



Cómo serán las infraestructuras viarias del futuro

Carreteras 4.0

Javier R. Ventosa

El futuro no llega nunca, pero se construye cada día. Esta máxima puede aplicarse a las carreteras del mañana, un concepto en evolución que definirá cómo serán las infraestructuras por donde en pocos años circularán vehículos eléctricos y autónomos. Su apariencia será similar a las actuales –calzadas asfaltadas con carriles, arcenes y señalización–, pero tendrán prestaciones superiores y estarán adaptadas a la era digital: de meras infraestructuras inanimadas pasarán a ser plataformas inteligentes de servicios. ¿Su objetivo? Mejorar la seguridad y la fluidez de un tráfico que crece sin freno, especialmente en las grandes áreas metropolitanas.



Cómo serán esas carreteras? El Foro Europeo de Laboratorios de Investigación en Autopistas (FEHRL) y el Ministerio de Transportes alemán han esbozado sus rasgos principales a partir de los continuos avances

tecnológicos registrados en este campo. Serán seguras y fiables (gran capacidad, durabilidad, mantenimiento global y sencillo, protección contra el cambio climático, gestión avanzada de seguridad en todo el trazado, multifuncionalidad superficial, sistemas de seguridad pasivos avanzados); energéticamente eficientes (generadoras de energías renovables, alimentación de vehículos eléctricos, tecnologías LED para reducir consumos); sostenibles (diseño, construcción y operación optimizados para reducir la huella de carbono y el coste a lo largo de su ciclo de vida, uso de materiales reciclados y técnicas con bajo impacto medioambiental, pavimentos sonorreductores); y, por supuesto, estarán interconectadas (empleo de Sistemas Inteligentes de Transporte, captación de información en tiempo real sobre el tráfico y el estado de la vía para su transmisión al usuario y al gestor de la vía, interrelación infraestructura-vehículo).

Además, se diseñarán y realizarán con metodología BIM (*Building Information Modelling*) –que de cumplirse la hoja de ruta en principio acordada, será obligatoria para nuevas infraestructura en España a partir de mediados de 2019– para optimizar todo su ciclo de vida y tenderán a la construcción modular. El tráfico que circulará por esas carreteras será distinto al actual: el vehículo eléctrico, hoy todavía minoritario,

se impondrá, tras un periodo de coexistencia, a los contaminantes vehículos de combustión interna; en pocos años también comenzará a implantarse la nueva generación de vehículos autónomos.

Nuevos asfaltos y pavimentos

Las carreteras del futuro se perfilan cada vez mejor en su elemento principal, la superficie de rodadura, objeto de innovación continua en materiales y tecnologías por empresas y centros de investigación de los países más desarrollados. Los firmes del futuro no solo mejorarán las propiedades de los actuales (seguridad, impermeabilización, resistencia y comodidad), sino que incorporarán nuevas funciones inimaginables hace poco, como la sostenibilidad medioambiental, la generación de energía, la recarga de vehículos eléctricos, la autorreparación, la descontaminación y el autodiagnóstico. Es una revolución tecnológica en marcha, hoy en una etapa intermedia entre la innovación y la implantación a escala real, y que en pocos años será algo común. Estos son algunos de los principales desarrollos.

Sostenibilidad medioambiental. Los firmes verdes del futuro serán el producto de la investigación de la industria del asfaltado en nuevos materiales y tecnologías sostenibles como respuesta a la creciente concienciación medioambiental. En este ámbito se han culminado con éxito en España dos líneas de investigación ya testadas a escala real y que están listas para su aplicación: por un lado, nuevos materiales a partir del reciclado y la reutilización de

residuos (polvo de neumáticos, escorias de acería, residuos de construcción y plásticos), con mejores prestaciones que las mezclas convencionales y más ecológicos al evitar el empleo de recursos naturales; y por otro, nuevas tecnologías de fabricación de mezclas asfálticas con una gran disminución de temperaturas (las mezclas de betún y áridos se fabrican a unos 160° para hacerlas más manejables), lo que reduce las emisiones y el consumo energético. En este campo, empresas españolas lideran hoy varios proyectos europeos (Polymix, Greenroad, Altepave, LCE4Roads) para reducir la huella de carbono de las carreteras. También se ensaya la durabilidad de los nuevos materiales, campo con proyectos en América y Europa a base de pavimentos de composite (diseñados para durar más de 50 años) y firmes con nanomateriales de carbono (proyecto Durabroads, liderado por un grupo español); asimismo, se testan tratamientos caloríficos mediante inducción para extender la vida útil del asfalto. Junto a los avances en asfaltos porosos, de alta drenabilidad, se suceden los progresos en asfaltos sonorreductores (capas finas o porosas), ya instalados en Holanda, Dinamarca, Francia y Suiza, con reducciones del ruido de contacto entre el neumático y el firme de hasta 4,5 decibelios (dB), mientras se espera el desarrollo completo del pavimento poroelástico (con caucho de neumáticos usados), cuyo potencial reductor es de 8-12 dB. Como contraste, una empresa española diseña un firme con alarmas para avisar al viandante de la presencia de coches eléctricos.

Generación de energía. El firme como fuente de energía limpia es otro concepto de gran potencial que hoy constituye un campo de investigación con tantas líneas de trabajo como fuentes aprovechables existentes (solar, mecánica, electromagnética y termoeléctrica) y con aplicaciones diversas, que no tardará en dar el salto a la práctica. En energía solar, varios desarrollos de firmes asfálticos (Holanda, Japón, Reino Unido y España) han demostrado la posibilidad de recuperar la energía del sol que recibe la carretera y su transformación en calor para calentar un fluido que discurre por su interior (en tubos, por ejemplo) y destinarlo a diversos usos (sensores, iluminación...). Una universidad española lidera hoy un proyecto europeo (Sasgo) para mejorar el almacenamiento de esa energía con morteros geotérmicos. Por otro lado, está en pleno desarrollo la captación de energía solar a base de paneles fotovoltaicos en la carretera, con proyectos piloto en pruebas (carril bici en Holanda desde 2014 y proyecto Wattway en Francia desde diciembre de 2016, consistente en un tramo de 1 km en una vía normanda cubierto por 2.800 m² de paneles, que

permitirá alumbrar una ciudad de 5.000 habitantes) y otros en marcha en EE UU, Canadá y Alemania. En energía mecánica, proyectos en EE UU, Holanda, Reino Unido, Japón e Israel evidencian que es posible transformar la presión y vibración del vehículo sobre el suelo en energía eléctrica con el apoyo de dispositivos piezoeléctricos embebidos en el asfalto. Su viabilidad ha sido refrendada en España por el proyecto REC de Repsol, que fija su rentabilidad a partir del quinto año. Otros desarrollos buscan almacenar la energía de frenada o generar energía eólica a partir del viento y el paso del tráfico.

Recarga de vehículos eléctricos. De cara a la era del vehículo eléctrico que llega, la recarga de baterías es un factor decisivo resuelto en primera instancia con redes de recarga de baterías en estático, implementadas en los países con más coches eléctricos. El reto es la recarga dinámica durante la circulación, la denominada electromovilidad. Para ello varios países están desarrollando la tecnología de recarga *online* por inducción (OLEV). Esta tecnología consiste en la introducción bajo el asfalto de conductores eléctricos y la consiguiente generación de campos electromagnéticos, capaces de recargar por inducción la batería del vehículo que circula por un carril situado sobre los mismos. Corea del Sur dispone de una carretera de 12 kilómetros donde prueba el sistema con autobuses eléctricos, mientras el proyecto comunitario Fabric, a cargo de un consorcio de 25 socios (tres de ellos españoles) y que concluirá en diciembre, estudia su viabilidad económica y ambiental. Otra relevante tecnología en este campo es la carretera eléctrica, iniciativa sueco-germana en pruebas desde el pasado verano destinada a reducir el consumo de energía y las emisiones de las rutas de camiones. El sistema se inspira en el ferrocarril, con camiones híbridos dotados de pantógrafos conectados a una catenaria desplegada junto a la carretera que pueden circular bien en modo eléctrico por el carril lento con la energía recibida del tendido, bien en modo diésel en el resto de la calzada. El proyecto, que permite la conducción automática, continuará en pruebas hasta junio de 2018.

Autorreparación. ¿Podrá el asfalto del futuro reparar las grietas de su interior? A tenor del estado de la técnica la respuesta es afirmativa. La I+D+i ha desarrollado soluciones para la reparación no invasiva de pavimentos de un enorme potencial, pero aún deben demostrar su eficacia a escala real. En algunas vías holandesas se ensaya una técnica consistente en una mezcla de fibras de lana de acero y betunes en el firme y en su calentamiento mediante inducción, lo que derrite el asfalto y lo hace fluir internamente, rellenando las grietas. En España, el

proyecto Trainer de Repsol también ha probado la introducción en el firme de cápsulas con un agente reparador adhesivo que se libera por acción de la luz ultravioleta, expandiéndose por los huecos y cicatrizando como la herida de un cuerpo humano. Existe una versión similar para pavimentos de hormigón que emplea bacterias y el agua filtrada por las grietas como catalizador, transformándolas en una piedra sólida que sella las fisuras. La Universidad de Cantabria lidera dos proyectos (HealRoad y Sima+) para perfeccionar la primera solución, mientras se trabaja en una versión más económica de la segunda. Las investigaciones avalan la relevancia de esta tecnología para la UE, de gran potencial para el mantenimiento, y de hecho el Ministerio de Transportes alemán ha establecido que su red debe incorporar estas superficies en el año 2030.

Por otro lado, para afrontar el problema de la formación de hielo en las carreteras ya existen soluciones (Novatherm) para neutralizarlo mediante técnicas geotérmicas (tubos de fluido precalentado bajo el asfalto) que se activan cuando los sensores detectan un umbral de frío; o a la inversa, recuperar el exceso de calor de la carretera en verano para redistribuirlo a viviendas cercanas. En un paso más allá, el proyecto europeo Pavirex (con presencia española) ensaya la predicción a corto plazo de la formación de hielo para neutralizarlo también con energía geotérmica.

Descontaminación. Neutralizar las emisiones contaminantes de los vehículos, sobre todo el óxido de nitrógeno (NOx), es otra misión encomendada al as-

falto del futuro que se atisba como una realidad cercana. Para alcanzar ese objetivo medioambiental, la I+D+i española de empresas y centros de investigación (proyectos Fénix, Pharo, Bitumenox) ha aprovechado el potencial de la fotocatalisis, reacción química provocada por la acción del sol sobre un catalizador (generalmente dióxido de titanio) que reduce y disuelve las concentraciones de NOx sobre el asfalto. Esta versátil tecnología, existente en forma de pavimento o aplicable mediante lechadas o emulsiones, ha demostrado sus posibilidades en ensayos de laboratorio (neutraliza hasta un 50% de este contaminante) y hoy está siendo testada a escala real en superficies urbanas de Madrid y Alcobendas en el marco de tres proyectos comunitarios LIFE (MinoxStreet –con participación del Cedex–, Equinox y Photoscaling), así como en otras ciudades españolas. Los accesos a las urbes, atestados de tráfico, son un posible escenario para aplicar esta tecnología.

Autodiagnóstico. El firme del futuro incorporará sensores inalámbricos autónomos para monitorizar la salud estructural del mismo y detectar sus deficiencias, innovación que mejorará las labores de mantenimiento. Actualmente funcionan en Europa y EE UU iniciativas para la sensorización de carreteras y estructuras, que controlan varios indicadores (temperatura, tensión, humedad, carga vertical, vibraciones, velocidad del viento) y diagnostican su estado a través de un *software* específico. El proyecto español Oasis ya estudió cómo proveer de energía a estos sensores embebidos en el asfalto. En carreteras de EE UU, además, hay instaladas losas

Fénix, Oasis y Repara 2.0

Los programas de apoyo a la I+D+i del Centro Tecnológico para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CTDI), dependiente del actual Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, han dado un gran impulso a la investigación en España sobre las carreteras del futuro. Dos de sus proyectos, encuadrados en el programa Cenit de estímulo de la cooperación público-privada en investigación, se cuentan entre los más relevantes de los últimos 10 años por la multidisciplinariedad de materias y la elevada participación de empresas y centros públicos: Fénix (investigación estratégica en carreteras más seguras y sostenibles, con participación de 26 compañías y centros de investigación) y Oasis (operación de autopistas seguras, inteligentes y sostenibles, desarrollado por 32 empresas y grupos de investigación). Sus trabajos, con participación del Cedex, han logrado avances sobre nuevas tecnologías y materiales sostenibles en los procesos de asfaltado, la huella energética de las autopistas, los sistemas proactivos de seguridad integrados en la carretera, el aprovechamiento energético de la irradiación solar sobre el pavimento, la sensorización de firmes, la gestión inteligente de la movilidad y la evolución de los ITS hacia los sistemas cooperativos. Ambos proyectos han sentado las bases del conocimiento español en estos campos y varias de sus innovaciones se han implantado en las vías españolas.

Actualmente se desarrolla otro proyecto multidisciplinar que complementará las investigaciones de los dos anteriores, también en el marco del CDTI aunque acogido a la convocatoria CIEN. Se trata de Repara 2.0 (Desarrollo de nuevas técnicas y sistemas de información para la rehabilitación sostenible de pavimentos de carreteras), proyecto iniciado en 2015 con un plazo de 48 meses, dotado con más de 7 M€ y liderado por Sacyr, que encabeza un consorcio de seis empresas y 11 centros de investigación públicos y privados, entre ellos el Cedex. Su objetivo es el desarrollo de nuevas tecnologías y metodologías que apoyen la gestión de infraestructuras y permitan rehabilitar y conservar cualquier tipo de carretera a un menor coste económico y medioambiental. El proyecto investiga sobre nuevas mezclas (sonorreductoras, autorreparantes, recicladas en frío in situ, en frío en central y reflectantes), la resiliencia frente al cambio climático, la monitorización dinámica del firme (instrumentación con sensores inalámbricos para medir variables de tráfico, estructura del firme, estabilidad de taludes y drenaje, como punto de partida para elaborar modelos predictivos del deterioro del firme con tecnología Big Data) y el análisis del ciclo de vida de la infraestructura (elaboración de software para el estudio del comportamiento medioambiental en la rehabilitación de carreteras).

de hormigón prefabricado de tipo modular con sensores embebidos, que reducen los costes de montaje y facilitarán el mantenimiento.

Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

En las carreteras del mañana, los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) serán, junto a la nueva generación de firmes, el otro gran elemento integrado en la infraestructura (sobre la misma o a los lados); de hecho, ya son parte del presente, pero su papel será cada vez más decisivo para mejorar la eficacia de las vías del futuro. Se trata de soluciones basadas en las tecnologías de la información, la comunicación y el control automático desplegadas en la vía que proporcionan nuevas aplicaciones y servicios para la gestión del transporte. Su objetivo es triple: mejorar la movilidad (en espacios urbanos y metropolitanos, crecientemente congestionados), aumentar la seguridad y reducir la contaminación.

Los ITS no son nuevos. En sus formas más tradicionales (paneles de información variable o cobro de peajes en autopistas) forman parte desde hace décadas del paisaje de las carreteras, pero con la revolución digital han evolucionado hacia una nueva generación de soluciones avanzadas de apoyo a la gestión del tráfico que hoy se integran en las aveni-

das, carreteras y autopistas del mundo desarrollado para adaptarlas a las nuevas demandas de movilidad. Su presencia es cada vez mayor en las infraestructuras viarias y lo seguirá siendo en el futuro con desarrollos cada vez más avanzados. Un informe de la consultora Research and Markets estima que el mercado global de ITS tendrá ventas por valor de 72.000 M€ en 2022, con crecimientos anuales del 7,9% hasta ese año.

El abanico de sistemas ITS implantados hoy en las carreteras es múltiple. Los destinados a la captura de datos conforman un conjunto heterogéneo de sensores tradicionales y de última generación (espiras magnéticas, cámaras de video, radares, detectores ultrasónicos y acústicos, medioambientales, identificación automática de matrículas, pesaje en movimiento, ocupación de plazas, detectores de iluminación, detección automática de incidencias, antenas Bluetooth, ...), que, con apoyo de tecnologías embarcadas (GPS, RFID, TAG, WiFi), recolectan datos, cada vez más precisos y en tiempo real, sobre el estado de la vía, el tráfico y el medio ambiente. Esta información es enviada por redes de comunicaciones a los centros de control, equipados con sistemas de gestión de tráfico que para tratar el creciente volumen de datos incorporan tecnologías avanzadas de informática y procesamiento de datos, incluido el Big Data. Con la información ya procesada, adoptan estrategias sobre gestión del tráfico y

Algunos desarrollos ITS

Los ITS comprenden un heterogéneo conjunto de soluciones tecnológicas diseñadas para mejorar la seguridad y reducir la congestión en las carreteras. Estos son algunos ejemplos.

- **Plataformas tecnológicas, con apoyo de radares o satélites**, para la gestión inteligente del tráfico en intersecciones. Recopilan datos (con cámaras y radares) para su análisis y por medio de algoritmos ofrecen las mejores soluciones para la fluidez cuando detectan incrementos de tráfico. Permiten la activación automática de semáforo verde para el transporte público y vehículos de emergencias.

- **Sistemas de peaje avanzados para reducir la congestión**. Peaje por satélite (geolocalización mediante GPS de la unidad embarcada del automóvil y cobro automático del importe al acercarse al área de peaje; en pruebas en la circunvalación de Ámsterdam), peaje dinámico en managed lanes (sistema dinámico de precios en vías rápidas construidas en la plataforma de una autopista, variables en función del tráfico y abonable mediante tecnología RFID o vídeo; implantado por Ferrovial en autopistas de Texas).

- **Carreteras con marcas viales luminiscentes**, a base de pinturas fluorescentes que se cargan con la luz solar y se iluminan de noche. Forma parte del proyecto Smart Highways, en fase de pruebas en Holanda, que incluye diversas aplicaciones relacionadas con la luz, como las pinturas dinámicas sensibles a la temperatura (a 0° se dibujan copos de nieve en el firme) o las luces

interactivas (empleo de sensores para iluminar solo el tramo donde hay vehículos).

- **Luces inteligentes para rotondas congestionadas**. Solución a base de luces LED smart instaladas en el firme para limitar la transgresión de carriles en una rotonda multicarril espiral con una IMD de 42.000 vehículos en Inglaterra. El sistema se activa con el semáforo verde, enciende las luces y guía a los automóviles hacia el carril apropiado; cuando el semáforo se pone rojo, las luces de ese tramo se apagan y se iluminan las del siguiente tramo. Un estudio ha destacado que ese sistema ha reducido más de un 50% las transgresiones de carril en esta rotonda, lo que se ha traducido en menos congestión y menos accidentes.

- **Detección automática de incidentes**. Instalación en el puente normando de Calix (1,2 km, IMD de 85.000 vehículos) de un avanzado sistema de detección automática de incidentes (DAI) equipado con cámaras de vídeo y un software que jerarquiza automáticamente las incidencias, enviando información precisa para decidir la actuación. Ha reducido a la mitad los 40 minutos empleados hasta ahora en atender las incidencias.

- **Señalización dinámica en intersecciones**. La DGT instalará sensores en 45 cruces de carreteras convencionales que, al detectar la presencia de un vehículo en un ramal de acceso, activan un panel luminoso para alertar al conductor que circula por la vía con preferencia de la presencia de otro vehículo en el cruce, llamando su atención y facilitando que modere la velocidad.

las transmiten a los usuarios a través de otros ITS, los dispositivos de difusión de datos (paneles de información variable, de obras y balizas en la vía, o sistemas embarcados y aplicaciones móviles). Aunque los ITS pueden ser manejados desde los centros de control, que se apoyan para ello en el Internet de las Cosas, varios de estos sistemas se activan de forma autónoma mediante algoritmos cuando la situación lo requiere, una tendencia en alza para los próximos años.

El principal valor de los ITS es la gran variedad de servicios y aplicaciones que ofrecen. La información que capturan y luego transmiten al usuario es capital para el desarrollo de estrategias de gestión de tráfico (gestión de velocidad, empleo de carriles reversibles, activación de arcones o carriles de alta ocupación, control de rampas de acceso a autopistas, uso de barreras móviles, prohibición de circulación de camiones, priorización de señales de tráfico, gestión de seguridad en túneles –España exporta esta tecnología a numerosos países– o gestión dinámica de planes de tráfico urbano, entre otras). Su concurso es también muy valioso en la gestión de incidencias y emergencias, la vigilancia de infracciones, la gestión de flotas (aparcamiento seguro para camiones, mercancías peligrosas, planificación de rutas) o el pago telemático de peajes (campo de aplicación tradicional de ITS que ha evolucionado hasta los actuales peajes *free flow* sin barreras, que evitan la congestión; el primero de España se instaló en marzo en La Roca, en la autopista AP-7). Pero la aportación más práctica para el usuario es el suministro de datos en tiempo real sobre la carretera (meteorología, restricciones, incidencias, tiempos de viaje, límites de velocidad...), una información muy valiosa para su estrategia de conducción.

Japón y Estados Unidos, con problemas históricos de tráfico en sus redes viarias, realizaron los primeros despliegues de ITS en los años 90, aportando los primeros servicios al usuario (datos sobre congestión y peajes), y hoy lideran el desarrollo de carreteras inteligentes en el mundo. Europa, por su parte, implementó estrategias ITS primero a escala nacional y a partir de 2008, con la aprobación por la Comisión Europea del plan para su despliegue, de forma coordinada a escala comunitaria. En España, su implantación, que es competencia de los ministerios de Fomento e Interior, ha seguido este modelo. Desde sus orígenes, los ITS se desplegaron una vez inauguradas las nuevas vías españolas, pero a partir de 2014 el Ministerio de Fomento, en aras de la eficacia, los incorporó al proceso de planificación y diseño de carreteras. El último informe de progreso sobre el despliegue de ITS en España, de agosto de 2014, constató una notable evolución respecto al informe de 2011.

Sistemas Cooperativos (C-ITS)

Prácticamente definida la fisonomía de las carreteras del futuro con los nuevos firmes y sistemas ITS, su función como infraestructura inanimada se transformará hacia un nuevo rol de plataforma inteligente de servicios con la implantación de los Sistemas Cooperativos Inteligentes de Transporte (C-ITS), que cambiarán de forma definitiva la forma de conducir en la carretera. Esta evolución de los ITS permite el intercambio de datos de seguridad y operacionales de vehículo a vehículo (V2V), de vehículo a infraestructura (V2I) y de vehículo a otros usuarios (V2X), con importantes beneficios para la movilidad y la seguridad. La interacción V2V, que incorpora nuevas tecnologías de comunicación y sensorización en el

Servicios C-ITS de la UE

La Comisión Europea tiene previsto alcanzar en 2019 la implantación coordinada de C-ITS en su territorio, lo que permitirá poner a disposición del usuario una serie de servicios cooperativos para mejorar la seguridad en la carretera, la eficiencia del tráfico y el confort en la conducción. En una primera fase (Día 1) se implantarán los servicios más avanzados tecnológicamente y los que presentan mayores beneficios, dejando para una segunda fase (Día 1.5) los que para esa fecha aún no tendrán listas todas las normas y especificaciones. La lista de servicios cooperativos prevista es la siguiente:

Día 1

- Avisos de circulación lenta o congestionada y avisos sobre el tráfico (V2V)
- Avisos de obras en la carretera (V2I)
- Condiciones meteorológicas (V2I/V2V)
- Luz de frenado de emergencia (V2V)
- Vehículo de emergencia aproximándose (V2V)
- Señalización en el vehículo (V2I)
- Límites de velocidad en el vehículo (V2I)
- Incumplimiento de la señalización/seguridad en los cruces (V2I)
- Solicitud de señalización prioritaria por parte de los vehículos designados (V2I)
- Señal luminosa verde para la velocidad óptima recomendada (V2I)
- Datos compartidos por el vehículo (V2I)
- Amortiguador de movimientos sísmicos (V2I)

Día 1.5

- Información sobre estaciones de repostaje y de recarga para vehículos que usen combustibles alternativos (V2I)
- Protección de los usuarios vulnerables de la vía pública (V2X)
- Gestión e información de los aparcamientos de la vía pública (V2I)
- Información sobre aparcamientos fuera de la vía pública (V2I)
- Información sobre aparcamientos disuasorios (V2I)
- Navegación conectada y cooperativa para entrar y salir de las ciudades (primer y último kilómetro, aparcamiento, consejos sobre la ruta, semáforos coordinados) (V2V/V2I)
- Información sobre el tráfico y enrutamiento inteligente (V2I/V2V)

vehículo, acapara casi toda la atención, pero es la comunicación V2I la que transformará a la carretera en una infraestructura inteligente que “dialogará” con coches, señales de tráfico y centros de control. Para ello se ha desarrollado una arquitectura formada por unidades al borde de la carretera (con receptor, procesador e interfaz con la red de comunicación V2I) –el nuevo elemento de las futuras vías–, unidades embarcadas en el vehículo y comunicaciones inalámbricas seguras (DSRC, Bluetooth, WiFi, redes móviles GSM, radio SW) entre estos dos elementos y con los centros de control.

Con los C-ITS, un vehículo conectado a un entorno cooperativo percibe su situación mediante sensores embarcados que captan la información (de otros vehículos, de la carretera y del centro de control) y la transmiten a su vez a esos tres elementos, convirtiéndose en un sensor más del sistema. Algo similar ocurre con la carretera, transformada en un sensor que recibe y transmite información. Con todo este caudal de datos se favorece el horizonte temporal y geográfico de la percepción del usuario, facilitando una conducción más eficiente y segura. Para el gestor de la vía, el flujo continuo de datos infraestructura-vehículo optimiza la gestión de la movilidad y permite gestionar de manera más eficiente la capacidad de las vías. Con la implantación de los C-ITS se pondrán a disposición del usuario múltiples servicios, a base de avisos y alertas en la pantalla de datos del vehículo, el *smartphone* o los paneles en la vía, para mejorar la seguridad, aumentar la eficiencia del transporte y reducir el impacto ambiental.

En los últimos años se han realizado importantes esfuerzos de investigación en sistemas V2I y V2V. Japón, el país más avanzado en sistemas cooperativos, tiene en servicio desde 2011 en gran parte de su red el sistema V2I denominado ITS-Spot, que mediante la interconexión de radiobalizas en la vía y equipos embarcados aporta servicios de guiado dinámico de ruta, apoyo a la conducción (informa sobre obstáculos a una milla de distancia) y abono de peajes. Su objetivo es reducir las víctimas en la carretera a la mitad en 2018. Hace tres años, el Gobierno nipón dio un paso más en el entorno C-ITS con el lanzamiento de la iniciativa SIP-adus, (innovación en conducción automática para servicios universales), que incorporará el vehículo autónomo a los sistemas cooperativos V2V y V2I. La tecnología creada en esta iniciativa de I+D, apoyada por las industrias de automoción y cartográfica, será testada en un gran ensayo a escala real en 300 kilómetros de autopistas entre octubre de 2017 y marzo de 2019. Se espera que la nueva generación de sistemas

cooperativos con vehículos autónomos esté lista para las Olimpiadas de Tokio en 2020.

Estados Unidos, por su parte, está desarrollando un Plan Estratégico ITS (2015-2019) que prioriza la implementación de los sistemas cooperativos (V2V, V2I y V2X) y los avances en la automatización. Como parte de ese Plan, a finales de 2016 el Departamento de Transporte designó tres emplazamientos (Nueva York, Tampa y Wyoming) para desarrollar hasta finales de 2019 el más completo programa piloto federal de sistemas cooperativos a escala real, que probará tecnologías de comunicaciones, dispositivos al lado de la carretera y aplicaciones móviles. También eligió otras 10 localidades para realizar pruebas piloto de sistemas V2I con vehículos autónomos, aunque en circuitos especiales. Con estos ensayos se espera dar un impulso definitivo al vehículo conectado a la infraestructura. Varios Estados de EE UU también desarrollan sus propios programas de pruebas de sistemas cooperativos en carreteras de su competencia. Esta tendencia también se da en otros países de la cuenca del Pacífico (Corea del Sur, China, Australia).

Europa también tiene desde noviembre de 2016 su propia estrategia C-ITS, con la que pretende acelerar las investigaciones, facilitando la convergencia de inversiones y proyectos piloto que garanticen la interoperabilidad en todo el territorio, con la vista puesta en alcanzar la implantación coordinada de C-ITS en 2019. Esta estrategia se apoya en la experiencia de medio centenar de proyectos realizados en esta década (FOTsis, HeERO, Drive C2X, CVIS, el español Siscoga...) con el apoyo de consorcios y financiación compartida por la UE, que han sentado las bases de la tecnología europea de C-ITS. Actualmente hay en marcha varios proyectos nacionales y una nueva generación de proyectos comunitarios, a escala real y de alcance transnacional, algunos con vehículos autónomos, que han desplegado y están testando esta tecnología en varios corredores. Entre ellos destacan los proyectos C-Roads, Intercor, Scoop@F y el corredor C-ITS Rotterdam-Frankfurt/Múnich-Viena, con tecnologías V2I desplegadas en más de 1.200 kilómetros de autopista en los tres países. De culminar con éxito este esfuerzo de investigación, la UE estará lista en dos años para el despliegue masivo de sistemas C-ITS, lo que beneficiará al usuario (conductor y peatón) con unos servicios cooperativos que están llamados a jugar un papel relevante en la lucha contra los problemas de congestión, consumo de energía y emisiones en las carreteras europeas del mañana. Un futuro que cada vez está más cerca. ▀