

*Proyecto Autopia*

# Comunicaciones inalámbricas en sistemas inteligentes de transporte

**Un sistema de control que sólo tenga en cuenta señales procedentes del propio coche no es suficiente para lograr un control óptimo. Es importante disponer de un sistema de comunicaciones que permita el intercambio de información entre diversos vehículos, posibilitando la realización de maniobras cooperativas entre ellos de una manera sencilla y segura, así como de un sistema que permita la comunicación con las propias infraestructuras.**

2

La aplicación de las nuevas tecnologías a los sistemas de transporte ha aumentado considerablemente en los últimos años. El desarrollo de sistemas de ayuda a la conducción (ADAS), ya sea basados en sistemas de visión para alertar al conductor en caso de somnolencia, por ejemplo, o en tecnología radar para conseguir un sistema de control de crucero adaptativo (ACC) que facilite la conducción, han sido acogidos de buen grado por los conductores. Todo ello ha provocado un cambio de mentalidad en el mundo de la automoción, tanto de los fabricantes como de los usuarios. Así, se ha llegado a la conclusión de que un sistema de control que sólo tenga en cuenta señales procedentes del propio coche no es suficiente para lograr un control óptimo. Es importante disponer de un sistema de comunicaciones que permita el intercambio de información entre diversos vehículos, posibilitando la realización de maniobras cooperativas entre ellos de una manera sencilla y segura.

Una de las mayores preocupaciones por parte de los gobiernos de todo el mundo es reducir el número de accidentes que se producen en carretera. Sólo en España, durante el año 2008 fallecieron más de 2.000 personas en accidentes de tráfico y casi 1.000 resultaron heridas (DGT, 2009).



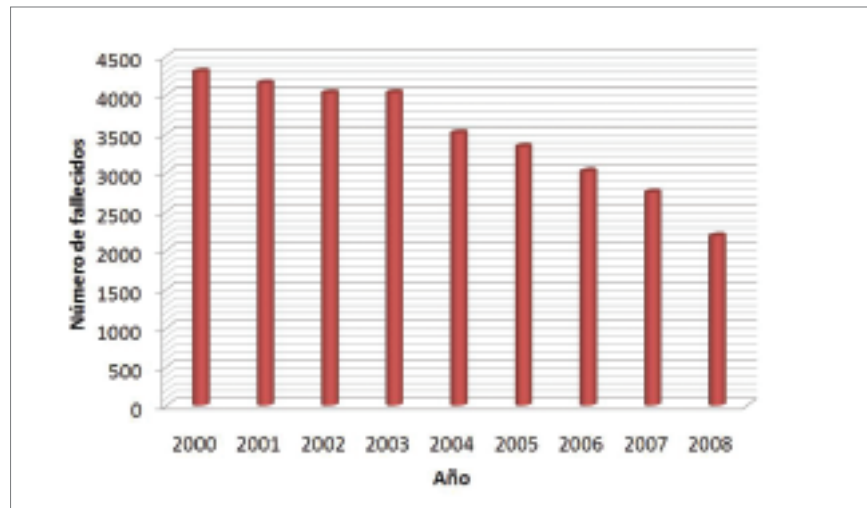
Estas cifras, a pesar de ser alentadoras debido a la disminución en más de un 50% de las víctimas desde el año 2000, siguen siendo elevadas, y la colaboración, tanto del sector del automóvil como de los conductores, ha de ser decisiva. Desde el sector de la automoción se han desarrollado diversos sistemas para ayudar al conductor. Por ejemplo, *Alfa Romeo* tiene ya disponible el asistente para arranque en subida (*Hill-holder*) y la dirección electrónica activa, que recomienda al conductor la maniobra más adecuada mediante el volante electrónico y realiza correcciones automáticamente para mejorar la seguridad y las prestaciones de conducción. En la misma línea, el grupo *Audi* ha desarrollado el ABG o *Audi Braking Guard*, que avisa al conductor con un pitido y una luz en el

cuadro de instrumentos si se va a producir una colisión por alcance con el vehículo precedente; además, el ESP se prepara para actuar. Si el conductor no reacciona, el sistema presiona el sistema de frenos de forma brusca para que el piloto lo perciba. Cuando éste reacciona y frena, aunque sea de forma indecisa, el vehículo realizará una frenada de máxima intensidad sirviéndose del asistente de frenado hidráulico. Por su parte, *BMW* ha implementado en sus vehículos un sistema de advertencia de abandono del carril que, a través de unas señales bien perceptibles, avisa de ese peligro. Para controlar cuál es la correcta trayectoria del coche, el sistema utiliza una cámara situada en el centro superior del parabrisas, tras el espejo retrovisor, que capta la zona delantera del coche

hasta una distancia de 50 metros, detectando así las líneas que delimitan el carril a ambos lados. Cuenta con un sistema de calibración permanente, funciona tanto de día como de noche y trabaja también en curvas. En una línea más solidaria con el medio ambiente, a principios de octubre de 2008 *Fiat* presentó, en colaboración con *Microsoft*, el nuevo sistema telemático *EcoDrive*, que ayuda a los conductores a conducir de un modo más ecológico y económico. Este dispositivo, desarrollado sobre la base del sistema *Blue&Me*, permite grabar en una memoria USB consumos y emisiones de todos los viajes realizados y analizar en un ordenador el estilo de conducción, así como recibir consejos sobre cómo conducir con un efecto menor sobre el medio ambiente. Por último, cabe mencionar la aportación de la fábrica *Mercedes-Benz*, que ha desarrollado un nuevo sistema que alerta al conductor en caso de fatiga que está disponible desde este año en toda la gama de *Mercedes-Benz*. Básicamente, lo que este sistema hace es, ayudado por distintos sensores, capturar los patrones de conducción de cada conductor y compararlos con los que ya tiene en su base de datos y que son recogidos al inicio de la conducción. Ha sido testado con 550 hombres y mujeres, dando como resultado que tras unas cuatro horas de conducción ininterrumpida, estos patrones cambian. Mediante mediciones tanto en la aceleración lateral como lineal y en el movimiento del volante, el *Attention Assist* detecta si el conductor está comenzando a sufrir los efectos de la fatiga.

### Importantes proyectos de investigación

En cuanto a las tareas de investigación, se están consiguiendo grandes aportaciones desde diversos centros en todo el mundo. Uno de los grupos más importantes en este campo es el grupo *NavLab*, en Estados Unidos. Este grupo trabaja en la construcción de coches, camiones y autobuses capaces de realizar una conducción autónoma. Desde su creación en 1984, ha producido una serie de once vehículos, desde el *Navlab 1*



■ Número de fallecidos en accidente de tráfico desde el año 2000 (Fuente: DGT).

hasta el *Navlab 11*. Entre sus objetivos se incluyen la exploración en cualquier tipo de terreno, la automatización en carretera, la reducción de las colisiones en circulación y la asistencia al conductor en entornos urbanos. *Navlab1* alcanzó una velocidad de 32 km/h en conducción automática y con el *Navlab2* se alcanzaron ya los 88 km/h. En 1995, el *Navlab5* circuló desde Washington a California por autopista, controlando de forma automática la dirección –el 98,8% del recorrido– y de forma manual la velocidad, en el experimento *No Hands Across America*. El sistema *RALPH* proporcionó datos de navegación, un GPS combinado con un giróscopo facilitó la localización del vehículo y el sistema *ALVINN* facilitó los datos para mantener el carril y estimar el radio de curvatura de la vía. Además, observando a una persona conducir durante 5 minutos, el sistema aprendía las características más importantes de la tarea de conducción. Actualmente, este grupo de investigación está desarrollando el proyecto *CTA Robotics*, en el que investigan la capacidad del vehículo para interpretar el entorno en el que se encuentra y hallar la solución óptima para moverse a través de él.

En Europa, uno de los proyectos más importantes es el *LaRA (La Route Automatisée)*. Se trata de un programa conjunto entre los grupos *IMARA*, *INRIA* y *CAOR* de la Escuela de Minas de París. Estos grupos reúnen a 50 investigadores, ingenieros y téc-

nicos desde hace una década en torno a la integración y desarrollo de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para mejorar el transporte. Han realizado muchos proyectos financiados por la industria, el gobierno francés y la CE. Actualmente tienen 15 proyectos en marcha sobre automatización del transporte, *e-safety* y conducción cooperativa. *LaRA* es un programa para analizar la seguridad actual y futura del transporte por carretera en Francia y estudia cuatro casos: carreteras locales, rurales, interurbanas y redes de carreteras en torno a las grandes ciudades, y está desarrollando dos aplicaciones de vehículos automatizados a baja velocidad para circulación urbana (vehículos sin conductor para desplazamiento urbano). La idea es que una serie de coches siga automáticamente a un líder conducido por un humano. La distancia entre coches es de 0.3 segundos a cualquier velocidad y el seguimiento lateral es muy preciso gracias a un sistema de visión. *LaRA* se mostró por primera vez en 1994, en la demo final de *Prometheus*. Más tarde se hicieron prototipos para circuitos cerrados como parques temáticos y cascos históricos de ciudades. La principal ventaja de este programa es que no necesita una infraestructura nueva, pues los vehículos autónomos emplean las infraestructuras ya existentes.

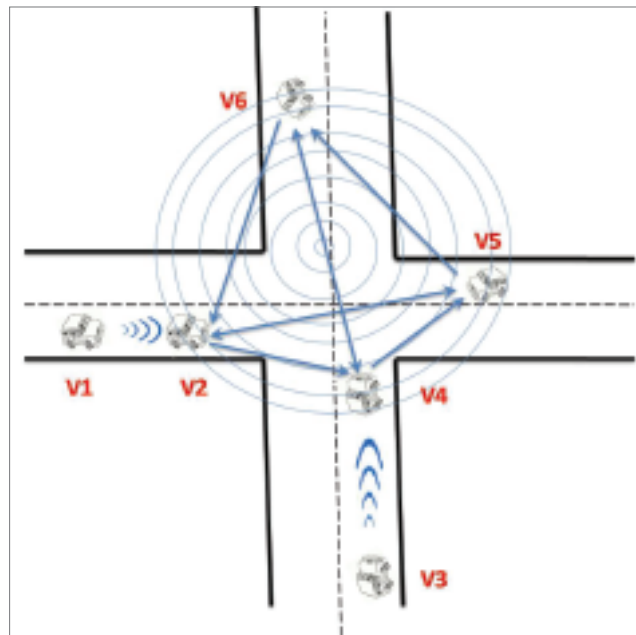
También cabe destacar las aportaciones del Ministerio de Transporte en Japón, que se ocupa de regular la

seguridad de la industria del vehículo. El programa más relevante es el *Advanced Safety Vehicle (ASV)*, bajo cuyos auspicios todos los grandes OEM japoneses de automóviles han desarrollado técnicas para mejorar la seguridad, como sistemas ITS de advertencia y ayuda (por ejemplo, *airbags* externos para proteger a peatones o para ciclomotores, parabrisas que repelen el agua, etc.). Es importante destacar que estos desarrollos los financian las compañías, y el ministerio se limita a dirigirlos y coordinarlos. Este programa fue la base de la Demo 2000 del SmartCruise21 realizada en la pista del *Japan Automobile Research Institute*.

En 2007 empezó la cuarta fase del programa ASV y en octubre de ese mismo año *Nissan* presentó la cuarta generación denominada *Nissan ASV-4*, cuyo objetivo es la reducción de los accidentes de tráfico mediante una comunicación vehículo-vehículo en la que se avisa al conductor de la existencia de otro vehículo en condiciones de climatología adversas o intersecciones de riesgo.

## En España

En cuanto a la conducción automatizada de vehículos en España, el programa Autopia, perteneciente al Instituto de Automática Industrial (IAI) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), pretende el control completamente automático de coches en entornos urbanos, que es el caso más complejo. La construcción de los vehículos autónomos se ha basado en la experiencia acumulada en el trabajo con robots móviles que, si bien su funcionamiento real es totalmente diferente al de los coches, sí que sirven como base para su control automático. Los experimentos de este programa se realizan sobre una pista de pruebas dedicada a la investigación, con cuatro vehículos Citroën, tres de ellos automatizados (dos Berlingo y un C3 Pluriel). Los vehículos autónomos han sido dotados de un receptor GPS y un computador. En



■ Sistema de comunicación vehículo-vehículo para el caso de una intersección.

éste, un controlador borroso mueve el acelerador, el freno y el volante. Los resultados de Autopia se han probado en numerosos experimentos (Javier Alonso, 2007) (Vicente Milanés, 2008) (Enrique Onieva, 2008) (Joshué Pérez, 2009) y engloba proyectos ya terminados, como *Covan*, *Globo*, *Copos*, *Isacc* y *Cybercars- 2*, y tres proyectos en curso: *Marta*, *Guida* de e *Isaac-II*, en el que colaboran las universidades de Alcalá de Henares y Extremadura.

## Sistemas de comunicaciones en vehículos

Cuando hablamos de sistemas cooperativos en el mundo de la automoción nos estamos refiriendo a comunicación bidireccional entre sistemas con interacción en tiempo real. De esta manera, cualquier vehículo podría comunicarse directamente con otro conociendo con antelación las futuras acciones de los vehículos situados en su entorno.

Estos sistemas pueden potenciar las capacidades de percepción de un conductor, suministrándole información fundamental de los vehículos cercanos, con especial interés en aquellos situados fuera del rango de visión del conductor. Los sistemas cooperativos tienen, por tanto, un potencial enorme para aumentar la calidad y fiabilidad de la información disponible sobre los vehículos y su lo-

calización, mejorando y añadiendo nuevos servicios a los usuarios de la carretera.

Las Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (DSRC del inglés *Dedicated Short Range Communications*) constituyen un nuevo estándar que cubre el espectro entre los 5,850 y los 5,925 GHz asignado por la FCC estadounidense para mejorar la seguridad y la productividad en los sistemas de transporte. El comité de estandarización E17.51 de la ASTM (*American Society*

*for Testing and Materials*) trabaja en el desarrollo de un estándar para aplicaciones entre vehículos basado en comunicaciones inalámbricas. DSRC es un servicio de comunicación de alcance medio con la intención de apoyar la Seguridad Pública en la interacción vehículo-vehículo que complementa las comunicaciones móviles proporcionando muy altas capacidades de transferencia de datos en circunstancias donde la reducción al mínimo de los retardos en la comunicación es fundamental. El objetivo de estas comunicaciones es que sean orientadas, esto es, que cada vehículo sólo establezca conexión con los vehículos que le resulten de interés a corto plazo para coordinar las maniobras con ellos. De esta forma, se reduce el número de canales abiertos entre vehículos para evitar posibles cuellos de botella en la comunicación. Siguiendo este protocolo, en la figura superior se muestra un ejemplo del comportamiento que debe tener este sistema de comunicaciones para solventar un problema particular: la preferencia de paso en intersecciones.

En la imagen se observa cómo el vehículo V1 sólo establece comunicación con el vehículo V2, ya que se encuentra siguiendo a éste y, pese a estar cerca de una intersección, hasta que el V2 no la haya rebasado, no necesita conocer más información.

De igual manera ocurre con los vehículos V3 y V4. Finalmente, los vehículos que no tienen la oposición de ningún otro antes de la intersección (V2, V4, V5 y V6) establecen comunicaciones bidireccionales entre ellos en caso de llevar idéntica dirección pero sentido contrario y comunicaciones unidireccionales para el caso en que el ángulo entre ellos sea de  $90^\circ$ , siendo el vehículo que se encuentra a la izquierda el que establece la comunicación para asegurar que pase el vehículo que tiene preferencia.

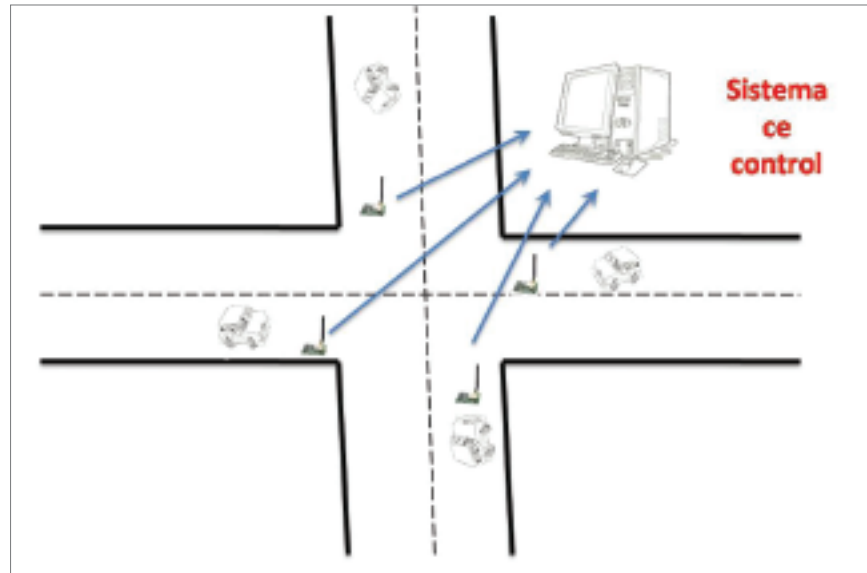
De la forma explicada anteriormente, se puede gestionar sin riesgo cualquier tipo de maniobra entre vehículos. Incluso las maniobras más complicadas, como la de varios vehículos llegando a la vez a un cruce que no tiene señales de tráfico que lo regulen, podrían solventarse sin accidentes gracias a un correcto intercambio de información entre estos vehículos. A continuación se indican algunas de las maniobras que se podrían realizar de manera segura y eficiente entre vehículos gracias a las DSRC.

### Maniobras cooperativas

El desarrollo de los sistemas de comunicación explicados anteriormente adquieren un enorme potencial a la hora implementar maniobras cooperativas entre varios vehículos. Mediante sensores embarcados en el coche, es posible conocer variables como la posición, velocidad, aceleración y orientación del vehículo en cada instante. Si definimos una trama de comunicación adecuada, se pueden predecir los movimientos de los vehículos situados en un entorno cercano y actuar en consecuencia.

A continuación se muestran algunas de las maniobras más significativas en cooperación de vehículos autónomos:

- *Control de cruceo adaptativo cooperativo (CACC)*. En los últimos años, el desarrollo de los sistemas de control de cruceo (CC) y su posterior extensión en los sistemas de control de cruceo adaptativo (ACC) han conseguido en un primer término mantener la velocidad en caso de tráfico despejado y, posteriormente,



■ Sistema de comunicación en la infraestructura para el caso de una intersección.

adaptar esta velocidad en autopista si existe algún coche circulando delante. Estos avances se han logrado, fundamentalmente, a través de tecnología radar. El siguiente paso será el denominado CACC, que precisa de la comunicación entre varios vehículos para alcanzar una mejora significativa en la fluidez del tráfico.

- *Intersecciones seguras*. Como se ha explicado en el punto anterior, un sistema de comunicaciones fiable permitiría evitar los comunes accidentes en cruces. Situaciones como falta de visibilidad o señales de tráfico deterioradas que no permiten su correcta interpretación provocan numerosos accidentes en las carreteras españolas.

- *Maniobras de cambio de carril*. Las avenidas que atraviesan las grandes ciudades españolas cuentan con un elevado número de carriles por los que circulan gran cantidad de coches en el mismo sentido. En muchas ocasiones, el elevado número de cambios de carril de muchos conductores provoca situaciones de riesgo que pueden acabar en accidentes. Mediante un sistema seguro de comunicaciones, se podrían gestionar de forma adecuada los cambios de carril sin provocar situaciones límite.

### Comunicaciones con la infraestructura

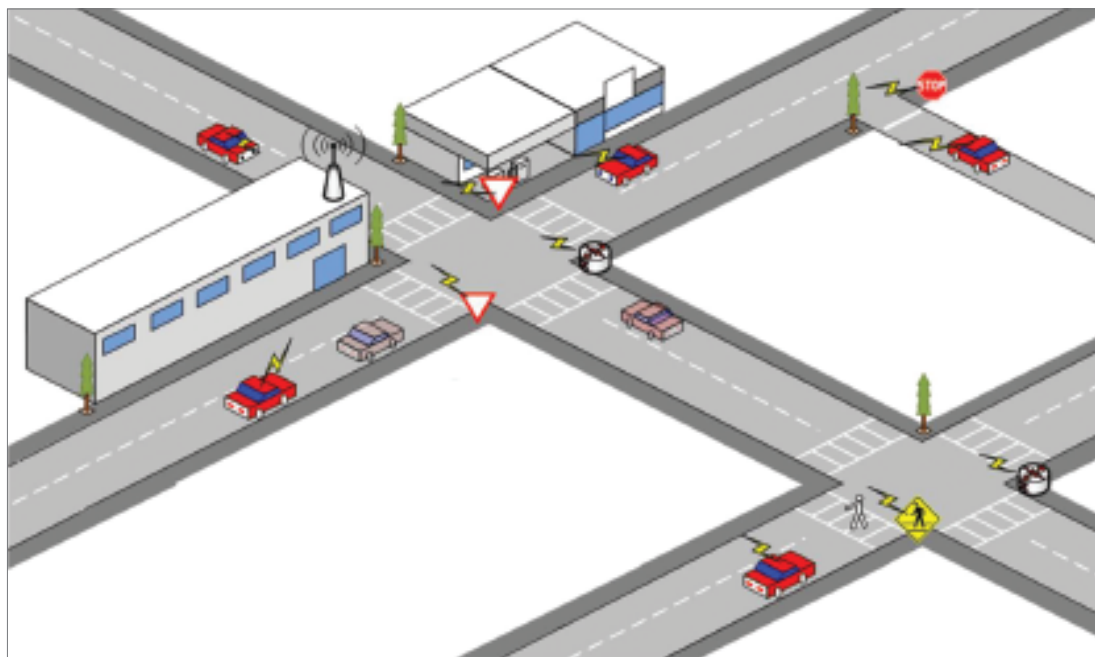
Junto a la comunicación entre vehículos que puede resultar fundamental a la hora de realizar maniobras de

una manera eficiente y segura, los vehículos también pueden obtener datos directamente de la infraestructura que los rodea. Por ejemplo, información procedente de un centro de control de tráfico que envíe datos a los coches que circulen cerca de su entorno con el objetivo de optimizar el flujo de circulación.

Por otro lado, los vehículos capaces de intercambiar información con los de su alrededor deberán convivir con vehículos que no tengan esta capacidad. Para solventar este problema, el desarrollo de una serie de sistemas instalados en la infraestructura permitiría dotar virtualmente a los coches antiguos de la capacidad de enviar su información a un centro de control que gestione sus movimientos y recoger esa información para mejorar las condiciones de circulación.

En la figura superior se muestra un ejemplo del sistema de comunicaciones con el que iría dotada la infraestructura. En este ejemplo, sistemas sensoriales colocados en la entrada de la misma podría determinar si algún vehículo está entrando en el cruce, se encuentra en él o acaba de salir del mismo pudiendo dar paso a otro vehículo. Estas tecnologías de comunicaciones podrían estar basadas en tarjetas RFID (*Radio Frequency Identification*), que son pequeños dispositivos que pueden ser adheridos o incorporados a cualquier punto de la infraestructura.





■ Sistema de comunicación integrado vehículo-vehículo-infraestructura. En la figura se muestra un ejemplo del sistema global de comunicaciones aquí planteado. En dicho sistema, tanto vehículos automáticos (en color rojo) como vehículos guiados por conductores humanos (en color gris) podrían coexistir gracias a las señales de información procedentes de la infraestructura.

6

tura. Contienen antenas para poder recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID (Borriello, 2005). Otra opción para llevar a cabo este tipo de comunicación es la utilización de la tecnología Zigbee. Zigbee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (*Wireless Personal Area Network*, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones para redes wireless que requieran comunicaciones seguras y fiables con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías (Liu and Fan, 2008).

Con cualquiera de las tecnologías citadas anteriormente podríamos conocer la información de vehículos que no puedan mandar información, gracias a la instalación de una serie de sensores en la infraestructura y un sistema central de comunicación. A través de todos estos sistemas, se podrían realizar acciones que aumenten la seguridad en las carreteras como:

- *Aviso del estado de la carretera.* Gracias a los sensores situados en la infraestructura, podemos conocer situaciones tanto climáticas como físicas del estado de la carretera, aler-

tando a los conductores de situaciones imprevistas a lo largo de su recorrido.

- *Evitar situaciones inesperadas.* Mediante el uso de tarjetas RFID, un vehículo averiado en la carretera podría colocar una tarjeta con esta tecnología sobre él. De forma inmediata, la central de control más cercana al vehículo detectaría esta anomalía y podría avisar con antelación al resto de conductores ante esta situación inesperada. De igual forma, un niño que de repente corre a cruzar un paso de peatones podría ser detectado por los sensores instalados en el paso y detener a los vehículos circundantes para evitar un posible atropello.

- *Mejora del flujo de tráfico.* Cambio de semáforos. Esta sería, con toda probabilidad, la aplicación más inmediata en zonas urbanas. Cualquier modificación que recibieran las centrales de control podrían usarse para gestionar de manera más eficiente el flujo de tráfico a través de una mejor gestión de los semáforos.

### Sistema global

El sistema final que persigue el grupo Autopia es el desarrollo de un sistema que aúne tanto la comunicación entre vehículos como de éstos con la infraestructura. La conjunción de los sistemas descritos hasta ahora podría permitir la coexistencia de

manera fiable y segura entre vehículos dotados con sistemas de comunicaciones (que podrían ser conducidos de manera automática o semi-automática) con aquellos vehículos que no cuenten con sistemas de comunicaciones.

Para lograr este objetivo, es necesario que los vehículos llamados *inteligentes* reciban información de todos los vehículos, esto es, de aquellos que son inteligentes así como de los que no lo son. La manera de lograr este objetivo es a través de un sistema central que gestione la información de los sensores instalados a lo largo de la infraestructura y reenvíen esta información a los vehículos *inteligentes* para que éstos actúen en consecuencia. Mediante este sistema, sería posible que vehículos guiados de manera automática pudieran coexistir con aquellos guiados por conductores humanos, evitando riesgos de accidentes.

La inclusión de este sistema central de comunicación permitiría gestionar toda la información de una manera más óptima, encargándose dicho sistema de establecer las comunicaciones entre los vehículos guiados automáticamente, esto es, se encargaría de decirle a cada vehículo en cada instante con qué otro vehículo debe tener abierto un canal de comunicación, optimizando el flujo de información que circula por la red.

## Referencias

- Borriello, Gaetano (2005). *RFID: tagging the world*. Vol. 48. Communications of the ACM.
- DGT (2009). *Balance de seguridad vial 2008*. Technical report. Ministerio del Interior.
- Enrique Onieva, Vicente Milanés, Javier Alonso, Joshué Pérez, Teresa de Pedro (2008). *Ajuste genético de controladores difusos para conducción autónoma*. In: XIV Congreso español sobre tecnologías y lógica fuzzy.
- Javier Alonso, Javier Jiménez, Jose Naranjo, Jose Suárez B. Vinagre (2007). *Cooperative maneuver study between autonomous cars: Overtaking*. In: Eurocast. pp. 1151-1158.
- Joshué Pérez, Carlos González, Vicente Milanés, Enrique Onieva, Jorge Godoy, Teresa de Pedro (2009). *Modularity, adaptability and evolution in the autopia architecture for control of autonomous vehicles*. In: Proc. IEEE International Conference on Mechatronics ICM 2009. pp. 1-5.
- Joshué Pérez, Enrique Onieva, Teresa de Pedro, Ricardo García, Javier Alonso, Vicente Milanés, Carlos González (2008). *Comunicación entre vehículos autónomos en tiempo real, para maniobras de alto riesgo*. In: XXIX Jornadas de Automática.
- Liu, Chung-Hsin and Chih-Chieh Fan (2008). *Zigbee-research into integrated real-time located systems*. In: Proc. IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference APSCC '08. pp. 942-947.
- Vicente Milanés, Enrique Onieva, Teresa de Pedro, Ricardo García, Javier Alonso, Joshué Pérez, Carlos González (2008). *Conducción autónoma en circuito de difícil maniobrabilidad*. In: XXIX Jornadas de Automática.

Por otro lado, el sistema de comunicaciones instalado en la infraestructura posibilitaría detectar cualquier tipo de incidencia que ocurriera en la carretera, como por ejemplo señales de tráfico (límites de velocidad, zonas escolares, cedas al paso, pasos de peatones, etc.), averías de otros vehículos o zonas en obras. Conociendo con la suficiente antelación esta información, se podrían tomar decisiones preventivas en el tráfico circulatorio.

En la actualidad, el grupo Autopia se encuentra realizando las primeras pruebas experimentales con la combinación de estos sistemas con las que se espera obtener los resultados aquí planteados.

### Discusión

El desarrollo del sistema aquí presentado se puede afrontar desde distintos puntos de vista. Es claro que un sistema de comunicación de estas características está supeditado a

una comunicación en tiempo real de gran eficiencia y con escasa pérdida de paquetes. En este sentido, una de las primeras investigaciones de este grupo de trabajo se centró en encontrar la manera óptima de establecer comunicaciones en función del tiempo de retardo y la pérdida de paquetes (Joshué Pérez, 2008). Por otro lado, el escepticismo por parte de los fabricantes de vehículos a incluir sistemas que gobiernen los vehículos prescindiendo de los conductores conlleva que la implantación de este tipo de sistemas en el mercado se haga de una manera lenta y escalonada que ralentiza la aceptación por parte de los usuarios de estas tecnologías.

Además, el vertiginoso desarrollo de las tecnologías de las comunicaciones en los últimos años provoca que salgan nuevos estándares de comunicación más potentes y con una mayor capacidad para abordar este tipo de problemas. La necesidad de

un sistema fiable en tiempo real condiciona enormemente la implantación a nivel comercial de este sistema. En cualquier caso, las posibilidades potenciales de este sistema son ilimitadas. Desde la posibilidad de incluir información en las comunicaciones sobre el tipo de vehículo que está circulando para dar máxima prioridad a ambulancias y coches de policía hasta la evitación completa de accidentes en las carreteras españolas.

Los desarrolladores de este sistema se muestran convencidos de que el sistema aquí planteado o uno similar no se verá implementado hasta dentro de varios años. Sin embargo, defienden que las redes de comunicaciones vehículo-vehículo serán implementadas en un corto periodo de tiempo gracias al esfuerzo de diversas entidades, por ejemplo, del consorcio Car2Car, una organización europea que reúne tanto a fabricantes de coches como a empresas líderes en el sector de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a los proyectos: Transito (Coordinación Local entre Vehículos e Infraestructuras), TRA 2008-06602-C03-01; ENn-vite (Comunicación entre Vehículos e Infraestructuras de Transporte por Carretera incluyendo GNSS en Zonas Críticas), MFOM T7/2006; y Marta (Movilidad y Automoción con Redes de Transporte Avanzadas).

**Vicente Milanés, Javier Alonso, Enrique Onieva, Joshué Pérez, Carlos González, Teresa de Pedro, Ricardo García**

*Instituto de Automática Industrial, CSIC  
{vmilanes, jalonso, onieva, jperez, gonzalez, tere, ricardo}@iai.csic.es*