacia y seguridad la conectividad no se deberá dar en espacios de tiempo poco ajustados a la realidad de la conducción.

En última instancia, debemos esperar decenas de vehículos circulando a velocidades superiores a los 100 km/h, con trayectorias muy dispares entre sí, conectándose entre ellos y alertando de las particularidades del entorno a los sistemas del resto de usuarios de la vía, así como de todos los dispositivos de conexión con los que cuente tanto la vía, como el entorno, de manera simultánea y casi instantánea (siempre que se encuentren en el rango de acción de estos sistemas).

Es por ello que se espera de las redes 5G una **latencia** mucho menor que la que nos ofrece en la actualidad las redes 4G. En las pruebas actuales, el retraso máximo esperado a la hora de transmitir datos sería de 100 milisegundos. Esto significa, que en 100 milisegundos el vehículo ha debido enviar y recibir del sistema todas las solicitudes y alertas pertinentes para cada situación. Para que todo este volumen de datos pueda ser gestionado, este nuevo tipo de red tiene como característica particular la parcialidad de selección de conexiones. Al contrario que sus predecesoras, las conexiones 5G priorizarán una u otras conexiones en función de la importancia, asiduidad o preferencia de éstas. Ello repercutirá muy positivamente en la fluidez con la que los usuarios de esta red podrán hacer uso de ella.

Centrándonos en el caso de España, no podemos sino lamentar el hecho de que nuestros sistemas de conexión llevan cierto retraso en la implantación e interiorización por parte de la sociedad, en relación con los últimos avances de la tecnología móvil. Seguimos expandiendo las redes 4G desde el año 2013. Esto puede ser debido a la descentralización del grueso de la población, ubicándose un menor porcentaje del total de habitantes del país en núcleos urbanos de gran densidad de población, algo que no ocurre en otros países europeos donde las redes 4G están más que distribuidas y asentadas. El complicado reparto de recursos a todas las pequeñas poblaciones que conforman el estado, ralentiza la normalización y el uso habitual de los mismos. Es previsible que la tecnología más puntera sufra ciertos retrasos de aparición en España, con respecto a algunos de los Estados miembros de la Unión Europea, u otros estados altamente involucrados en el desarrollo y evolución de sus infraestructuras, como en el caso de Estados Unidos, Canadá, etc.

6. Licencias y permisos requeridos.

Una de las cuestiones más importantes a tratar dentro del contexto del vehículo autónomo en lo relativo al futuro de los permisos de conducción, especialmente al hecho de si será necesario, o no, estar en posesión de uno, cuando en última instancia será el coche realmente el que tenga el control de todas las tareas que la conducción implica durante el tiempo de viaje. Sin embargo, y como ya hemos visto, ese tipo de vehículos no se esperan hasta que todas las infraestructuras que interactúan con los distintos sistemas de transporte, estén adaptadas y capacitadas para su llegada. Aunque muchas marcas de fabricantes de vehículos dan fechas sobre cuándo estarán en pleno funcionamiento los vehículos autónomos, estas fechas varían mucho de unas empresas a otras, no se justifican con datos y no se precisan periodos concretos. Este tipo de pronósticos más parecen sacados de los departamentos de *marketing*, que de los verdaderos ideólogos, promotores y técnicos que están llevando a cabo los esfuerzos necesarios para la llegada de la tecnología autónoma.

Ni qué decir tiene, que los organismos que se puedan ver afectados por esta reestructuración general del mundo del transporte y la seguridad vial se deberán ir adaptando al mismo ritmo que marca el progreso. Como ya hemos analizado en el anterior apartado de *Legislación*, son las mismas organizaciones gubernamentales internacionales las que van legislando paulatinamente en función de la evolución y el impacto que los nuevos dispositivos y tecnologías van teniendo en nuestra sociedad. Desde este punto de vista, se puede entender que, de igual modo, la adaptación legislativa de estos organismos directamente vinculados a los sistemas de transporte, será también paulatina.

Centrando la atención en los niveles de automatismo establecidos por la SAE, ya desarrollados con anterioridad, se pueden acotar las distintas necesidades, habilidades, limitaciones o conocimientos requeridos por el conductor, para realizar el complejo ejercicio de la conducción, marcando unos mínimos de aprendizaje necesarios para el ejercicio de cada nivel con una seguridad óptima.

Si bien es posible que, a medida que el nivel de autonomía del vehículo aumente, el requisito de habilidades motoras que el conductor debe poseer para conducir se reduzca. Puede, a su vez que los conocimientos mecánicos e informáticos necesarios para regirlo deban ser mucho más amplios que en niveles menores. En este sentido, la creación de permisos adaptados a las necesidades de cada vehículo es una de las posibilidades que se barajan.

En España, el permiso de conducción que capacita únicamente al individuo para la conducción de vehículos con cambio de marchas automáticos (código 78) , podría ser la antesala de lo que se puede esperar con la automatización de los vehículos. Basándonos en la clasificación de la *SAE*, una manera de implantar paulatinamente los conocimientos necesarios para el manejo de este tipo vehículos en la ciudadanía, podría ser habilitar permisos de conducción que capaciten para la utilización de vehículos hasta cierto nivel de automatismo. Así, se podría tener el permiso de conducción que capacite para la utilización de vehículos con un nivel de autonomía de hasta nivel cuatro, pero no, en su caso, de nivel cinco.

En todo caso, no hay que olvidar que, en la actualidad, la legislación acota la circulación de este tipo de vehículos únicamente si hay presencia de un conductor que pueda tomar el control del mismo en cualquier momento, como se explicita en la legislación de la mayoría de países impulsores de estas innovaciones tecnológicas. De acuerdo con este principio para “conducir” vehículos autónomos, salvo en casos muy excepcionales, se requerirá estar capacitado siguiendo los protocolos generales que marca la normativa de cada país, para la conducción de vehículos no autónomos, aunque se introduzcan algunos cambios respecto de la situación actual de los permisos de conducir. En ninguna parte de la extensa documentación revisada se habla de la desaparición de los permisos de conducir. No obstante esto es un tema al que habrá que estar muy atentos, ya que no necesariamente los que desarrollan las tecnologías autónomas tienen que conocer o pensar en relación con la habilitación del operador humano que hipotéticamente tenga el “control” último de la máquina.

7. Retos y dilemas morales

Tras todo lo expuesto se podría pensar que el futuro de la conducción autónoma está muy cercana, y que por ello, la preocupación debería dispararse en el sector de la formación vial. Pero antes de llegar a esta conclusión precipitada, es necesaria una importante reflexión. En mayo del año pasado, un Tesla S que circulaba por una autopista de Florida, sufrió un accidente mortal al chocarse con el remolque de un tractor que cruzaba ante él. El accidente costó la vida a su conductor y después de un año de investigación, se ha concluido que el sistema encargado de conducir automáticamente el turismo falló al no distinguir el remolque blanco del cielo nuboso en el horizonte. Ni el conductor (que dispuso de 7 segundos para reaccionar) ni el sistema automático activaron el freno. El informe concluye que la responsabilidad fue compartida, entre otras cosas porque el conductor no debió seleccionar el modo automático en ese tipo de carretera.

Este ejemplo sirve para poner de manifiesto, entre otras cosas, que hasta que ciudades, carreteras, vehículos, etc. estén dotados de la amplia tecnología que es necesaria para la conducción completamente autónoma, el conductor no estará exento de responsabilidad, y serán quizás muchas más (y más complejas) las áreas en las que deberá estar formado y entrenado. De hecho, sirva también de ejemplo el campo de la aviación, donde los pilotos comerciales, aun teniendo que desempeñar una tarea donde casi todo está automatizado, reciben formación inicial y de perfeccionamiento de gran calidad e intensidad.

En un mundo automatizado ideal, se prevé que la conducción autónoma teóricamente reducirá de manera drástica el número de siniestros y salvará miles de vidas, pero no podemos dejarnos llevar por el optimismo tecnológico, porque existen todavía muchos retos técnicos, legales, sociales y personales por solucionar.

Actualmente se registran fallos graves, de los que no se habla mucho, en situaciones como, por ejemplo, en conducción nocturna, con lluvia, nieve o niebla. Los sistemas autónomos existentes necesitan un considerable tiempo de análisis y

reacción ante algunas de las miles de situaciones de tráfico. También hay problemas para reconocer señales y marcas viales si no están en perfecto estado. Existen limitaciones graves en reconocimiento de peatones, ciclistas o la señal de alto de un policía que no está en la calzada. Igualmente si se ensucia una cámara, el coche puede tener serios problemas de seguridad. Se ha demostrado que solo con un puntero láser o un reflejo de luz en una marca vial se puede “engañar” fácilmente a los coches autónomos.

Por otra parte y como hemos visto a lo largo del informe, los vehículos autónomos tienen que llevar videocámaras especiales, desarrollados sensores radar, sensores en 3D, nuevas tecnologías laser, sensores ultrasónicos, requieren mapas cartográficos milimétricos, conexión perfecta en tiempo real con los satélites, etc. Por ello, muchos investigadores piensan que estas tecnologías, que son muy complejas, caras, vulnerables y que requieren un alto nivel de mantenimiento y calibración, tienen serios problemas a corto y medio plazo para que su implantación sea viable y rentable, aunque sean técnicamente posibles.

Además se tendrá que garantizar la seguridad tanto a nivel de hardware, en el que los chips estén protegidos por varias capas, y a nivel de software, haciendo uso de firewalls y sistemas operativos que otorguen seguridad y se actualicen de manera automática e inalámbrica, por lo que será necesario el funcionamiento de la red 5G. Por otro lado, en cuanto a la seguridad del conductor, éste ha de ser concienciado en la seguridad de su información, ya que puede haber fallos a nivel del sistema o problemas graves por la intrusión en el sistema de un hacker.

Otra cuestión que se puede plantear es la siguiente: ¿por qué zonas podrá circular con la función de conducción autónoma? Como se ha ido argumentando a lo largo del informe, estos coches tienen el inconveniente de no poder circular actualmente por aquellos espacios que son aleatorios, debido a la posible aparición repentina de personas; además se necesitan realizar cambios en el diseño de las ciudades, las cuales todavía no están preparadas para la llegada de este tipo de vehículo.

Actualmente vivimos en un mundo en el que podemos encontrar muchas personas que hackean distintos tipos de dispositivos o servidores de internet, por lo que, es difícil asegurar que nadie hackee nuestro coche. Para intentar evitar este grave problema, los fabricantes buscan medidas para blindar los sistemas informáticos del vehículo que anulen la posibilidad de estos intentos de hackeo, lo que sin duda en la actualidad es casi imposible de asegurar.

En el caso de que se diera una situación de este tipo, el conductor debería estar preparado y formado para saber cómo actuar al respecto para evitar posibles accidentes y mantener a salvo la vida tanto de los ocupantes del interior del vehículo como la de los viandantes u otros vehículos que circulan por el entorno.

Más allá de esta dimensión tecnológica, hay otra no menos importante, sobre la que lamentablemente no se están generando muchas reflexiones, siendo que es parte inseparable del éxito y la viabilidad del vehículo autónomo: la dimensión relacionada con los aspectos sociales y el factor humano. Sin solucionar este tema no se podrá introducir la conducción autónoma, porque es una dimensión inseparable de ella. Muchos de estas cuestiones se han ido planteando a lo largo del informe, pero a modo de resumen éstas serían: ¿Será necesario permiso de conducir para manejar estos vehículos? ¿Qué tipo de permiso? ¿Dónde habrá que formarse y obtener el permiso? ¿Qué tipo de seguro tendrán estos vehículos? ¿En caso de fallo, de quien será la responsabilidad si se produce un accidente? ¿Qué tipo de ITV habrá que hacer a los coches autónomos? ¿Cómo se va a controlar el fuerte mantenimiento que requieren estas complejas tecnologías?, etc. Además, y no menos importante, hay que tener en cuenta que el coche es más que un sistema de transporte. Es una expresión de la libertad de movilidad del ser humano, al que en muchos casos le gusta ser el que maneje el vehículo y tener su propio estilo de conducción.

En este contexto, uno de los asuntos que más polémica y debate está creando en relación con el vehículo autónomo, es la cuestión del “dilema moral”. Con el vehículo autónomo surge un dilema importante que puede llevar a la gente a dudar acerca de comenzar a utilizar estos nuevos sistemas de conducción: en caso de colisión

inevitable, ya sea por la aparición sorpresiva de elementos no contemplados en los cálculos, o el surgimiento repentino de algún tipo de emergencia en el interior del vehículo, si se da la situación de tener que “elegir” el salvar la vida de alguien ¿debe el coche salvar la vida a los ocupantes del vehículo o priorizar la integridad física de los viandantes?

La respuesta a esto no se conoce todavía. En este contexto, en 1942, Isaac Asimov, afamado escritor de ciencia ficción, definió la que sería la primera ley de la robótica: **“un robot no hará daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño”**. En 1985 esta idea se matizaría al afirmar: **“un robot no puede causar daño a la humanidad o, por inacción, permitir que la humanidad sufra daño”**. Teniendo en cuenta el caso comentado anteriormente, e incluso teniendo en cuenta la posibilidad de que el vehículo autónomo pudiera regirse por las mencionadas normas de la inteligencia artificial, escogiera la máquina la decisión que escogiera, habría daños que escaparían de nuestro control.

8. Conclusiones y recomendaciones

Es difícil resumir todos los documentos revisados y el contenido del informe desarrollado, ya que son muchos los aspectos y dimensiones implicadas en el complejo tema de la conducción autónoma y su impacto global en la seguridad vial y la formación de los conductores. No obstante, de la documentación consultada se desprenden una serie de conclusiones y recomendaciones que están directamente o indirectamente relacionadas con el futuro de la formación vial y la actividad profesional que se desarrolla en los centros de formación vial. Entre ellas, expuestas sintéticamente, destacan las siguientes:

- La conducción autónoma, aún en sus niveles más altos, es un elemento de progreso que tal como están evolucionando los desarrollos existentes en la actualidad, **parece incuestionable que llegará a la sociedad**, como una más de sus muchas evoluciones tecnológicas.
- Los vehículos autónomos y otras nuevas tecnologías que afectan de manera importante al sistema vial, son muy complejos y están en constante evolución. Este hecho, unido a la protección de la privacidad con la que operan las empresas que desarrollan estos sistemas, **dificultan tener una representación exacta de la situación actual y los desarrollos futuros de las tecnologías de los vehículos autónomos.**
- En relación con los **tiempos de implantación**, es evidente que la conducción autónoma será progresiva hasta alcanzar el nivel 4-5. Esto es muy importante para el sector de la formación vial, ya que va a permitir disponer de un tiempo de preparación y respuesta ante la nueva situación que se avecina. En todo caso, para los niveles 4-5, teniendo en cuenta las dimensiones económicas, sociales, legales y tecnológicas implicadas, en la documentación consultada al

respecto, **no se ha encontrado ningún pronóstico riguroso del calendario temporal relativo a la implantación generalizada de esta nueva tecnología.**

- Todos los datos indican que la introducción de las futuras tecnologías en los vehículos pueden tener una **importante repercusión sobre los métodos y estrategias de formación de los conductores y por ello en la actividad profesional de las autoescuelas.** En este sentido, se recomienda prestar una atención sistemática y continuada a todo lo relacionado con el desarrollo de la conducción autónoma, en sus dimensiones legales, tecnológicas y sociales. **De ello dependerá poder anticiparse al futuro con una adecuada respuesta del sector.**
- Necesariamente, los vehículos siempre coexistirán con otros usuarios de las vías públicas (peatones, bicicletas, etc.) y por ello **la educación y la formación vial siempre tendrán que ser consideradas como ámbitos necesarios para la seguridad de la sociedad,** sin que se puedan desligar de las nuevas tecnologías con las que tendrán que convivir en un espacio compartido.
- **Respecto a los permisos de conducir,** hay una general coincidencia en que **los futuros vehículos autónomos tendrán que tener un sistema que permita la posibilidad de pasar a conducción “manual” por varias razones.** En primer lugar, en caso de que se produzca algún fallo tecnológico que impida seguir el trayecto en condiciones de seguridad, el conductor debe poder hacerse con el control del vehículo.
- Por otro lado, los especialistas internacionales en el tema coinciden en que los vehículos autónomos previsiblemente **no podrán circular en “modo automático” en determinados entornos, circunstancias o vías,** lo que traerá consigo la necesidad de intervención de un operador humano, que ha de estar capacitado y autorizado legalmente para manejar el vehículo.

- Y en tercer lugar, **también está previsto que los vehículos autónomos siempre ofrezcan la alternativa y posibilidad a los usuarios de pasar a una “conducción manual”,** para que, **si el conductor lo desea,** pueda ser él quien tenga el total control del sistema. Por los motivos mencionados, previsiblemente se hará necesaria la **formación** y la existencia de permisos de conducir.
- A esto se suma el hecho de que no parece que los gobiernos, ni las autoridades con competencias en seguridad vial, por cuestiones de prevención, responsabilidad, seguridad, etc., estén dispuestos a **eliminar lo que dice el Artículo 8 (Apartados uno y cinco) de la Convención de Viena de 1968: “(1) Todo vehículo en movimiento o combinación de vehículos deberá tener un conductor... (5) Todo conductor deberá poder controlar en todo momento su vehículo...”.** Esto es también un claro hecho predictivo a favor de la necesidad de que exista formación y permisos de conducir.
- Aunque se llegue al nivel 4-5 de vehículo autónomo, muchas opiniones coinciden en que **seguirá existiendo venta de vehículos sin ese nivel de autonomía, por cuestiones de tipo económico, de mercado, preferencias personales, etc.** Esto, unido a los vehículos convencionales existentes en circulación, hará que el sistema de formación y permiso tradicional tengan que coexistir con otro diferente, durante un periodo muy dilatado en el tiempo o incluso mantenerse de manera permanente.
- Tal como se ha indicado, aunque con cambios importantes, el sistema tradicional de formación de conductores seguirá existiendo en temas como: riesgos viales, normativas, señalización, etc. Sin embargo, en el contexto de desarrollo del coche autónomo, **aparecen dos ámbitos nuevos, con una fuerte importancia y evolución de futuro (en algunos casos ya de presente), a los que el sector de las autoescuelas ha de estar muy atento y especialmente preparado.**

- Por una parte será muy importante que los profesionales de las autoescuelas **estén perfectamente formados en todas las mejoras que pueda haber en sistemas tecnológicos más tradicionales** (como por ejemplo el control de tracción, control de estabilidad o el reparto electrónico de frenada). A esto hay que añadir la necesidad de conocer también en profundidad los nuevos Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción (ADAS), (como por ejemplo la detección de riesgo de colisión o la alerta de cambio de carril). Estas tecnologías, como antesala de la conducción autónoma, tendrán un fuerte desarrollo en los próximos años y precisamente **de ellas existe un alto desconocimiento en los conductores, que además no disponen de canales y alternativas de formación al respecto.**
- Por otro lado, la progresiva llegada del coche autónomo traerá también consigo tecnologías que son diferentes a las mencionadas anteriormente y que los conductores tendrán que conocer para garantizar su seguridad: nuevos tipos de GPS, sensores ultrasónicos, sistemas LIDAR, sistemas de comunicación entre vehículos, vehículos dentro de las Smart City, etc. **Los conductores por seguridad necesariamente tendrán que tener unos conocimientos mínimos de estas complejas tecnologías, que alguien les deberá de enseñar.**
- Las autoescuelas como sitio natural de formación de los conductores deberían de asumir la función de formación en todos los ámbitos descritos anteriormente, pero **hay que tener en cuenta que pueden salir serios competidores (por ejemplo, los propios fabricantes de automóviles).** Por ello es necesario comenzar a diseñar estrategias para situarse cuanto antes en el mercado con este objetivo y depositar esfuerzos en seguir creando una imagen social de expertos en materia de conducción y vehículo autónomo.
- Lo expuesto indica que, dada la necesidad que habrá de formación en las nuevas tecnologías de los vehículos, **quizás ha llegado el momento de “rescatar el antiguo término auto-escuela”,** en la medida en que el avance

hacia la conducción autónoma hará totalmente necesaria e imprescindible una formación específica para manejar sin riesgo unos nuevos tipos de vehículos y tecnologías, **nuevos** para muchos usuarios.

- Obviamente, la incorporación de las tecnologías será progresiva. En este proceso de automatización, **los conductores noveles, al iniciarse con estos sistemas, tendrán una adaptación más fácil**, pero se puede abrir paso a un mercado de formación a las generaciones de conductores existentes que utilizan vehículos convencionales y que están menos adaptados con las tecnologías venideras. Aquí también puede existir una nueva y excelente oportunidad para las autoescuelas.
- En otro orden de cosas, es preocupante que un nuevo sistema como el vehículo autónomo, que va dirigido a las personas, se esté desarrollando con inversiones tecnológicas multimillonarias **sin que se hagan apenas estudios sobre cómo va a ser recibido, percibido y aceptado por las sociedades y los individuos** que van a ser los receptores y usuarios finales del sistema. **Este “nicho” debe ser aprovechado por las autoescuelas como otra forma más de presencia, posicionamiento y vinculación con el tema de la conducción autónoma.**
- En definitiva, **la aparición del vehículo autónomo, que en principio podría percibirse una amenaza para el sector de la formación vial, se puede convertir en una interesante oportunidad.** Para ello, los Profesores de Formación Vial y las autoescuelas como sector empresarial, han de saber gestionar la situación que se avecina, teniendo en cuenta la posible aparición de competidores de otros sectores en determinados ámbitos relacionados con el vehículo autónomo y, especialmente, **realizar una planificación a corto y medio plazo, para conseguir estar formados e informados de todo el sistema legal, social y especialmente tecnológico que se avecina.**

- Aparte de la industria automovilística, **al sector de la formación y las autoescuelas es al que más le puede afectar la llegada el vehículo autónomo.** Es por ello muy importante estar especialmente atentos y participar en todos los foros y ámbitos que se relacionan con el tema en su vertiente social, económica, legal, tecnológica, etc., con independencia de **realizar estudios propios para poder profundizar en determinados aspectos.** Además, hay dos dimensiones que aparecen como de especial importancia para enfrentarse con éxito a la nueva situación: **disponer con rapidez de la máxima información sobre los avances en este tema y la necesidad de planificar formación ágil para todos los profesionales de las autoescuelas, respecto de todo el complejo fenómeno del vehículo autónomo.**