

APLICACIONES DE LA TELEMÁTICA AL TRANSPORTE POR CARRETERA

Por VÍCTOR SÁNCHEZ BLANCO

Introducción

En todo el mundo occidental, el transporte por carretera experimentó una fuerte expansión a partir de la Segunda Guerra Mundial. Esta expansión fue debida sobre todo al crecimiento del parque de coches privados, pero también los transportes públicos por carretera registraron un aumento de su actividad en detrimento de otros modos como el ferrocarril. El rápido crecimiento del transporte por carretera produjo ya a partir del año 1950, serios problemas por falta de capacidad en las infraestructuras existentes, que obligaron a la realización de grandes inversiones en las redes de carreteras para hacer frente a una demanda creciente.

La mejora de las infraestructuras produjo a su vez una mayor atracción hacia la carretera, y con ello un nuevo incremento en la demanda, por lo que seguía existiendo una falta de adecuación entre la oferta y la demanda en la red de carreteras.

Los principales problemas que planteó el crecimiento del transporte por carretera fueron:

- La congestión de la circulación, especialmente en áreas urbanas, en las que las posibilidades de aumentar la capacidad de las redes son siempre reducidas y muy costosas, y donde se producen fuertes concentraciones de la demanda.

- Los accidentes de tráfico cuyo número se incrementó al crecer el volumen de circulación, mientras su gravedad aumentó como consecuencia de la mayor velocidad de los vehículos.
- La disminución de la demanda en otros modos, como los transportes públicos urbanos o el ferrocarril, lo que ha dado lugar a que en estos modos exista un exceso de capacidad, mientras que en la carretera se registran problemas de congestión.
- Los efectos sobre el medio ambiente, tanto en áreas urbanas como en zonas rurales, que generalmente no pueden reducirse con actuaciones sobre las infraestructuras.

La dificultad de resolver estos problemas con nuevas inversiones en infraestructuras, que a veces parecían agravar los problemas, más que resolverlos, hizo que ya a partir del año 1960, se buscara la solución a estos problemas mediante la aplicación de medidas de regulación del tráfico y de control de la circulación, que permitieran aumentar la capacidad y mejorar la seguridad de las redes de carreteras existentes, evitando las inversiones en nuevas carreteras. Para ello, se trató de aprovechar los avances que en aquellos años experimentó la técnica en la electrónica y las telecomunicaciones. Así hacia el año 1970 se fueron desarrollando nuevos sistemas de control y regulación, de los que, entre otros, pueden citarse:

- Sistemas de control de tráfico urbano. Los reguladores electrónicos desplazaron a los electromecánicos en el control de semáforos, lo que permitió el empleo de estrategias de control más eficaces. Desde el año 1970, la utilización de los ordenadores permitió el desarrollo de sistemas de control centralizado del tráfico en grandes ciudades.
- Sistemas para detección de incidentes en autopistas. Se desarrollaron sistemas que permitían señalar de antemano la presencia de situaciones anómalas de circulación, como congestiones, accidentes, aparición de niebla o hielo, etc. enviando la información a un centro de control, en el que se tomaban las medidas necesarias que se comunicaban a los conductores mediante señales con mensajes variables.
- Sistemas de control de marcha de autobuses en áreas urbanas que, cuando las condiciones del tráfico causaban el empeoramiento de las frecuencias, permitían a los encargados de la explotación tomar medidas para mantener la calidad del servicio.

Además, también a partir del año 1960, se iniciaron un conjunto de investigaciones teóricas que buscaban la optimización del uso de las infraestructuras. Algunas de ellas se materializaron en métodos y programas que se utilizaron en los sistemas de control de tráfico que se mencionan ante-

riormente. Otras líneas de investigación, en cambio, se mantuvieron en el ámbito de la teoría, bien porque las tecnologías disponibles no permitían resolver las dificultades encontradas, bien porque su aplicación presentaba problemas de tipo político que la hacían inviable. Por ejemplo, se estudió (incluso se hicieron algunos experimentos) la carretera automática, en la que el conductor se limitaría a una labor de vigilancia, ya que serían equipos instalados en los vehículos y en la carretera los que modificarían la velocidad, dirección y posición del vehículo, teniendo en cuenta la situación de otros vehículos y las características de la vía.

Otro tema estudiado desde hace tiempo ha sido el de la tarificación por el uso de las infraestructuras, mediante la cual se busca optimizar la utilización de las redes, haciendo que los conductores tengan que hacer frente al coste marginal de su viaje. Como en vías con tráfico intenso, el coste marginal es superior al coste medio, sería necesario cargar a los vehículos que circulen por ellas, una tasa suplementaria. Esto podría hacerse colocando unos contadores en los vehículos que se activaran al entrar en vías congestionadas. Evidentemente, la falta de aceptación de estas medidas por los conductores resultaba un impedimento mucho más serio que las dificultades técnicas.

Hay que tener en cuenta que la gran ventaja del transporte por carretera para sus usuarios, es la discrecionalidad en la elección del viaje: origen, destino, momento, ruta, velocidad, etc. El problema que plantean todas las medidas de control de la circulación, es el de compatibilizar esa discrecionalidad de los usuarios con la necesidad de introducir algunas limitaciones para aumentar la eficacia del sistema total.

A partir del año 1980, se hizo evidente que los nuevos microprocesadores, y los desarrollos en las telecomunicaciones ponían la resolución de los problemas técnicos al alcance de la mano y en un plazo no muy largo. Pero también era patente que el desarrollo de aplicaciones de estas técnicas en el transporte por carretera debía evitar algunas dificultades que se habían presentado en el desarrollo de los sistemas creados en los años sesenta y setenta, así como en otros campos de aplicación.

Muchos de los sistemas anteriores se habían diseñado «a la medida», lo que daba lugar a problemas de incompatibilidad entre sistemas. Por ejemplo, un sistema de control del tráfico urbano, no podía intercambiar información con otro que controlaba una autopista de acceso a la ciudad. La ampliación o mejora de un sistema de control exigía muchas veces la construcción de uno nuevo, porque los aparatos antiguos eran incompati-

bles con los más modernos. Como se pretendía considerar el sistema de transporte por carretera como el sistema único que es en realidad, se hacía evidente la necesidad de conseguir una normalización de todos los elementos de control y regulación, que asegurara la compatibilidad entre todos ellos.

Había que tener en cuenta la necesidad de coordinar el desarrollo de los equipos a colocar sobre los vehículos con el de los equipos propios de la infraestructura viaria. Por otra parte, resultaba imprescindible que al mismo tiempo que se estudiaban y resolvían los problemas técnicos, se abordaran y resolvieran todos los problemas de tipo político, económico, administrativo, etc., por que de otra forma los desarrollos técnicos resultarían inaplicables. Por consiguiente la aplicación de los avances de la informática y las telecomunicaciones, requería la planificación de un conjunto de trabajos de Investigación y Desarrollo (I+D), en la que intervinieran todas las entidades interesadas: administraciones, fabricantes de equipo, centros de investigación, etc.

Los Programas de I+D en la telemática aplicada a la carretera

La necesidad de conseguir una coordinación en los Programas de I+D en el campo de la telemática aplicada al transporte por carretera, fue aún más apremiante en el caso de la Unión Europea (UE), puesto que a las razones señaladas anteriormente se unían la política del mercado único y el deseo de conseguir una red europea de grandes ejes viarios que presentaran a los usuarios unas características uniformes en todo el territorio de la Unión. Por ello no es de extrañar que desde el año 1984 la UE impulsara una serie de Programas de I+D de tecnologías avanzadas en el transporte por carretera. Los primeros programas se encuadraron dentro de la Agencia Europea para la Coordinación de la Investigación (EUREKA) dentro del II Programa-Marco.

Entre los Programas iniciados en ese marco se pueden destacar el Programa para un Sistema Europeo de Tráfico con Mayor Eficiencia y Seguridad (PROMETHEUS) que está enfocado hacia los vehículos, y CARMINAT que trata de desarrollar sistemas de información dentro de los vehículos. Los trabajos dedicados al desarrollo de sistemas en las infraestructuras se agruparon en un Programa de la propia UE que se denominó Infraestructura de Carreteras. Dedicada a la Mejora de la Seguridad de los Vehículos en Europa (DRIVE), y que se puso en marcha en el año 1988, con un plazo inicial de tres años, en el que se desarrollaron más de 70 proyectos.

En el año 1992, dentro del III Programa-Marco, se inició un nuevo Programa de I+D de la UE, el Programa Sistemas Telemáticos de Interés General (STIG), que estaba orientado al desarrollo y difusión de aplicaciones de la informática y las telecomunicaciones en distintos campos como administración pública, sanidad, enseñanza, áreas rurales y transporte. Dentro del área del transporte en el Programa STIG (que recibía la tercera parte del presupuesto total de Programa), se incluían todos los temas que anteriormente se habían incluido en el Programa DRIVE. Por tanto a partir del año 1993, el Programa DRIVE se continuó en los III y IV Programas-Marco en el área Telemática Avanzada para los Transportes (ATT), dentro del Programa STIG.

Los objetivos iniciales de programa era muy amplios:

- Mejorar la seguridad vial.
- Maximizar la eficiencia del transporte por carretera.
- Mejorar el medio ambiente con la aplicación de la tecnología más avanzada de la telemática.

Como objetivos más específicos en los últimos programas se indican, entre otros:

- Preparar resultados que ayuden a los decisores en la administración y las empresas.
- Establecer especificaciones y normas comunes.
- Promover entre los usuarios la confianza en la nueva tecnología.
- Ayudar al desarrollo de procedimientos administrativos, legales y financieros que permitan la adopción de la nueva tecnología.
- Asegurar la operación conjunta de diferentes equipos, y desarrollar la intercomunicación entre los diversos modos de transporte.
- Promover la transferencia de resultados.

Actualmente, se potencian especialmente los proyectos piloto, basados en los resultados obtenidos en anteriores fases del programa, además de continuar estudiando las tecnologías nuevas que puedan ser de aplicación en el transporte.

Programas similares existen en Japón y Estados Unidos. En Japón, donde los problemas de congestión son particularmente agudos, se iniciaron en el año 1984 los primeros ensayos para el desarrollo de sistemas de información y comunicación vehículo-carretera, y en el año 1991 se inició el Sistema VICS, que utiliza diversas técnicas como las de ubicación de vehículos, los mapas digitales y distintos sistemas de telecomunicación como emisiones de frecuencia modulada o radiobalizas.

En Estados Unidos se creó en el año 1990 Sistemas Inteligentes Vehículo-Carretera en América (IVHS) organización en la que participan administraciones públicas y organismos privados y que dirige y apoya proyectos de aplicación de la informática y las comunicaciones al control del tráfico por carretera. Además otros organismos públicos y privados desarrollan sus propios proyectos de investigación en este campo.

Los objetivos de la telemática aplicada a las carreteras

Como se ha mencionado anteriormente, las principales finalidades de los actuales proyectos de aplicación de la telemática al transporte por carretera son la mejora de la seguridad vial, la eliminación de congestiones y el aumento de la eficacia del sistema.

Para eliminar la congestión se trata de mejorar los métodos de regulación y control de la circulación haciéndolos dinámicos, de forma que respondan inmediatamente a los cambios que ocurran en el tráfico. Para ello es necesario que los encargados del control dispongan de una información permanentemente actualizada del estado de la carretera. Esta información hay que obtenerla directamente en la red viaria y transmitirla al centro de control. Este debe contar con los medios necesarios para procesarla, realizar previsiones sobre la evolución más probable de la situación, y seleccionar las medidas que permitan optimizar el funcionamiento del tráfico. Estas medidas deben darse a conocer a los conductores y vigilar su cumplimiento.

Este procedimiento, que sería una mejora de los que se emplean actualmente en zonas urbanas, supone que la demanda es un dato fijo sobre el que no se puede actuar. Pero sería posible modificar las decisiones de los conductores suministrándoles información sobre el estado de la circulación, y señalándoles las mejores alternativas para realizar el viaje. Esta información podría prepararse en el centro de control con los datos recibidos, y se haría llegar a los usuarios por un método de difusión fácilmente accesible.

Hoy día parece posible desarrollar sistemas de este tipo a corto plazo. La posibilidad de actuar sobre la demanda sería mucho mayor si pudiera imponerse una tasa de circulación que sería más elevada en las vías congestionadas, lo que actualmente parece factible técnicamente, pero los usuarios solo lo aceptan en condiciones especiales. A más largo plazo, se podría conseguir aumentar la capacidad de la red, si se llegase

a la conducción automática de los vehículos, sin intervención de los conductores.

La seguridad de la circulación mejora con el aumento de información que reciba anticipadamente el conductor sobre las condiciones de la carretera y la circulación. Por ello, el suministro de información sobre incidentes y congestiones, no sólo reducirá el efecto de la congestión, sino que mejorara la seguridad. Un buen número de accidentes se podrían evitar si el conductor recibiera un aviso sobre su posición o velocidad (espacio intravehicular, proximidad al borde de la calzada, etc.). Esto podría remediarse con sistemas en los vehículos que detectaran su posición relativa a la carretera y al resto de los vehículos, incluso en condiciones adversas por falta de visibilidad, e informaran al conductor si la situación fuera comprometida. Incluso podría llegarse a una maniobra automática sin intervención del conductor en una situación peligrosa.

Al disminuir el efecto de la congestión, se consigue también reducir los efectos perjudiciales de la circulación sobre el ambiente, especialmente si entre las informaciones que recibe el centro de control se incluyen también datos sobre la contaminación o el ruido. Estos datos intervendrían en la selección de las medidas de regulación y en la generación de alternativas recomendadas a los usuarios.

La disminución de congestiones y la mejora de la seguridad producirá un aumento de la eficacia del sistema. Esta eficacia puede aumentar más si se optimizan los sistemas de explotación de los transportes públicos, tanto de mercancías como de viajeros. En el transporte de mercancías, los empresarios necesitan conocer continuamente la posición de los vehículos para poder gestionar las flotas. Los conductores necesitan medios de comunicación rápida, tanto con los empresarios como otros organismos (autoridades de transporte, aduanas, etc.), para facilitar toda la labor administrativa.

Para conocer en todo momento el estado del vehículo y la carga, se precisa que el vehículo vaya dotado de elementos de medida que registren y archiven esta información para su uso por el conductor, la empresa, y las autoridades encargadas de la vigilancia del tráfico y el transporte. En el caso del transporte de viajeros, especialmente en zonas urbanas, junto a necesidades similares al transporte de mercancías, hay que tener en cuenta la necesidad de coordinar el funcionamiento del transporte público con la circulación en la red viaria, de modo que pueda ser una alternativa a ofrecer a los usuarios para disminuir la demanda de circulación de vehículos privados.

Los campos de aplicación de la telemática al transporte por carretera

Los actuales programas de aplicación de la telemática al transporte por carretera, tanto en vías de realización como en proyectos de investigación, pueden agruparse en cuatro grandes campos de aplicación:

- Sistemas de gestión de la circulación vial y de la demanda de tráfico.
- Sistemas de información al usuario durante el viaje o antes de comenzarlo.
- Sistemas de explotación de flotas de vehículos de transporte de viajeros y mercancías.
- Sistemas de ayuda al conductor en el control del vehículo.

Esta agrupación no puede hacer olvidar que existen muchos proyectos que afectan a los cuatro grupos mencionados, entre los que evidentemente existen múltiples relaciones. De forma aproximada, puede decirse que el grado actual de desarrollo de los proyectos coincide con el orden en que se han relacionado los grupos: existen sistemas del primer grupo en funcionamiento, mientras que los del último grupo son aún objeto de investigación.

Sistemas de gestión de circulación

Actualmente, casi todas las grandes ciudades tienen un sistema de control centralizado de tráfico, más o menos sofisticado, y en grandes áreas metropolitanas es frecuente la utilización de sistemas de control en las autopistas de acceso al área. Los proyectos actualmente en desarrollo tratan de mejorar el funcionamiento de estos sistemas, haciéndolos más sensibles a las modificaciones de la demanda y más rápidos y seguros en su respuesta, y consiguiendo una mayor coordinación con otros sistemas como el transporte público o los aparcamientos urbanos.

La estructura de los sistemas futuros de gestión será similar a la de los actuales, que puede resumirse como sigue:

- Unos detectores que obtienen información sobre las características de la circulación.
- Un centro de control que procesa la información recogida por los detectores y elabora un programa de medidas a aplicar.
- Un sistema de comunicación a los conductores tales como los semáforos o las señales con mensajes variables.

— Un sistema de transmisión de información de los detectores al centro de control y de éste a las señales y semáforos.

Los desarrollos tecnológicos hacen posible pensar en objetivos mucho más ambiciosos que los desarrollados a mediados de los años ochenta. Los sistemas futuros serán dinámicos, trabajando en tiempo real y anticipando el desarrollo de las situaciones, para lo que necesitarán detectar los incidentes de tráfico desde su origen, y no cuando ya hayan dado lugar a una congestión. El sistema deberá ocuparse de toda la red de un área amplia, y deberá estar coordinado con los sistemas que controlan redes colindantes. Las medidas que haya de tomar el sistema no pueden limitarse a las referentes a la circulación, sino que tienen que ampliarse incluyendo, por ejemplo, la apertura o cierre de carriles especiales para vehículos de alta ocupación, o el reforzamiento de los servicios de transporte público. En un futuro más lejano, (aunque ya ha habido más de un ensayo), estas medidas se complementarían con la introducción de una tasa por uso de las infraestructuras, que aumentaría en las vías congestionadas.

Será necesario aumentar el volumen de información recogido por los detectores, lo que obligará a desarrollar nuevos tipos de detectores. Los detectores actuales que registran pasos de vehículos, de los que se deduce la intensidad y velocidad del tráfico, se pueden complementar con sistemas de vídeo que mediante el análisis de las imágenes pueden deducir no sólo intensidades y velocidades, sino también el tipo y otras características del vehículo. Ya existen sistemas que permiten la lectura de las matrículas de los vehículos, con bastante precisión, lo que permite una completa identificación de los vehículos. Con este tipo de información se puede llegar a conocer no sólo el número de vehículos que circulan por cada tramo de una red, sino también estimar sus orígenes y destinos. La completa identificación de los vehículos es necesaria si se quiere aplicar una tasa o peaje, sin necesidad de detenerlos. Mediante el análisis por ordenador de las imágenes obtenidas por cámaras de vídeo, se puede detectar incidentes como vehículos detenidos en la calzada o el arcén.

La necesidad de mantener el medio ambiente hace necesario que se instalen detectores que midan la contaminación atmosférica o el nivel de ruido, y la información recogida se envíe al centro de control. Complementado la información recogida por los detectores fijos, se utilizará la obtenida mediante vehículos dotados de sistemas de medida de distintas variables, que transmitirán la información recogida al centro de control.

La tecnología necesaria para desarrollar todos estos detectores existe ya, o está ya a punto de lograrse. Tampoco existe ningún problema para la transmisión de la información recogida al centro de control, puesto que los sistemas de transmisión actuales tienen capacidad suficiente, y a muy corto plazo esa capacidad aumentará sustancialmente. Los problemas se presentarán al procesar todo el volumen de información recogida en el breve plazo que será necesario para poder hacer funcionar el sistema en tiempo real.

Los modelos y programas empleados en las instalaciones actuales de control de tráfico no serían suficientes para procesar la información necesaria y optimizar de forma dinámica el funcionamiento del sistema. Por ello se están desarrollando nuevos sistemas de previsión de tráfico para poder anticipar el estado de la circulación. Estos sistemas se basan en modelos de simulación del tráfico, que tienen que ser más complejos que los utilizados hasta la fecha. Los modelos actuales simulan la evolución de la circulación a partir de las características actuales de la misma, pero sin tener en cuenta posibles modificaciones en el comportamiento de los conductores, que pueden modificar su ruta, por lo que se están desarrollando modelos de asignación dinámica del tráfico a la red, para tener en cuenta estos efectos.

Una vez realizado el análisis de la situación, es necesario adoptar una serie de medidas para controlarlas. Mientras el posible número de medidas era pequeño (cambiar o mantener las luces de los semáforos, por ejemplo) el proceso de decisión era relativamente sencillo. Pero en los futuros sistemas, habrá que elegir entre varios tipos de medidas muy diversas (apertura de carriles para vehículos de alta ocupación, cierre de accesos, aumento de transporte público, etc.), persiguiendo además múltiples objetivos (aumento de la velocidad de circulación, disminución de la contaminación, descenso del volumen de tráfico en ciertas zonas, etc.), por lo que el proceso de decisión será muy complicado, y sin embargo, hay que adoptar las decisiones en un plazo breve. Por ello se están desarrollando sistemas expertos, utilizando los métodos de la inteligencia artificial para la toma de decisiones, como el Sistema TRYS desarrollado en España, que la Dirección General de Tráfico está ensayando en Madrid.

Parte de las medidas adoptadas se comunicarán a los conductores mediante las señales de mensaje variable, que se emplean actualmente, y que están siendo objeto de continuos perfeccionamientos. Pero a no muy largo plazo, el desarrollo de los sistemas de información al conductor, que

se comentarán más adelante, permitirá comunicarse de manera más directa con el conductor, en su propio vehículo, por sistemas de audio o vídeo. Será necesario estudiar cual es la forma más efectiva de comunicación y cual es la respuesta del conductor a las órdenes y consejos recibidos.

Los sistemas de control de la circulación estarán coordinados con los de emergencia, de forma que en caso de accidente se dé aviso automáticamente a los servicios de ambulancias, bomberos, etc., y al mismo tiempo se les facilite el paso. Igualmente el sistema suministrará información a la policía detectando infracciones e incluso identificando al infractor.

Sistemas de información a los usuarios

Estos sistemas formarán parte, de una forma u otra, de la mayor parte de las aplicaciones de la telemática al transporte por carretera. Su objetivo será el de suministrar información al usuario del transporte por carretera, tanto en su domicilio antes de iniciar el viaje, como en el propio vehículo durante el viaje. Son los sistemas de información en el vehículo, los que tienen un mayor interés.

Los sistemas que actualmente se están desarrollando tratan de suministrar al conductor información sobre el estado de la carretera y sobre las condiciones de la circulación. Asimismo se trata de poder dar al conductor recomendaciones sobre la ruta a seguir, indicándole las alternativas más seguras para llegar a su destino y sobre la velocidad más adecuada. El sistema podrá funcionar como una especie de «páginas amarillas» donde el conductor pueda encontrar información sobre la situación de las estaciones de servicio o los restaurantes más próximos, sobre los estacionamientos más próximos a su destino, sobre el coste de los peajes de diferentes itinerarios, etc.

Para que el sistema funcione es necesario establecer un canal de comunicación de doble sentido entre el vehículo y el centro de información por el que el conductor pueda pedir y recibir la información necesaria. El centro de información tendrá unas bases de datos con la información necesaria. El mantenimiento de estas bases de datos con información constantemente actualizada se conseguirá procesando la información sobre la circulación que se reciba en los centros de gestión del tráfico, con los que los sistemas de información estarán muy relacionados. Se están desarrollando programas para el tratamiento de la información recibida y para la preparación de los mensajes a enviar a los conductores. Estos mensajes

tendrán que tener en cuenta las necesidades de los demandantes de la información, ya que estos pueden ser muy diversos: conductores de coches, conductores de vehículos de transporte de mercancías, usuarios en su domicilio, etc. Por ello los programas de elaboración de mensajes tienen que ser muy flexibles para adaptarse a las características de la demanda.

Existen varias soluciones para el sistema de comunicación entre los vehículos y los centros de información. El principal problema actualmente es el de escoger el sistema más adecuado y desarrollar una normalización, que impida la utilización de múltiples sistemas incompatibles entre sí. Los Programas de I+D de la UE tratan de conseguir la compatibilidad en toda Europa. Los sistemas que se están ensayando incluyen: Sistemas de datos por radio (RDS-TMC) enviando información codificada sobre la circulación utilizando las ondas de frecuencia modulada; la telefonía celular utilizando la capacidad de los sistemas de telefonía móvil; la utilización de balizas emisoras junto a la calzada que transmiten en infrarrojos o microondas; etc.

Quizá los mayores problemas a resolver sean los referentes a la presentación de la información al conductor. Esta información puede presentarse al conductor como mensajes en audio o vídeo. Los mensajes acústicos son poco adecuados para transmitir informaciones detalladas sobre rutas, o la situación de determinados puntos, además de las dificultades idiomáticas tan importantes en Europa. La presentación visual de la información permite un mayor detalle y puede ser más fácilmente comprensible, por ejemplo: utilizando mapas digitales que indiquen la ruta a seguir y las condiciones de tráfico; mediante el empleo de flechas direccionales para orientar al conductor en las intersecciones; repitiendo las señales de tráfico que afecten al tramo que se recorre y que el conductor puede haber olvidado, etc. Pero es necesario presentar esta información de forma que el conductor pueda recibirla sin dejar de percibir la calzada. Una posible solución será la proyección de las imágenes sobre la parte superior del parabrisas.

Los sistemas de información al conductor se potenciarán con la utilización de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) en los vehículos, que permitirán dar a conocer al centro de información la posición exacta del vehículo, con lo que podrá dirigir a un vehículo extraviado hacia la ruta deseada.

Para desarrollar estos sistemas será necesario conocer mejor cuales son las necesidades de información de los usuarios, que pueden ser muy distintas según los casos. Por ejemplo, en un viaje de casa al trabajo, el conductor conoce perfectamente las rutas, pero necesita saber el estado de la circulación, o las posibilidades de encontrar aparcamiento, mientras que en un viaje turístico necesitará información sobre la situación de hoteles o estaciones de servicio. Será necesario además conocer la respuesta de los conductores a la información suministrada, especialmente cuando se le den recomendaciones sobre la ruta a seguir o la velocidad que debe llevar.

Tan importantes como los aspectos técnicos serán los aspectos de organización, financieros o de difusión de los servicios. Será necesario coordinar a distintas instituciones para mantener actualizada la información, ya que si los usuarios no confiaran en la información suministrada el sistema perdería su razón de ser.

Sistemas de explotación de vehículos de transporte

Para mejorar la explotación de los servicios de transporte, las empresas necesitan conocer la situación de los vehículos de su flota con la mayor precisión posible. Para ello se han desarrollado sistemas que permiten la comunicación entre el vehículo y el centro de control de la empresa. Estos sistemas que hasta ahora han sido relativamente sencillos, en el futuro se encargarán de realizar un mayor número de funciones, tales como la preparación y transmisión de documentos administrativos, liberando al conductor del «papeleo», o el control del estado del vehículo y la carga.

Cada vehículo iría dotado de un «ordenador a bordo» entre cuyas funciones estarían las siguientes:

- Determinación continua de la situación del vehículo.
- Programación de rutas y horarios, corrigiéndolos de acuerdo con las condiciones de la circulación.
- Control del funcionamiento del vehículo, del estado de la carga y del estado del conductor.
- Aviso al conductor de anomalías detectadas en el vehículo o en la carga.
- Suministro de información al conductor sobre el estado de la carretera y de la circulación, ruta a seguir, etc.
- Comunicación bidireccional con el centro de explotación enviándole información sobre el viaje, y recibiendo órdenes para modificar la ruta o preparar un nuevo viaje.

- Preparación de la documentación que se precise en pasos fronterizos, estaciones multimodales, destino de la carga, etc.
- Preparación de informes de control que permitan a la policía de tráfico comprobar el cumplimiento de la reglamentación de tráfico y transporte.
- Petición de auxilio en caso de avería o accidente, dando información sobre medidas a adoptar en caso de transporte de mercancías peligrosas.

Actualmente ya existen los sistemas necesarios para controlar el funcionamiento del vehículo y el estado de la carga. Lo que se trata es de integrar la información recogida por diferentes sensores y aparatos de medida, de forma que se obtenga un diagnóstico de la situación y se puedan detectar posibles averías antes de que se produzcan. Será conveniente añadir algún medio para detectar cambios en la atención y capacidad de reacción del conductor para señalar la aparición de situaciones de fatiga o somnolencia. En los vehículos articulados se pueden instalar detectores que adviertan de movimientos peligrosos en el semirremolque para evitar accidentes por pérdida de control. La presentación de la información al conductor plantea los mismos problemas que se vieron en el apartado anterior, agravados porque el volumen de información a manejar es mayor.

El vehículo tiene que tener capacidad de comunicación con centros de información de tráfico para pedir y recibir el mismo tipo de información que otros vehículos como se vio en el apartado anterior. Además tiene que comunicarse con el centro de explotación de su empresa, y con el expedidor y destinatario de la carga transportada, que precisarán conocer la situación del envío. Para facilitar el paso de las mercancías por aduanas, puertos, etc., será necesario enviar los documentos de porte y otra información empleando sistemas de Intercambio Electrónico de Datos.(EDI), agilizando todos los trámites burocráticos. Para ello es necesario un esfuerzo de normalización tanto de la documentación como de su codificación y transmisión. Igualmente el paso de los vehículos por aduanas, peajes de autopistas y otros puntos de control se agiliza mediante sistemas de identificación automática sin detener al vehículo.

Sistemas similares se emplearían en los transportes de viajeros por carretera, pero las características de estos servicios hacen necesario emplear algunos sistemas especiales, especialmente en servicios urbanos o suburbanos. Actualmente existen sistemas que permiten el control de los autobuses desde un centro de control, en el que se conoce constantemente la

posición de los autobuses. Esto permite una mejor gestión de la explotación. Actualmente se desarrollan métodos y programas para gestión de la explotación que utilizan cada vez un mayor volumen de información, que la telemática permite conseguir.

En los autobuses, el cobro del billete supone un inconveniente que suele dar lugar a dificultades en el embarque de los pasajeros. Aunque la operación se ha ido automatizando en los últimos tiempos, muchas veces ha obligado a emplear sistemas tarifarios poco flexibles. Se están desarrollando sistemas que permiten el empleo de sistemas más flexibles, y además coordinados con los de otros modos de transporte o de estacionamientos. Estos sistemas permiten además obtener información sobre los orígenes y destinos de los viajes realizados, que puede ser utilizada para la planificación de los servicios.

En los transportes de viajeros un aspecto muy importante es el de la información al viajero, tanto en el propio vehículo como en las paradas y estaciones. La información en el vehículo incluye la situación actual del vehículo y las horas de llegada previstas a próximas paradas, las combinaciones con otros servicios, etc. En las paradas el viajero necesita conocer la hora prevista de llegada de los próximos autobuses y sus itinerarios, para decidir el autobús que más le conviene. Esta información se obtiene en el centro de control, al conocer en todo momento la situación de los autobuses, y se están ensayando medios para dársela a conocer a los usuarios de la mejor manera.

Los servicios regulares de autobuses no satisfacen plenamente las necesidades de algunos usuarios: zonas de baja densidad de población, personas con discapacidades, etc. Para satisfacerlas se han utilizado sistemas de autobuses a la demanda, en los que los autobuses (generalmente de tamaño pequeño) eligen su itinerario y horario en función de las peticiones que se reciben. Los ensayos realizados hasta la fecha se han hecho con sistemas pequeños, debido a las dificultades que suponía el empleo de proyectos con gran número de usuarios. Pero los avances de la telemática hacen posible el desarrollo de sistemas más complicados lo que permitirá la generalización de este tipo de servicios.

Ayudas para la conducción de los vehículos

La mayor parte de los accidentes se deben a errores cometidos en el proceso de conducción, por ejemplo al estimar equivocadamente la velocidad y la distancia de otro vehículo. Por ello es razonable pensar que si hubiera

un sistema que advirtiera al conductor sobre un posible riesgo (por ejemplo, la colisión con otro vehículo) a tiempo para evitarlo, se reduciría apreciablemente el número de accidentes. Además, al estar más protegidos contra los accidentes, los conductores podrían emplear mayores velocidades, o menores separaciones, aumentando la capacidad de las carreteras. En el límite se llegaría a la conducción automática, en la que el conductor se limitaría a vigilar el funcionamiento del sistema. Aunque el total desarrollo de estos sistemas no se producirá a corto plazo, existen diversos programas de investigación en marcha, y se conseguirán resultados que se irán introduciendo en futuros vehículos.

El sistema funcionaría como una especie de «copiloto» que iría registrando las maniobras del conductor, la posición de otros vehículos y de los márgenes de la carretera y realizando previsiones de la trayectoria del vehículo, y avisando al conductor cuando esa trayectoria resulte peligrosa, indicándole incluso la maniobra más conveniente. En condiciones de mala visibilidad, los medios de detección de obstáculos aumentarían el campo visual del conductor. Si la trayectoria del vehículo resultara muy peligrosa, el propio sistema podría aplicar medidas correctoras, y accionar medidas de protección como *airbags*.

En la carretera automática, se formarían grupos de vehículos que circularían juntos a elevada velocidad con pequeñas separaciones entre ellos y prácticamente sin intervención de los conductores. Esta podría ser una solución a utilizar en cortos tramos congestionados, para aumentar su capacidad sin necesidad de ampliar la infraestructura. Pero resulta difícil saber cual sería la aceptación de los conductores, y plantea una serie de cuestiones sobre el nivel de fiabilidad que sería necesario, y las responsabilidades en el caso de que se produjera un fallo, lo que es siempre posible.

Desde hace más de 30 años se han realizado entrenamiento en pistas de ensayo, pero en el año 1997 se espera realizar en San Diego un ensayo en condiciones reales en una autopista, utilizando una calzada de sentido reversible, empezando por un sistema sólo parcialmente automático. Quedan aún muchos temas poco aclarados, que necesitarán más investigaciones. En definitiva se tratará de ver cuál es el reparto óptimo de responsabilidades entre hombre y máquina, que evidentemente no será el mismo para todos los conductores. Por ello, aunque de los ensayos sobre la carretera automática surgirán aplicaciones aplicables a corto plazo (ayudas al conductor en maniobras como el adelantamiento o la incorporación

a una autopista, mejora de la visibilidad nocturna, etc.), la automatización de la conducción parece una aplicación de la telemática más futurista que las descritas anteriormente.

Condicionantes para el empleo de la telemática en las carreteras

La utilización de la telemática en el transporte por carretera exigirá unas fuertes inversiones tanto en vehículos como en las carreteras. Estas inversiones las tendrán que realizar distintas entidades: fabricantes de vehículos, empresas de transporte, administraciones encargadas de la explotación de las redes de carretera, y los propios usuarios del transporte. Para que estas inversiones se realicen será necesario establecer previamente unas condiciones que aseguren que se eliminarán todas las dificultades que puedan impedir el aprovechamiento de estas inversiones.

En primer lugar hay que asegurar la compatibilidad de los equipos utilizados. Si los equipos utilizados difieren de unas zonas a otras, las instalaciones telemáticas constituirán una barrera más a añadir a las que ya existen en los transportes internacionales. Además, la falta de normalización reducirá el tamaño del mercado para los diferentes aparatos y sistemas, que como consecuencia se encarecerán. Por ello, es necesario una normalización basada en una estructura unificada de los sistemas, que debe ser lo suficientemente flexible para admitir tanto los subsistemas ya existentes como las nuevas tecnologías. Para elaborar estas normas será necesaria la colaboración de las entidades internacionales de normalización, para conseguir la completa aceptación de la normativa que se desarrolle.

Será necesario adaptar la legislación de carreteras y circulación para evitar que existan dificultades para aprovechar todo el potencial de las instalaciones telemáticas. Por ejemplo, no existe legislación adecuada para algunos de los elementos que formarán parte de los sistemas telemáticos, tales como pantallas de vídeo, o mapas digitales en el vehículo, que con la actual legislación no serían posibles. Otros aspectos a aclarar son los referidos a la responsabilidad civil, ya que puede ser un obstáculo a la instalación de sistemas de información al usuario si en caso de accidente, esta responsabilidad puede transferirse a los encargados del sistema. Esta dificultad es particularmente importante en los sistemas de conducción automática. Algunos de los sistemas en estudio pueden identificar a los vehículos, lo que será necesario asegurar que los datos obtenidos no se empleen para otros fines que los relacionados con la circulación.

Será necesario adaptar algunos procedimientos institucionales a las características de los sistemas telemáticos, que tienen características distintas a los que hasta ahora han utilizado los organismos encargados de la explotación de las carreteras. Esto exigirá cambiar algunos de los procedimientos habituales de proyecto, construcción y explotación de las redes de carretera para facilitar la instalación de estos sistemas. En algunos casos será preferible que se encarguen de la explotación de los sistemas telemáticos empresas privadas, para lo que será necesario una delegación de competencias por parte de las administraciones públicas.

Por parte de los fabricantes de vehículos, la aplicación de sistemas telemáticos en los vehículos representa un reforzamiento de una tendencia que comenzó hace varios años. Un 10% a un 15% del coste de los modelos de los próximos años será debido a los equipos electrónicos de control. Para los fabricantes el desarrollo de vehículos con aplicaciones telemáticas es una gran oportunidad para reanimar el mercado, porque dará lugar a una renovación de los parques para adaptarlos a las nuevas tecnologías. Por ello, es de esperar que los fabricantes estén dispuestos a hacer las inversiones necesarias.

La financiación de la construcción y mantenimiento de las instalaciones en la carretera podrán ser acometidas por el sector privado, siempre que exista la posibilidad de cobrar los servicios a los usuarios, algo que precisamente la telemática hace posible en el caso de servicios de información a los conductores. Otros servicios como los de gestión del tráfico, serán probablemente financiados por el sector público, aunque también es posible la participación privada en estos servicios.

La inversión necesaria para las instalaciones en las carreteras tampoco parece extraordinariamente elevada según algunas estimaciones realizadas, mientras que los beneficios esperados resultan ampliamente suficientes para justificarlos. En Estados Unidos se realizaron en el año 1990 unas estimaciones de costes y beneficios del Programa IVHS, suponiendo que se instalaron sistemas telemáticos en 6.000 km de autopistas y en 250 áreas metropolitanas. El coste total de instalación y mantenimiento del sistema durante 20 años sería de 30.000 millones de dólares, de los que un 15% se invertirían en I+D. Esto suponía que la inversión anual en los sistemas telemáticos representaría un 2,5% del gasto anual en carreteras de todas las administraciones de Estados Unidos. En cuanto a la inversión a realizar por los propietarios de vehículos se estimaba en unos 1.000 dólares por vehículo. Pero los beneficios estimados eran muy superiores. La

disminución de congestiones se estimaba en 25.000 millones de dólares al año, y del mismo orden era la estimación del efecto de la disminución de accidentes. En Europa, en el Programa PROMETHEUS estimaba que los sistemas de ayuda al conductor podrían reducir los accidentes en un 14% y los costes de combustible en un 12%. Aunque estas estimaciones tienen sólo un carácter indicativo, todo parece indicar que los sistemas estudiados resultarán socialmente rentables.

Conclusiones

Existe un amplio abanico de posibilidades para la aplicación de la telemática para la mejora de la circulación y el transporte en las carreteras. Estas mejoras aumentarían la capacidad de las infraestructuras existentes, con una inversión sensiblemente menor que la necesaria para construir nuevas infraestructuras. Las principales dificultades que hay que vencer no son técnicas (prácticamente todos los problemas técnicos están resueltos o en vías de solucionarse a corto plazo), sino de tipo jurídico, institucional y financiero. Pero dadas las dificultades de todo tipo (financieras, ambientales, de seguridad, etc.) que actualmente tiene la mejora de las infraestructuras con los medios habituales, parece indudable que existe la voluntad política necesaria para solucionar los problemas que presenta la aplicación de la telemática.

Bibliografía

- «Carreteras inteligentes», *Carreteras* número 7, noviembre-diciembre, 1994. Asociación Española de la Carretera.
- Control y Gestión de la Circulación Modernas (Grupo G-3) AIPCR, XIX Congreso Mundial. Montreal, 1995.
- GARY W. *Euler-Intelligent Vehicle-Highway Systems Traffic Engineering Handbook*, Institute of Transport Engineers. Prentice Hall, 1992.
- Las carreteras inteligentes, quinta sesión de trabajo, XII Congreso Mundial de IRF. Madrid, 1993.
- «Living with the car» *The Economist*, 22-28 June, 1996.
- Programas DRIVE y STIG, informes anuales de la Comisión de la Unión Europea.