

---

# Entornos de aplicación de los sistemas inteligentes de transporte

---

PID\_00266202

Unai Hernández Jayo

---

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 4 horas

---



**Unai Hernández Jayo**

El encargo y la creación de este recurso de aprendizaje UOC han sido coordinados por el profesor: José Antonio Morán Moreno (2019)

Primera edición: septiembre 2019  
© Unai Hernández Jayo  
Todos los derechos reservados  
© de esta edición, FUOC, 2019  
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona  
Realización editorial: FUOC

*Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.*

# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Introducción.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Objetivos.....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1. Sistemas de transporte inteligente en el transporte de mercancías.....</b> | <b>7</b>  |
| 1.1. Monitorización del vehículo y la carga .....                                | 11        |
| 1.2. Gestión de flotas .....   | 11        |
| 1.3. Control de la velocidad de los vehículos .....                              | 12        |
| <b>2. Intermodalidad.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>3. Sistemas de transporte inteligente en el sector ferroviario....</b>        | <b>16</b> |
| 3.1. Situación actual del transporte de mercancías ferroviario en España .....   | 16        |
| 3.2. Comunicaciones inalámbricas y sistemas embarcados .....                     | 20        |
| 3.3. Comunicaciones T2I/I2T: tren-tierra .....                                   | 22        |
| 3.4. Señalización ferroviaria ERMTS / GSM-R .....                                | 23        |
| 3.5. Comunicaciones en el interior del propio tren .....                         | 24        |
| <b>4. Sistemas inteligentes de transporte en carreteras.....</b>                 | <b>28</b> |
| 4.1. Necesidades de los agentes implicados .....                                 | 28        |
| 4.2. Sistemas de adquisición de datos en carreteras .....                        | 30        |
| 4.2.1. Sensores de tráfico autónomos .....                                       | 30        |
| 4.2.2. Sensores de tráfico dependientes .....                                    | 32        |
| 4.2.3. Sensores embarcados en los vehículos .....                                | 32        |
| 4.2.4. Sensores meteorológicos y ambientales .....                               | 33        |
| 4.3. Sistemas de procesado de datos en carreteras .....                          | 34        |
| 4.4. Sistemas de información de tráfico .....                                    | 36        |
| 4.4.1. Sistemas de navegación .....  | 36        |
| 4.4.2. Control de las condiciones de tráfico .....                               | 40        |
| 4.4.3. Sistemas de diagnosis remota y asistencia .....                           | 41        |
| 4.4.4. Diagnosis interna del vehículo .....                                      | 42        |
| <b>5. Sistemas inteligentes de transporte en ciudades inteligentes</b>           | <b>44</b> |
| 5.1. Sistemas inteligentes de tarificación .....                                 | 45        |
| 5.1.1. Tecnología NFC .....  | 47        |
| <b>Bibliografía.....</b>   | <b>53</b> |



## **Introducción**

Una vez que hemos analizado en el módulo 1 diferentes tipos de tecnologías que pueden ser empleadas en el despliegue de sistemas de transporte inteligente, vamos a introducir algunos de los principales ámbitos de aplicación de los mismos: transporte de mercancías, sistemas de transporte intermodales, sistemas de información en carretera y sistemas de transporte ferroviario. Si bien hay otras muchas áreas de aplicación de los STI, estas son en las que mayores esfuerzos se están invirtiendo tanto a nivel económico como a nivel de desarrollo de nuevas ideas e iniciativas.

## Objetivos

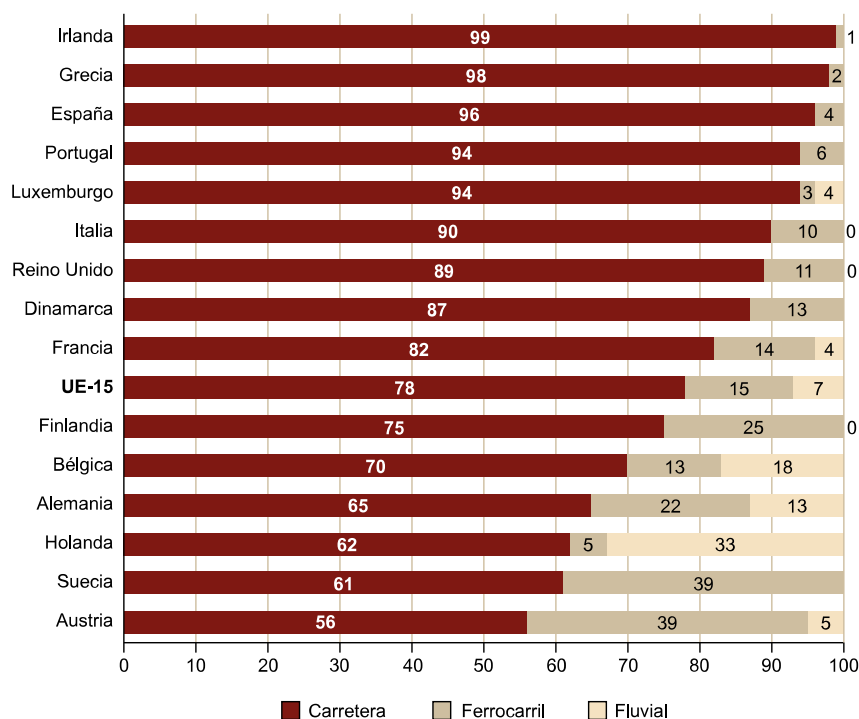
Los contenidos de este módulo deben permitir a los alumnos alcanzar los siguientes objetivos:

1. Identificar las diferentes áreas de actuación dentro del contexto de los sistemas inteligentes de transporte en los que las telecomunicaciones juegan un papel relevante.
2. Conceptualizar soluciones a problemas reales en el sector del transporte tomando como ejemplo y referencia los casos de uso y aplicaciones que se van a analizar a lo largo de este material.

## 1. Sistemas de transporte inteligente en el transporte de mercancías

Tal y como se muestra en la figura 1 con datos del año 2010, en la UE-15, la mayoría de las mercancías se transportan por carretera (78 %). El ferrocarril representa el 15 % en el reparto y el 7 % restante se transporta por vía fluvial. En España, el dominio de la carretera es casi absoluto, llegando al 96 % de las mercancías y tan solo el 4 % de la demanda de larga distancia se realiza por ferrocarril.

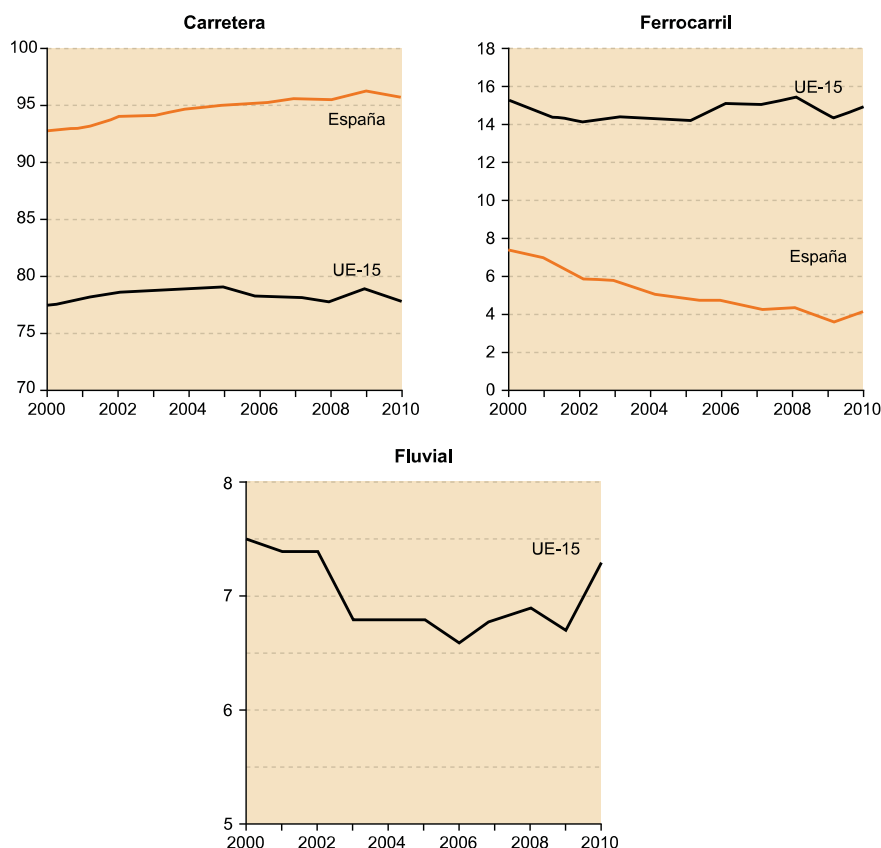
Figura 1: Distribución del transporte terrestre de larga distancia de mercancías



Fuente: Fundación Encuentro a partir de datos de Eurostat

A tenor de estos datos, el reparto modal de mercancías entre los diferentes países europeos resulta muy heterogéneo, con diferencias mucho más notables que en el reparto de pasajeros. Por carretera se transportan, dependiendo de los países, entre el 99 % y el 56 % de las mercancías, por ferrocarril entre el 1 % y el 39 % y por vías navegables entre el 0 % y el 33 %.

Figura 2: Evolución del transporte terrestre de larga distancia de mercancías 2000-2010



Como vemos, el transporte de mercancías por carretera es el responsable de la mayor parte del transporte de mercancías en Europa (y tal y como recoge la figura 2, ha aumentado progresivamente entre el año 2000 y 2010). Sin embargo en España esta evolución se ha visto interrumpida en el año 2012 debido a la actual situación económica, sufriendo el transporte por carretera un retroceso de un 2,8 % respecto al año anterior.

En conjunto, el volumen de negocio en el mercado ibérico bajará en el año 2013 un 1 % este año, frente al 3,5 % que lo hizo en 2012, según un informe elaborado por la consultora DBK.

Según el estudio, en los ejercicios 2010 y 2011 se registraron crecimientos del mercado ibérico de transporte de mercancías por carretera situados en torno al 2 % anual, sustentados en el aumento de los precios del servicio, en un contexto de fuerte encarecimiento de los combustibles. El descenso de la demanda y la intensificación de la competencia entre los operadores del sector están provocando, en un contexto de altos precios de los carburantes, un estrechamiento de los márgenes de rentabilidad.

El exceso de capacidad de transporte ha originado una reducción del número de operadores en los últimos años. En 2011 operaban en el conjunto del mercado ibérico 113.500 empresas, de las cuales 105.000 se ubicaban en España y las 8.500 restantes en Portugal. En este ejercicio el número total de empresas



disminuyó un 0,5 % respecto al año 2010. El parque de vehículos de transporte público de mercancías, por su parte, ascendió a 373.913 unidades (excluyendo en Portugal los vehículos ligeros), resultando una media en de 3,3 vehículos por empresa (EuropaPress, 8 de enero 2013).

Podemos observar por tanto como es el transporte por carretera el que aglutina mayor volumen de negocio, tanto a nivel nacional como europeo, con los consiguientes problemas que esto conlleva: alta densidad de ocupación de las vías de comunicación, y aumento de las emisiones contaminantes.

A este respecto, y con el objetivo de paliar estos problemas, las líneas de trabajo desde las TIC se orientan hacia la gestión flexible y dinámica de carriles y corredores para el transporte de mercancías, y el uso de sistemas de posicionamiento con información en tiempo real a través de comunicaciones vehículo-a-infraestructura, lo que permitirá la gestión de la infraestructura y el tráfico como un sistema completo para optimizar la capacidad aprovechada. Otro aspecto relevante tratado es la gestión avanzada de la logística.

Los retos a los que hasta ahora se hacían frente principalmente consistían en alcanzar el *just in time*, así como ofrecer servicios adicionales al cliente como seguimiento de cargas, etc. Este seguimiento de mercancías y vehículos también resulta de gran utilidad para las propias empresas de transporte para optimizar su operación y encontrar anomalías que corregir. Así, se plantea que es posible redirigir a los vehículos para evitar o reducir los tiempos de espera y hacer una entrega más rápida y eficiente, sin retrasos.

***Just in time*** es una metodología de producción de carácter innovador que tiende a eliminar ineficiencias en todo el proceso industrial, desde el abastecimiento hasta la distribución. Su impacto en las actividades logísticas es trascendente porque ha modificado prácticas establecidas en transportes, depósitos, niveles de inventarios y métodos de producción.

A pesar de las mejoras en el sistema logístico, todavía se presentan los siguientes puntos negativos:

- Gran número de operaciones sin coordinación realizadas por flotas de pequeño tamaño.
- Gran parte de la capacidad de transporte es infrutilizada (por los recorridos de regreso en vacío).
- Pérdidas de tiempo por diferentes causas.

En este escenario, la telemática puede aportar soluciones en los siguientes ámbitos de aplicación:

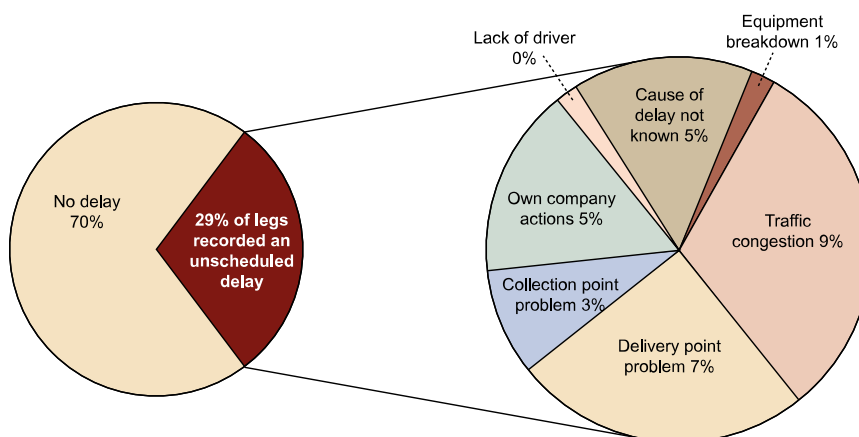
- Cálculo de una mejor secuencia de reparto con el consiguiente ahorro de tiempo y combustible.
- Posicionamiento de vehículos para la planificación de transportes y realización de estadísticas.
- Comunicación entre el conductor y la central por medio de dispositivos portátiles, como una PDA que permiten intercambiar mensajes y automatizar procesos administrativos como la confirmación de entrega. Esto supone un servicio que da valor añadido (*infomobility*).

De este modo, la gestión de flotas tiene como principal objetivo la mejora en eficiencia y posibilitar un mejor uso de la capacidad de los vehículos. Entre otras opciones, el seguimiento continuo y la comunicación con el centro de control pueden permitir reorganizaciones y adaptarse a requisitos cambiantes. Una ventaja adicional que se está contemplando cada vez con mayor intensidad es el acceso a información en tiempo real de tráfico, estado de carretera y meteorología.

En el caso de ámbito urbano, se presentan algunas particularidades respecto al transporte de medio o largo recorrido. Entre otras, se pueden destacar:

- Necesidad de control de acceso a zonas de acceso limitado.
- Hay gran cantidad de pequeños repartidores que operan de forma bastante independiente.
- Para los fines perseguidos, hay un uso limitado de telemática por autoridades para controlar el reparto urbano.
- Falta de comunicación entre los gestores de las flotas y las agencias de tráfico

Figura 3: Causas de retraso en reparto de productos alimenticios



Fuente: A.C. McKinnon; Y. Ge (2003). *Analysis of transport efficiency in the UK food supply chain*. Logistics Research Centre. Heriot-Watt University, Edimburgh.

## 1.1. Monitorización del vehículo y la carga

La proliferación de sistemas electrónicos en el vehículo permite disponer de un gran número de variables relacionadas con el vehículo, el conductor y la carga transportada. En general, los siguientes datos pueden ser tomados de los buses de comunicaciones internos del vehículo, entre otros:

- temperatura del refrigerante
- temperatura del combustible
- temperatura del aceite del motor y el turbocompresor
- presión del aceite
- nivel del depósito de combustible y consumos instantáneos y medios
- nivel de agua
- nivel de aceite
- régimen de giro del motor
- grado de carga
- posición del acelerador
- utilización de la caja de cambios
- estado y entrada en funcionamiento del ABS y otros sistemas electrónicos

Además, en el caso de vehículos comerciales, existen otras variables que proporcionan información sobre el comportamiento del conductor y que proceden del tacógrafo. Por otra parte, es posible instalar una serie de sensores externos, que controlan una serie de parámetros de interés en las operaciones de transporte de mercancías. Algunos ejemplos son:

- apertura de puertas y temperatura de la carga
- temperatura y humedad en el espacio de carga
- sensor de presencia del remolque
- presencia de carga
- peso de la carga
- identificación de cargas, conductores y vehículos

Estas medidas pueden ser empleadas para diferentes fines, entre los que se pueden destacar el diagnóstico del funcionamiento del vehículo, supervisión de conductores, aplicaciones de *security* y gestión de flotas. En la actualidad, diversos fabricantes comercializan sistemas integrados que combinan dos o más de los sensores mencionados previamente. Algunos ejemplos son el SmartFleet System de Safefreight o el GlobalWave de TransCore. Por otra parte, cabe destacar el creciente interés que existe en el registro de eventos e incidencias que se puedan producir durante la circulación, con el fin de detectar conductas inseguras, cansancio, etc.

## 1.2. Gestión de flotas

Los principales servicios prestados por los sistemas de gestión de flotas son:

- seguimiento de vehículos y cargas
- programación y cambios de la ruta
- gestión de incidentes

El problema fundamental de la gestión de flotas es la elección y envío en tiempo real de los vehículos que deben encargarse de las distintas operaciones de recogida y entrega. Este objetivo está relacionado además con, entre otras, las siguientes funcionalidades:

- algoritmos de gestión dinámica
- localización del vehículo
- estimación de retrasos previstos, a través de la comparación entre el tiempo de desplazamiento previsto y una estimación dinámica del tiempo real
- envío de información del vehículo y el conductor
- diagnóstico del vehículo y gestión de averías

Aunque la cuantificación precisa de los beneficios de la utilización de los sistemas de gestión de flotas no está en muchos casos disponible, algunas de las mejoras esperadas son: reducción de tiempos de viaje, mejora de la visibilidad y de los servicios ofrecidos al cliente, aumento del control sobre las operaciones, reducción de tiempos de entrega, mejora de las decisiones estratégicas a medio y largo plazo y reducción de costes administrativos.

Algunas funcionalidades típicas de los sistemas existentes de gestión de flotas son el seguimiento del vehículo, la localización del vehículo más próximo a un punto dado y la planificación de rutas. Otras funcionalidades de apoyo son:

- identificación y autorización de conductores
- registro de rutas realizadas, con velocidades medias y máximas
- recordatorios de mantenimiento
- interfaz en internet
- registro y análisis de medidas embarcadas
- envío de mensajes de alerta

### **1.3. Control de la velocidad de los vehículos**

Por último, y con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y respeto medioambiental, las TIC tienen mucho que aportar en lo relativo a los sistemas de control de velocidad de los vehículos de cualquier tipo. El fundamento de esta medida es semejante al control dinámico de la velocidad con fines de mejora de la seguridad (de hecho, en general, son tratadas conjuntamente), si bien en este caso la actualización a las condiciones dinámicas es mucho más crítica.

Partiendo de la base de que la forma de conducción condiciona notablemente el consumo, la idea principal para la minimización del consumo mediante sistemas inteligentes radica en la utilización de un «horizonte electrónico» más extenso que el «horizonte visual», es decir, aprovechar informaciones de los tramos siguientes de carretera que no son visibles para el conductor con el fin de adecuar la velocidad. De esta forma, además de favorecer la seguridad y el ahorro de combustible, se potencia la conducción sin aceleraciones y desaceleraciones bruscas ni cambios frecuentes de marcha o velocidad, lo que redundaría en un mayor confort. El horizonte electrónico se puede obtener de sensores (radar, láser, procesamiento de imágenes,...) o telecomunicaciones y posicionamiento mediante satélites y sistemas de navegación.

Los estados de conducción comunes son aceleración, velocidad constante, desaceleración y ralentí. De ellos, la desaceleración es el que presenta mayores posibilidades de ahorro de combustible. Una desaceleración muy suave sería la situación óptima por aprovechar mejor la potencia proporcionada. Sin embargo, presenta los inconvenientes de una gran distancia de reacción y una baja aceptación por parte de los usuarios.

Con el fin de tomar decisiones, el sistema tiene que identificar y clasificar las diferentes situaciones que se dan en el tráfico. Estas situaciones pueden ser de posición fija (señales) o variable (retenciones), e implicar límites constantes (señales fijas convencionales) o variables (señales variables). Cada una de estas categorías implica unas tecnologías de reconocimiento diferentes y plantea dificultades distintas para extender el horizonte de visión.

Las medidas que se suelen emplear para reducir los niveles actuales están más en línea con la ingeniería y gestión del tráfico y en las mejoras tecnológicas en los motores y el sistema de escape que en incidir sobre la velocidad de circulación y el comportamiento del conductor, aunque en la actualidad cada vez más podemos encontrar ofertas de cursos destinados a aprender a conducir de un modo más eficiente.

#### **Situation adaptive drivetrain management**

Técnica que consiste en reducir al máximo la energía perdida en forma de calor en la frenada mediante el cese de la aceleración en el momento justo en función de limitaciones de velocidad cercanas y del estado del tráfico.

#### **INVENT**

Esta iniciativa planteó la estimación de la adecuada circulación en base a sensores embarcados y comunicaciones con el fin de adaptarse al tráfico, reducir las ondas de choque que se producen por los cambios de velocidad y tener una gestión más rápida de las retenciones.

## 2. Intermodalidad

El transporte intermodal se considera como uno de los pilares básicos en la sostenibilidad del transporte de mercancías. Sin embargo, dicho transporte intermodal solo empieza a ser económico y competitivo a partir de una cierta distancia. Se fomenta la intermodalidad cuando la documentación pasa del vehículo al centro antes de llegar a los puntos de cambio de modo y en los centros logísticos se lleva a cabo una gestión automática de la carga. Los sistemas ITS favorecen la intermodalidad al tener la carga y los vehículos ubicados en todo momento con lo que inciden en los siguientes aspectos:

- Mejorar la eficiencia en las operaciones.
- Mejorar la calidad de los servicios ofrecidos.
- Favorecer a los pequeños operadores la entrada en el transporte intermodal.
- Proporcionar una estimación más ajustada de tiempo de llegada.

Muchos de los aspectos considerados en los apartados previos contribuyen en alguna medida a la mejora de la eficiencia de las operaciones de transporte intermodal. Pueden ser destacados los siguientes aspectos fundamentales:

- Seguimiento de contenedores y vehículos, que permiten gestionar el flujo de materiales y productos desde el centro de producción al usuario final. Se busca optimizar la visibilidad, seguridad y control de la mercancía a través del sistema logístico.
- Integración de la cadena logística. Se tiende a un sistema integrado que englobe a suministradores, productores, operadores de transporte, distribuidores y vendedores. En la mejora de la gestión del transporte intermodal, deberá jugar un papel fundamental el intercambio electrónico de datos (*electronic data interchange*, EDI). Aunque se trata de una tecnología madura con un número creciente de productos y servicios, existen todavía algunos impedimentos, como: falta de interoperabilidad y compatibilidad de hardware y software, costes de inversión relativamente altos, falta de acceso por parte de los operadores pequeños, posibilidad de que un uso generalizado suponga una reducción de puestos de trabajo.
- Optimización de las operaciones de carga y descarga en puertos, centros logísticos, etc., mediante el seguimiento de vehículos y contenedores, la identificación de las propiedades de la carga y la estimación en tiempo real de los tiempos de llegada.

### **Electronic data interchange**

El intercambio electrónico de datos es la transmisión estructurada de datos entre organizaciones por medios electrónicos. Se usa para transferir documentos electrónicos o datos de negocios de un sistema computacional a otro. El intercambio electrónico de datos puede realizarse en distintos formatos: EDIFACT, XML, ANSI ASC X12, TXT, etc.

- Mejora de la seguridad frente a robos y actos de vandalismo de vehículos, contenedores y mercancías, durante las operaciones de embarque y almacenamiento.
- Sistemas de gestión de inventarios y stocks, basados en la localización de contenedores y remolque en puertos, terminales y centros logísticos. Estos sistemas posibilitan la optimización del uso de espacio en terminales, la gestión del apilamiento de contenedores de diferentes longitudes, el uso eficiente de la mano de obra y los equipos de manipulación y la programación de las operaciones de reparación y mantenimiento.
- Gestión electrónica de pedidos y operaciones de pago.
- Gestión de operaciones internacionales, mediante la automatización de la gestión de documentación para la importación y exportación de mercancías.
- Automatización del proceso de identificación de vehículos, cargas y conductores, mediante tecnologías como GPS, RFID o reconocimiento óptico.

### **3. Sistemas de transporte inteligente en el sector ferroviario**

#### **3.1. Situación actual del transporte de mercancías ferroviario en España**

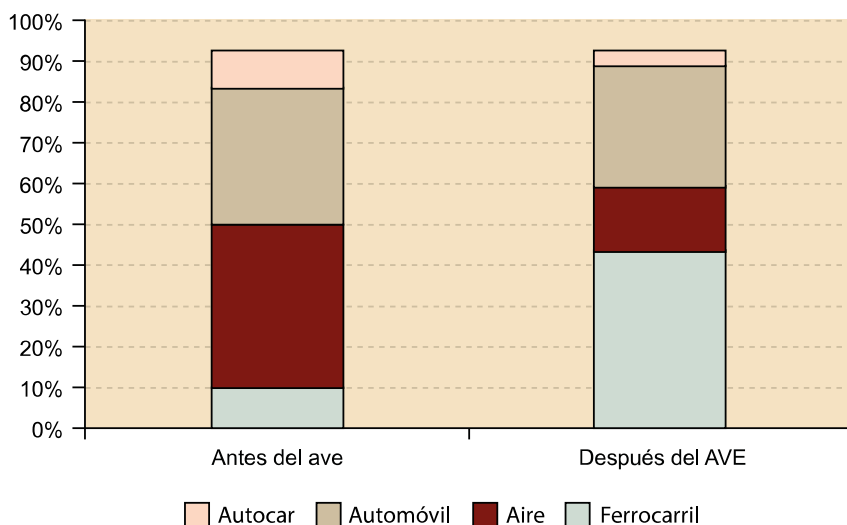
Tradicionalmente, la explotación del ferrocarril, no solo en España, se ha caracterizado por una explotación conjunta de la infraestructura y de los servicios propios del transporte ferroviario, de forma que la misma entidad, pública además, gestionaba, desplegaba y mantenía tanto la red viaria (incluyendo estaciones e infraestructura asociada) como el material rodante. El marco legal sancionaba este modelo de explotación vertical: la Ley 16/1987 de Ordenación de los Transportes Terrestres consideraba que en los transportes por ferrocarril el conjunto camino-vehículo constituía una unidad de explotación, y atribuía la explotación unitaria de las líneas y de los servicios de la denominada Red Nacional integrada a RENFE.

Modelos de explotación similares, en régimen de monopolio, eran comunes en todo el ámbito europeo. Esta falta de apertura y competencia interna ha provocado una progresiva pérdida de competitividad del transporte ferroviario frente a otras modalidades, en especial, por carretera. Esta pérdida de atractivo se ve aún más agravada en países con una red ferroviaria anticuada y poco mallada, como es el caso de España, en el que las inversiones públicas en infraestructuras han estado destinadas en un altísimo porcentaje a la carretera.

El segmento del mercado ferroviario más competitivo frente a los otros modos de transporte es el de alta velocidad. La siguiente gráfica, extraída también del *Libro Blanco del Transporte de la UE*, muestra el impacto que tuvo la puesta en marcha del AVE Madrid-Sevilla. La cuota de mercado del avión pasó del 40 % al 13 %. La entrada en servicio del Thalys entre París y Bruselas supuso una reducción del tráfico por carretera del 15 %.



Figura 4: Impacto del AVE Madrid-Sevilla sobre el transporte intermodal



Fuente: Libro Blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad

No obstante estos éxitos puntuales, la UE reconoce que el transporte ferroviario se encuentra en franco declive, y en el libro blanco propone una serie de medidas para mejorar su competitividad. El aumento espectacular del transporte por carretera se ha traducido en costes sociales, económicos y medioambientales por todos conocidos, lo que ha llevado a la UE a tomar cartas en el asunto y propiciar un impulso de la modalidad ferroviaria mediante múltiples medidas, entre otras:

- Fomento de la aplicación de políticas de peaje en función de la distancia recorrida, categoría por emisiones contaminantes y peso y número de ejes, en especial al transporte pesado de mercancías por carretera. Buen ejemplo de esto son el sistema de telepeaje GNSS/CN alemán Toll Collect y, fuera de la UE, el equivalente suizo LSVA, complementado por corredores ferroviarios para el transporte de camiones pesados que atraviesan el país de un extremo al otro.
- Inversión en la mejora y extensión de la red ferroviaria de alta velocidad y capacidad.
- Liberalización y apertura a la competencia del sector del transporte ferroviario, comenzando por el de mercancías, asunto en el que nos detendremos a continuación.

Con objeto de impulsar el transporte ferroviario, dinamizarlo y dotarlo de mayor competitividad frente al de carretera, la UE aprobó una serie de medidas legislativas. Así, la Directiva 91/440/CEE de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios, modificada por la Directiva 2001/12/CE, de 26 de febrero de 2001, establece la necesidad de separar, al menos contablemente, la explotación de los servicios de transporte ferroviario y la administración de la infraestructura. La Directiva exige a los Estados miembros

la apertura de sus redes ferroviarias de titularidad pública a las empresas y a las agrupaciones empresariales internacionales que presten determinados servicios de transporte internacional, principalmente de mercancías.

Por otro lado, la Directiva 95/18/CE, de 19 de junio de 1995, sobre concesión de licencias a las empresas ferroviarias, estableció la necesidad de licencia para las empresas que prestan los servicios a los que se refiere la Directiva 91/440/CEE. Ya que determinados Estados miembros ampliaron los derechos de acceso más allá de lo previsto en la Directiva 91/440/CEE, la Directiva 2001/13/CE, de 26 de febrero de 2001, modificó la Directiva 95/18/CE en el sentido de generalizar los principios de concesión de licencias a todas las empresas activas en el sector con objeto de garantizar a estas un trato justo, transparente y no discriminatorio. La Directiva 2001/14/CE, de 26 de febrero de 2001, relativa a la adjudicación de capacidad de infraestructuras ferroviarias, aplicación de cánones por su utilización y certificación de la seguridad, pretende por su parte asegurar a las empresas ferroviarias el acceso a la infraestructura en condiciones objetivas, transparentes y no discriminatorias y garantizar la seguridad en la prestación de los servicios de transporte ferroviario.

Por último, la Directiva 2001/16/CE, de 19 de marzo de 2001, relativa a la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional, fija las condiciones que deben cumplirse para lograr, en todo el territorio común, la interoperabilidad del sistema ferroviario transeuropeo convencional. En resumen, los ejes en torno a los que ha girado la reforma europea han sido, por un lado, la separación de las actividades de gestión de la infraestructura (que no incluye ya el material rodante) y de explotación de servicios, y por otro, la apertura del transporte ferroviario a la competencia y, en consecuencia, a la entrada de nuevos actores privados en un sector dominado hasta la fecha por grandes entes públicos.

La reforma del sector ferroviario español, como no podía ser de otra forma, ha seguido estas pautas en la transposición de la normativa europea al marco legislativo nacional, pero además, ha aprovechado para acometer una seria reforma del sector que garantice eficazmente la entrada de competidores.

La Ley 39/2003 del Sector Ferroviario (LSF), ha introducido una reorganización sustancial del sector ferroviario español, en especial en los aspectos siguientes:

- La entidad pública empresarial RENFE pasó a denominarse ADIF, asumiendo todos los derechos y obligaciones, así como la titularidad de todos los bienes de dominio público o patrimonial adscritos al denominado Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (GIF), entidad pública empresarial que pasó a extinguirse. ADIF podrá construir, de acuerdo con lo que determine el Ministerio de Fomento, las infraestructuras ferroviarias con cargo a sus propios recursos o a recursos ajenos. Asimismo, administrará las infraestructuras de su titularidad (caso de la línea de alta velocidad Madrid-Se-

villa) y aquellas cuya administración se le encomiende mediante el oportuno convenio.

- Se creó, en paralelo con ADIF, la entidad pública empresarial RENFE OPERADORA, con el objeto de prestar servicios de transporte ferroviario, así como el mantenimiento del material rodante (de la red viaria se encarga ADIF). Desde RENFE se transfirieron a la nueva entidad todos los elementos propios de la prestación de servicios.
- Se crea asimismo el denominado Comité de Regulación Ferroviaria, encargado, ante la eventual aparición de multitud de nuevos actores en el mercado ferroviario, de resolver los conflictos que se planteen entre ellos y garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Es decir, la liberalización propugnada por la Ley del Sector Ferroviario (LSF) disoció las actividades de administración de la infraestructura y de explotación de los servicios que se prestan sobre ella, abriendo el mercado del transporte ferroviario a nuevos operadores que pudieran competir entre sí. El régimen de monopolio del que disfrutaba RENFE finalizó el 1 de enero de 2005 con su división en ADIF y RENFE OPERADORA.

La liberalización del transporte ferroviario se basa, como en otros servicios prestados a través de infraestructuras de red (telecomunicaciones, transporte por carretera, etc.), en la distinción clara entre la construcción, mantenimiento y administración de las infraestructuras, por una parte, y la prestación de los servicios, por otra. En el caso concreto de RENFE Operadora, por ejemplo, mientras que en el ámbito del transporte de mercancías ha de afrontar la competencia de otras operadoras, en el de transporte de viajeros trabaja en régimen de monopolio. RENFE Operadora ha heredado el modelo de gestión en unidades de negocio propio de RENFE, y se estructura en torno a cuatro áreas operativas:

- **Dirección General de Servicios Públicos de Cercanías y Media Distancia.** Se encarga de la gestión de los trenes de cercanías y media distancia (regionales y lanzaderas de alta velocidad).
- **Dirección General de Servicios de Larga Distancia.** Se encarga de la gestión de los trenes que antes pertenecían a las unidades de negocio de la antigua RENFE de grandes líneas y alta velocidad (excepto lanzaderas y AV media distancia, que pasan a unidad anteriormente citada de media distancia).
- **Dirección General de Servicios de Mercancías y Logística.** Es la responsable de los servicios de mercancías.

- **Dirección General de Fabricación y Mantenimiento.** Se encarga de la fabricación y mantenimiento del material ferroviario, con el nombre comercial de Integria: fabricación y mantenimiento.

Otros operadores siguen otras estructuras de negocio, pero de cara a la definición de los escenarios de aplicación, pueden distinguirse los tres roles principales ya apuntados: gestor de infraestructuras, operador de transporte de pasajeros y operador de carga.

La misma situación experimentada por la fragmentación de RENFE en ADIF y RENFE Operadora, se ha vivido a escala autonómica, dando lugar a un complejo mapa de operadores que compiten por ofrecer servicios mejores a los viajeros: Eusko Trenbideak o Metro Bilbao en el País Vasco, FGV (Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana), FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya), FEVE, Servicios Ferroviarios de Mallorca S.F.M., Ferrocarril Metropolità de Barcelona, etc.

La separación entre gestores y operadores no solo ha afectado a la estructura organizativa de las nuevas entidades, sino que ha supuesto grandes cambios en la infraestructura tecnológica existente, ya que todas las aplicaciones que tradicionalmente compartían información de la infraestructura y del tren, ahora pertenecen a entidades distintas. La liberalización del sector, provechosa desde el punto de vista de la competencia, de la calidad de los servicios y la eficiencia económica, ha introducido no obstante nuevos retos técnicos, al quedar la infraestructura del gestor separada de la del operador, de manera, en no pocas ocasiones, mal coordinada, con lo que operaciones tan básicas como el conocimiento de la posición de los trenes o la comunicación con los mismos se han convertido para el operador de transporte en problemas no resueltos todavía de manera satisfactoria. Este proyecto pretende dotar, tanto a gestores de red como a operadores de transporte, de la plataforma adecuada para la provisión de servicios avanzados tanto en la operación, como en la explotación y mantenimiento de líneas y material rodante.

### 3.2. Comunicaciones inalámbricas y sistemas embarcados

La tabla 1 recoge un listado de las principales tecnologías inalámbricas empleadas actualmente en el sector ferroviario, incluyendo el tipo de servicio y aplicaciones en las que se emplean, así como el grado de criticidad para el servicio ferroviario.

Tabla 1. Tecnologías inalámbricas empleadas en el sector ferroviario

| Tecnología | Servicios y aplicaciones                           | Criticidad                 |
|------------|--|----------------------------|
| Satélite   | Posicionamiento (GPS, EGNOS, en el futuro GALILEO) | Crítico explotación        |
|            | Acceso a internet en banda ancha                   | Servicio a pasajeros       |
|            | Conexión a redes de datos (y PMC)                  | Complementario explotación |

| <b>Tecnología</b>            | <b>Servicios y aplicaciones</b>                                | <b>Criticidad</b>   |
|------------------------------|--|---|
| <b>UMTS</b>                  | Voz y datos pasajeros  | Servicio a pasajeros  |
| <b>*GSM/GPRS</b>             | Voz y datos pasajeros  | Servicio a pasajeros  |
|                              | Voz y datos con PMC (redundante a tren tierra)                 | Crítico (localización) / complementario explotación (consumos, cuenta pasajeros...) |
| <b>*GSM-R</b>                | Señalización control ERTMS                                     | Crítico explotación   |
|                              | Comunicaciones de voz  | Complementario explotación / crítico (emergencia)                                   |
|                              | Transmisión de datos (no señalización)                         | Complementario explotación  |
| <b>*WLAN/WiMAX</b>           | Transmisión vídeo embarcado desde y hacia cabina en estaciones | Crítico explotación   |
|                              | Telefonía, megafonía e interfonía                              | Complementario explotación  |
|                              | Voz y datos (redundante a tren-tierra)                         | Complementario explotación  |
|                              | Acceso a servicios de datos desde cabina                       | Complementario explotación  |
|                              | Acceso a internet para pasajeros                               | Servicio a pasajeros  |
|                              | Sistemas de protección y control automático del tren           | Crítico explotación   |
| <b>*TETRA</b>                | Comunicaciones voz   | Complementario explotación  |
|                              | Datos sobre mensajes cortos y pre-codificados                  | Complementario explotación  |
|                              | Señalización y control (fuera UE)                              | Crítico explotación   |
| <b>Otros PMR</b>             | Comunicaciones voz   | Complementario explotación  |
| <b>Tren-tierra analógico</b> | Voz y datos  | Crítico explotación   |

Se observa que las tecnologías inalámbricas prestan básicamente 2 tipos de funciones: localización y comunicaciones.

Los sistemas de localización permiten al gestor de la infraestructura conocer la ocupación de la vía y gestionarla de modo que se maximice su capacidad sin poner en riesgo la seguridad. El operador de transporte se beneficia de este tipo de sistemas de cara a organizar el servicio y prestar servicios a los pasajeros y clientes, como el tiempo de llegada de su tren, de recepción de un determinado envío, incidencias, etc.

Los sistemas de comunicaciones embarcados permiten el intercambio de información y órdenes entre el puesto de mando y control (PMC) y la cabina. En menor medida permiten también la conectividad para los usuarios, aunque

la mayor parte de trenes no ofrezcan este servicio a sus pasajeros, tanto por limitaciones de ancho de banda como por coste de las soluciones que sí que cuentan con capacidad suficiente, como el satélite.

### 3.3. Comunicaciones T2I/I2T: tren-tierra

La aplicación ferroviaria más representativa de las comunicaciones móviles entre tren e infraestructura, y una de las más críticas desde el punto de vista de la seguridad, es la comunicación tren-tierra, es decir, el sistema de comunicaciones entre la cabina y el PMC. Esta comunicación se establece bien por voz, bien mediante la emisión y recepción de órdenes concretas sobre consola (mensajes preconfigurados), y también por ambos mecanismos simultáneamente: los mensajes preconfigurados permiten reforzar las órdenes orales y resolver ambigüedades, reduciendo la probabilidad de interpretación errónea.

En cualquier caso, hay que señalar que la necesidad de ancho de banda para la estricta operación del sistema (señalización ferroviaria) es relativamente baja. No obstante, cada vez se requiere mayor ancho de banda para subsistemas no vitales pero también relacionados con la explotación (seguridad y videovigilancia, transmisión de imágenes entre cabina y PMC, entre estaciones y cabina, sistemas de información a los viajeros, etc.), y cada vez se están instalando más redes WiFi para proporcionar la comunicación tren-tierra-tren.

La implementación práctica del tren-tierra es propia de cada gestor de infraestructuras (ADIF, ETS, etc.), aunque en las implementaciones constan de varios sistemas redundantes por razones de seguridad. Los sistemas más habituales son:

- **Radio analógica VHF/UHF** (la nota de utilización nacional UN 78 del CNAF asigna a este uso la banda de 447 (Tx) – 457 (Rx) MHz). Con «postes» sobre la vía y que proporcionan cobertura en un área limitada. Cobertura próxima al 100 % del trayecto solo en redes regionales. En el caso de redes nacionales y de larga distancia, como la de ADIF, no toda la red tiene cobertura, aunque tampoco hay datos concretos de disponibilidad pública.
- **PMR analógico (emisora embarcada)**. Con estaciones base (BTS) sobre montes que dan cobertura a un área extensa (varias estaciones). Mecanismo redundante para el caso de que el anterior de postes a pie de vía falle. Por lo general, el área de trayecto cubierta es menor que con el sistema anterior, y depende lógicamente de la orografía por la que discurra el trazado de la vía.
- **GSM**. Resulta también habitual la utilización de telefonía móvil convencional (no el estándar específicamente ferroviario GSM-R) como canal redundante para el caso de que los anteriores fallen. La cobertura suele ser menor que la del sistema primario en las redes regionales.

- **GSM-R.** Estándar desarrollado a partir de GSM convencional pero adaptado a las necesidades específicas del entorno ferroviario para aplicaciones crítico seguras, como es el caso de la señalización ferroviaria. Se analiza en el apartado siguiente ERMTS/GSM-R.
- **WiFi.** Para la provisión de banda ancha en el entorno inmediato de estaciones y con el tren generalmente parado. No obstante, cada vez son más las experiencias en las que se despliega una red WiFi a todo lo largo de la línea para la transmisión de imágenes en tiempo real. Ejemplos de aplicación: transmisión de datos para la comunicación a cabina de imágenes del andén al que se aproxima el tren, descarga desde el tren de información de telemetría y estado, grabaciones de seguridad, etc. Es la alternativa de menor alcance y la de mayor ancho de banda. Por su limitada cobertura, y a diferencia de los anteriores, no se emplea para la aplicación principal del tren-tierra: la comunicación entre PMC y cabina para el tránsito seguro.

Cada gestor tiene su propio sistema tren-tierra implantado y al tratarse de sistemas propietarios y de seguridad ferroviaria, no se facilita información sobre los mismos: frecuencias concretas, protocolos, cifrado, etc. A diferencia de la práctica habitual en sistemas de navegación aérea y otras áreas relacionadas con la seguridad (criptografía, comercio electrónico, etc.), en las que se hacen públicos los algoritmos y procedimientos de seguridad con el fin, precisamente, de que gracias a esta política de transparencia se detecten a tiempo posibles fallos, el sector ferroviario aplica la estrategia justamente inversa, la de la opacidad. En resumen, las principales limitaciones de las soluciones tren-tierra que operan en el actual mercado ferroviario son:

- Pobres prestaciones técnicas, especialmente en lo relativo al ancho de banda.
- Poca capacidad para dar soporte a los servicios multimedia.
- Soluciones propietarias, con problemas de compatibilidad, escalabilidad y caras.
- No accesibles a los pasajeros. Soluciones exclusivas para los usuarios profesionales, en especial el gestor de infraestructuras.

### **3.4. Señalización ferroviaria ERMTS / GSM-R**

El *european rail traffic management system* (ERMTS) es el sistema paneuropeo de señalización ferroviaria. Se trata del esfuerzo de estandarización más importante realizado hasta la fecha en el ámbito de la señalización ferroviaria y tiene por objeto la plena interoperabilidad de los ferrocarriles europeos. Todavía en la actualidad, se emplean en Europa un gran número de sistemas distintos para el control automático de trenes, como el ASFA / LZB 80 en España.

El sistema global de comunicaciones móviles para ferrocarriles GSM-Railway (GSM-R) es un sistema de comunicaciones para la explotación ferroviaria basado en el estándar GSM de telefonía móvil de acceso público del European

Telecommunications Standards Institute (ETSI), que incluye funciones características operacionales definidas para el entorno ferroviario por las especificaciones *European integrated railway radio enhanced network* (EIRENE) y *mobile radio for railways network in Europe* (MORANE).

Con anterioridad a GSM-R no había un único estándar o sistema de comunicaciones que fuera capaz de atender todos los servicios inalámbricos y escenarios propios del entorno ferroviario, sino que una pléyade de diferentes tecnologías (tren-tierra analógico, PMR analógico y digital, GSM, etc.) no interrelacionadas se encargaban, y encargan todavía, de atenderlos. Desde la irrupción de GSM-R estos escenarios tradicionales han quedado razonablemente cubiertos en cuanto a prestaciones técnicas (excepción hecha de los servicios de banda ancha, de demanda creciente y relativamente modernos) aunque a un coste económico ciertamente elevado, razón por la que, de momento, el despliegue de esta tecnología se limita a las líneas de larga distancia.

El GSM-R sustituye al sistema analógico tren-tierra, ya obsoleto técnicamente, con mayores costes de mantenimiento y con escasez de repuestos (sistemas analógicos en su mayor parte tecnológicamente amortizados). Pero además de posibilitar todas las funcionalidades del tren-tierra, GSM-R permite implementar, como ya se ha visto, nuevos servicios de señalización y control ferroviarios que permiten un uso más eficiente y seguro de las líneas, y todo ello a mayores frecuencias de paso (capacidad) y velocidades de circulación. GSM-R tiene mucha mayor capacidad puesto que el tren-tierra convencional solo dispone de un canal y de un plan de frecuencias limitado (banda 450-460 MHz), sin posibilidad de ampliación. GSM-R goza, además de una mayor capacidad para integrar nuevos servicios como el ERTMS, de un alto nivel de fiabilidad y calidad (como sistema digital que es) con velocidades de circulación de hasta quinientos kilómetros por hora y la posibilidad de integrar todos los servicios de telecomunicaciones en una misma red de comunicaciones fijas y móviles con una gestión centralizada.

Además, GSM-R permite el direccionamiento funcional según la localización del tren, posibilita priorizar las llamadas en distintos niveles y les da mayor seguridad y protección. Ofrece también la posibilidad de crecimiento (escalabilidad) según las necesidades implantando la red gradualmente y con facilidad para su reconfiguración, y permite la utilización de los mismos móviles en la red de los operadores públicos, previo acuerdo con la operadora, como un terminal GSM convencional.

### **3.5. Comunicaciones en el interior del propio tren**

La intercomunicación de todos aquellos dispositivos del tren involucrados en las distintas labores de control, mantenimiento, servicios de valor añadido y seguridad es uno de los objetivos fundamentales a garantizar en el diseño de cualquier despliegue ferroviario. Por otra parte, desde que la Unión Europea aprobase la directiva 96/48/EC en julio de 1996 relativa al marco europeo de



trenes de alta velocidad, el sector ferroviario ha optado por tomar las medidas necesarias para certificar la interoperabilidad de los trenes a nivel internacional.

Por consiguiente, se han venido sucediendo en los últimos años numerosos proyectos para la definición de una plataforma estándar de comunicación ferroviaria, proyectos como TrainCom, ModTrain, o InteGRail. El principal objetivo de todos ellos ha consistido en identificar las necesidades del sector ferroviario en el futuro próximo y proponer, allá donde era posible, las soluciones más adecuadas al respecto. Hay que señalar como conclusión común de dichos proyectos que las mejores soluciones técnicas no lo eran desde el punto de vista del sector si no venían acompañadas de dos características singulares muy poco habituales en el sector de TIC: ser tecnologías muy probadas, que hayan pasado con éxito la prueba del mercado en otros sectores, y a pesar de ello con largo recorrido, debido a los dilatados plazos de amortización del material rodante. El ciclo de vida de las tecnologías de comunicaciones es generalmente breve, especialmente en el caso de las inalámbricas.

En lo que las comunicaciones embarcadas del tren se refiere, InteGRail destaca entre todos esos proyectos por disponer de un subproyecto específico relativo a las comunicaciones del tren: SP3D: «Advanced System Communication». El objetivo del mismo radica en garantizar el flujo eficiente y fluido de la información en el entorno ferroviario por medio de redes avanzadas de comunicación. Hoy en día, el punto de partida de las comunicaciones embarcadas ferroviarias radica en el estándar IEC 61375 «Train Communication Network». TCN fue adoptado como estándar internacional en 1999 y es actualmente respaldado por el International Union of Railways (UIC) y el International Union of Public Transport (UITP). Por todo ello, su implantación en el sector es total y todos los fabricantes de vehículos y dispositivos ferroviarios trabajan con él.

TCN es un estándar que garantiza la interoperabilidad de los equipos ferroviarios a dos niveles: primero, entre dispositivos a bordo de un mismo vehículo y, segundo, entre vehículos de uno o varios trenes. Para cumplir con ambos objetivos, TCN define un esquema con dos buses: Wire Train Bus (WTB) y Multifunction Vehicle Bus (MVB). Los buses se unen por medio de unos nodos especiales que actúan como Gateway entre ambos.

Entre las características de TCN destacan las garantías de seguridad y la resistencia ante fallos, además de que certifica el determinismo y la entrega en tiempo real de la información entre equipos del tren. Además, el protocolo ofrece capacidad para la auto-inauguración del tren: descubrimiento de la topología (número y orden de vehículos) y autoconfiguración de los dispositivos. Su diseño determinista, basado en la asignación de roles a los dispositivos (maestro y esclavo) y la ejecución cíclica de los mismos fue especialmente diseñada para las aplicaciones de control y mantenimiento ferroviarios.

No obstante, tal y como se apunta entre las conclusiones del proyecto InteGRail, los trenes del futuro requieren de infraestructuras de comunicaciones más avanzadas que permitan integrar servicios tanto de control y mantenimiento (actualmente ejecutados sobre TCN), como otros de valor añadido como los servicios de vídeo-vigilancia o los servicios a pasajeros (vídeo-entretenimiento o acceso a internet, por ejemplo). Sin embargo, las características de TCN son demasiado limitadas para tales cometidos. Por un lado, por sus limitaciones de ancho de banda (1.5Mbps, aproximadamente) y por otro lado, por las peculiaridades del paradigma de comunicación empleado: carga útil por frame disponible de 256 bits, número de nodos direccionables limitado a 4096, jerarquía de maestro y esclavo obligatoria, modelo de ejecución cíclico y determinista, etc.

Por ello, en las implantaciones ferroviarias actuales se está optando por un diseño segmentado, donde cada servicio dispone de su propia red de comunicaciones embarcada particular. Así, en los trenes actuales, se dispone de la red TCN para las labores de control, gestión y mantenimiento de los dispositivos críticos por un lado y, por otro, de una red Ethernet embarcada dedicada a otras funciones (e incluso múltiples redes Ethernet, una para cada servicio añadido).

Evidentemente, este modelo es extremadamente ineficiente, ya que conlleva la replicación de la infraestructura de comunicaciones por cada servicio ofrecido, con las correspondientes implicaciones: incremento exponencial de los costes, dificultad para la adición de nuevos servicios, conflictos de instalación y mantenimiento, etc. Partiendo de este escenario, y de los aspectos positivos de TCN, en el que la interoperabilidad entre dispositivos y el funcionamiento global del tren está garantizado, se está haciendo un esfuerzo a nivel europeo para definir un nuevo marco relativo a las comunicaciones ferroviarias embarcadas: IEC Working Group TC9/WG43. El objetivo de este grupo de trabajo ambiciona estandarizar un nuevo modelo de comunicación embarcado, basado en Ethernet.

El trabajo que está llevando a cabo el IEC Working Group TC9/WG43 apunta a un escenario donde una única red avanzada, basada en Ethernet (sobre cobre o fibra óptica) y otros protocolos IP, permita garantizar la comunicación entre todos los dispositivos ferroviarios.

La disponibilidad de una red de comunicaciones basada en Ethernet estándar presenta numerosas ventajas: por ejemplo, los costes de los dispositivos involucrados en las comunicaciones se reducen de manera drástica, debido a la madurez de la tecnología. El único escollo a solventar consiste en garantizar que las directivas de seguridad y condiciones electromagnéticas del tren son cumplidas por tales dispositivos Ethernet. Por otro lado, el número y la variedad de funcionalidades a implementar sobre una red Ethernet-IP se disparan, a causa del gran abanico de soluciones ampliamente implantados en otros sectores.

Este nuevo escenario ferroviario, donde una única red avanzada de comunicaciones ha de ser soporte de todos aquellos servicios a implementar en el tren, es altamente atractivo para todos los agentes involucrados. Por un lado, un nuevo paradigma de comunicaciones más rápido y flexible (mayores anchos de banda, distintos modelos de comunicación, etc.) permitirá desarrollar y optimizar todas aquellas operaciones relativas al control y la gestión del tren: control de la tracción, la aceleración y el frenado, el control avanzado de puertas internas y externas, control de equilibrio y balanceo del tren, etc. Por otro, nuevos sistemas de monitorización y mantenimiento pueden ser implementados sobre estas redes por los operadores, lo que permitirá disponer de un tren inteligente (sirva como ejemplo el caso de los trenes regionales de Alemania con red Ethernet embarcada).

Adicionalmente, los operadores podrán ofrecer servicios de videovigilancia de gran calidad sobre esta red de gran ancho de banda, basándose en los numerosos desarrollos multimedia disponibles y portándolos a las condiciones específicas del tren. Por último, también los usuarios del tren del futuro se verán beneficiados, ya que los servicios de vídeo-entretenimiento serán de mayor calidad y, además, nuevos paradigmas de servicios al pasajero (como aquellos ofrecidos por tecnologías inalámbricas recogidos en las sucesivas conferencias TrainComms) podrán ser implantados en un futuro próximo: acceso a internet de banda ancha, servicios de *video-on-demand*, etc.

## 4. Sistemas inteligentes de transporte en carreteras

Si se analizan los sistemas inteligentes de transporte desde el punto de vista de su aplicación en la carretera, podríamos definirlo como un conjunto de elementos localizados en el interior o exterior del vehículo, que tienen como objetivo ayudar al conductor en diferentes situaciones, mediante la provisión de información sobre la situación de la carretera o facilitan la gestión y seguridad de las infraestructuras de transporte. Por tanto, la mayoría de los servicios o aplicaciones englobadas bajo el concepto de SIT aplicadas al transporte por carretera, pueden clasificarse atendiendo a las tres dimensiones de impacto más relevantes:

- 1) Seguridad en la carretera, cuyo objetivo es reducir el número total y la gravedad de los accidentes de tráfico que ocurren en las carreteras.
- 2) Eficiencia en la movilidad, persiguiendo reducir las congestiones y el consumo de combustible así como las emisiones medioambientales.
- 3) Confort del usuario, abarcando todo un conjunto de servicios que proporcionan mayor comodidad para al menos uno de los agentes implicados, por ejemplo los viajeros, el conductor del vehículo, el operador de tráfico, etc.

### 4.1. Necesidades de los agentes implicados

Partiendo de las anteriores áreas de actuación de los SIT en la carretera, los grupos de usuarios implicados son: los conductores, los gestores del tráfico, los operadores de mantenimiento y los servicios de emergencia, teniendo en cuenta que en muchas ocasiones los gestores del tráfico y los operadores de mantenimiento pueden o no ser las mismas organizaciones.

- 1) **Conductores o usuarios.** Podríamos decir, que el principal interés de los conductores es llegar a su destino en el menor tiempo posible, evitando situaciones que le impidan circular normalmente, como por ejemplo atascos o accidentes. Es obvio además, que no se trata solo de llegar a su destino en el menor tiempo posible, sino también hacerlo de manera segura, por lo que el conductor también necesita información o avisos acerca de la localización de puntos negros o peligrosos de la carretera, así como de posibles condiciones climatológicas adversas.

Por tanto, los SIT que se les podría ofrecer a este grupo de usuarios para cubrir sus necesidades están orientados a la provisión de información, por ejemplo acerca de rutas óptimas o alternativas en caso de incidencias en la vía por la que circulan, incluso de situaciones que pongan en riesgo su conducción.

Por otro lado, servicios que analicen las características de la conducción de cada usuario para posteriormente ofrecerles recomendaciones, podrían servir tanto a nivel particular, de modo que el usuario conduzca ahorrando combustible y perfeccionando sus técnicas de conducción, así como a nivel ciudadano, mejorando el impacto que presenta el transporte sobre el medioambiente.

Los considerados **usuarios vulnerables** son los ciclistas, motociclistas, peatones en general y los niños, la juventud, los ancianos y los discapacitados en particular. Son usuarios que suelen estar menos protegidos y, normalmente, circulan a menor velocidad que el resto de usuarios de la vía. En algunos casos poseen una pérdida significativa de las habilidades psicomotoras, que influyen directamente en los tiempos de reacción, peores habilidades de conducción o deterioro en la capacidad mental de analizar y reaccionar adecuadamente en situaciones de tráfico complejas.

**2) Gestores de tráfico.** Su principal funcionalidad es gestionar el tráfico de la manera más eficiente posible, permitiendo que el tráfico en las carreteras sea más fluido mejorando así la percepción que el resto de los usuarios poseen acerca de la red viaria. Los SIT que se adaptan a sus necesidades son aquellos que están orientados a mejorar la seguridad, evitando situaciones de riesgo como la existencia de obstáculos o imperfecciones en la calzada, los choques secundarios durante la resolución de una incidencia, etc.; y por otro los que permitan distribuir o redirigir el tráfico en función de los niveles de congestión esperados, como por ejemplo un servicio que gestione el tráfico de manera dinámica proporcionando o no permisos para circular por determinadas vías.

**3) Gestores/operadores de mantenimiento.** La principal necesidad de los operadores de mantenimiento es la detección de anomalías o imperfecciones en la vía que deban ser reparadas con la finalidad de incrementar la seguridad del resto de usuarios. De este modo, los SIT que demandan son servicios que les permitan conocer en todo momento tanto la situación del tráfico como el estado de la infraestructura que gestionan, así como funcionalidades de ayuda a la explotación que les faciliten la tarea de gestión del tráfico.

**4) Servicios de emergencia.** Entre sus necesidades está mejorar la seguridad, atendiendo las emergencias con la mayor rapidez posible, y por otro lado mejorar la fluidez como consecuencia de la rápida resolución de los accidentes. Los servicios que se adaptarían a sus necesidades y sus funcionalidades son aquellos que les proporcionen la información necesaria (localización, ruta óptima, tipo y gravedad del accidente, número de usuarios involucrados, condi-

ción en la que se encuentra la zona, etc.) para establecer sus planes de actuación con anterioridad a alcanzar la posición en la que ha ocurrido la incidencia.

## 4.2. Sistemas de adquisición de datos en carreteras

La etapa de adquisición se basa en la recogida de variables físicas o parámetros tanto de la carretera como del vehículo. Existe gran variedad de tipos de sensorización, los cuales son específicos en función de la información que se requiera adquirir, siendo por tanto también su aplicación muy diversa, desde la detección de incidentes o la identificación de vehículos hasta la monitorización de las condiciones atmosféricas o ambientales en la carretera. Todas las posibles aplicaciones de los sensores dentro de los SIT pueden incluirse dentro de uno de los dos siguientes grupos:

- Detección y monitorización de vehículos, para lo cual se emplearán **sensores de tráfico**.
- Medición de condiciones meteorológicas y ambientales, las cuales se monitorizan mediante **sensores meteorológicos y ambientales**.

Dentro de los sensores de tráfico puede establecerse una nueva clasificación en función de la colocación de los sensores y de la necesidad o no de dispositivos embarcados en los vehículos. De este modo, pueden encontrarse:

- Sensores de tráfico autónomos, que no requieren de un dispositivo embarcado en los vehículos sino que el elemento sensor está situado en la infraestructura.
- Sensores de tráfico dependientes: pueden darse dos casos, que el elemento sensor esté instalado en la infraestructura y requiera la presencia de un dispositivo embarcado en el vehículo o que el/los elementos sensores estén directamente en el vehículo.

### 4.2.1. Sensores de tráfico autónomos

Estos sensores se emplean para la detección y monitorización de vehículos y se clasifican en función de si son tecnologías intrusivas, es decir, instaladas en o a lo largo del pavimento, o tecnologías no intrusivas, las cuales se encuentran por encima o a los lados de la carretera.

1) **Sensores intrusivos**. Dentro de los sensores intrusivos existen multitud de tipos, como la espira magnética, el tubo neumático, los sensores piezo-eléctricos, los sensores de fibra óptica y los sensores geomagnéticos. El mecanismo fundamental de todos ellos es similar, detectan el paso de un vehículo cuando este pasa sobre los sensores y pueden proporcionar información sobre el volumen de tráfico, detectar y clasificar vehículos e incluso información sobre

#### Tecnologías de sensores intrusivos

Las tecnologías más comunes para el desarrollo de sensores intrusivos son: espiras inductivas, tubos neumáticos, sensores piezoeléctricos, de fibra óptica o geomagnéticos.

la velocidad. Los más usados en las carreteras son las espiras magnéticas y los tubos neumáticos. La tabla 2 muestra los parámetros que son capaces de medir este tipo de sensores.

Tabla 2: Sensores de tráfico autónomos intrusivos

| Tipo de sensor           | Parámetros de medición   |
|--------------------------|--|
| Espiras magnéticas       | Volumen de tráfico<br>Presencia<br>Velocidad<br>Clasificación del vehículo   |
| Tubo neumático           | Volumen de tráfico<br>Velocidad (empleando el tubo doble)<br>Clasificación (sobre la base del número y espacio entre ejes) |
| Sensores piezoeléctricos | Volumen de tráfico<br>Peso del vehículo<br>Tipo de vehículo (sobre la base del número y espacio entre ejes)                |
| Sensores de fibra óptica | Número de vehículos<br>Peso del vehículo<br>Tipo de vehículo (sobre la base del número y espacio entre ejes)               |
| Sensores geomagnéticos   | Presencia<br>Volumen de tráfico  |

2) **Sensores no intrusivos.** A diferencia de los sensores intrusivos, este tipo de detectores no interfieren directamente sobre el tráfico durante su funcionamiento, ya que se sitúan sobre o en el lateral de la calzada.

Los sensores no intrusivos pueden dividirse en sensores activos, que emiten una señal y captan la respuesta reflejada sobre el vehículo (por ejemplo, los radares de microondas, los radares láser o los sensores ultrasónicos), y pasivos, que captan las variaciones producidas en ciertos parámetros debido al paso de un vehículo (por ejemplo, los sensores infrarrojos, los sensores acústicos y las cámaras de vídeo).

#### Tecnologías de sensores no intrusivos

Las tecnologías más comunes para el desarrollo de sensores no intrusivos son: radar microondas, radar láser, sensor ultrasónico, sensor infrarrojo pasivo, sensor acústico, cámaras de vídeo.

Tabla 3: Sensores de tráfico autónomos no intrusivos

| Tipo de sensor               | Parámetros de medición  |
|------------------------------|---|
| Radares de microondas        | Velocidad<br>Clasificación (por la longitud del vehículo)<br>Los radares FMCW (de frecuencia modulada) detectan también la presencia de un vehículo, es decir, detectan vehículos parados |
| Sensores láser (LIDAR)       | Clasificación fiable de vehículos (sobre la base de su longitud y volumen)  |
| Sensores ultrasónicos        | Detección de vehículos en movimiento o parados<br>Velocidad   |
| Sensores infrarrojos pasivos | Velocidad<br>Volumen de tráfico<br>Clasificación del vehículo   |
| Sensores acústicos           | Detección de vehículos<br>Velocidad   |

| Tipo de sensor   | Parámetros de medición   |
|------------------|--|
| Cámaras de vídeo | Vigilancia<br>Detección de vehículos<br>Conteo de vehículos<br>Identificación de vehículos (sobre la base de la extracción automática de la matrícula) |

#### 4.2.2. Sensores de tráfico dependientes

A diferencia de los anteriores sensores de tráfico autónomos o independientes, los dependientes requieren la instalación o presencia de un equipo embarcado dentro de los vehículos.

Los sensores situados en la infraestructura son capaces de controlar la posición de cada vehículo a partir de la detección de alguno de los equipos embarcados, sobre la base de diversas tecnologías. Por otro lado, los sensores embarcados en los vehículos permiten detectar situaciones en las zonas cercanas de los vehículos (obstáculos, situación meteorológica, estado de la vía, etc.).

#### 4.2.3. Sensores embarcados en los vehículos

Junto a la anterior clasificación de sensores autónomos o dependientes, también debemos conocer y reconocer otro conjunto de sensores que no se encuentran desplegados directamente en la infraestructura y cuya información, gracias a los sistemas cooperativos, puede ser combinada con los sensores anteriormente descritos y así enriquecer la calidad de la información proporcionada a los SIT.

Tradicionalmente, los sensores embarcados en el vehículo se empleaban de manera aislada, de modo que, una vez que detecta la situación de su entorno, los dispositivos inteligentes instalados a bordo del vehículo actúan en consecuencia, avisando al conductor o realizando acciones sobre el vehículo como el caso del encendido automático de los faros. Actualmente, gracias a los sistemas de comunicaciones vehiculares, esta situación está cambiando, de manera que la información recogida por un vehículo puede ser compartida con el resto de vehículos en la carretera.

Las tecnologías desplegadas en los vehículos para llevar a cabo esta sensorización son variadas e incluyen técnicas de visión artificial, sensores radar y sensores LIDAR. La información proporcionada por estos sensores es usada por sistemas que se pueden agrupar en sistemas de confort o de asistencia a la conducción o sistemas de seguridad.

##### 1) Sistemas de confort o de asistencia a la conducción, con el objetivo de facilitar la conducción de los usuarios

- asistencia al aparcamiento

#### Sistemas cooperativos

Estos sistemas son los denominados C-ITS, y que están destinados a revolucionar el transporte por carretera en los próximos años, ya que permitirán que los coches se comuniquen entre sí (comunicaciones V2V) y con la infraestructura (V2I-I2V).



- control de distancia de seguridad
- reconocimiento de señales
- control adaptativo de la velocidad
- asistencia en el mantenimiento del carril
- control automático del vehículo o autopiloto

## **2) Sistemas de seguridad, que buscan prevenir los accidentes o al menos minimizar sus efectos**

- Asistencia a la percepción del conductor: ejemplos de este tipo de sistemas son los faros adaptativos, avisos de presencia de obstáculos, etc.
- Prevención de choques: aviso y prevención de salida de carril, de choques frontales, control del punto ciego, etc.
- Detección de fatiga del conductor.
- Pre-choque: estos sistemas minimizan los efectos de un choque en caso de producirse, controlando los airbags o la tensión de los cinturones de seguridad. El control de frenado puede incluirse como un sistema de este tipo.

### **4.2.4. Sensores meteorológicos y ambientales**

El objetivo de los sensores meteorológicos es cuantificar las variables meteorológicas, tales como la niebla, viento, nieve, hielo o lluvia. En el caso de los sensores ambientales, proporcionan información sobre los niveles de emisiones, como por ejemplo de CO<sub>2</sub> u otros contaminantes, como los NOx.

Normalmente, estos sensores se encuentran instalados en puntos de las carreteras donde es más frecuente la existencia de incidencias meteorológicas o concentración de tráfico, aunque existen también sensores que pueden ir embarcados en los vehículos y cuyas medidas pueden emplearse de manera cooperativa gracias a los sistemas cooperativos introducidos brevemente anteriormente.

A través de estos sensores se pueden captar una gran variedad de datos, tales como la temperatura y humedad del aire, la velocidad y dirección del viento, el tipo y la tasa de precipitación, la visibilidad, la temperatura de la carretera, todas ellas variables que pueden afectar en mayor o menor medida a las condiciones del tráfico pudiendo ocasionar congestión o accidentes.

Los parámetros relacionados con la contaminación acústica también pueden ser importantes para el caso de la gestión de la movilidad, ya que además de servir para el análisis del impacto medioambiental, pueden ser indicadores de alta intensidad de tráfico.

Actualmente, tanto la ecomovilidad como el impacto medioambiental están cobrando un papel fundamental en el estudio de los sistemas cooperativos. Es por ello, por lo que cada vez poseen mayor importancia los sensores medioambientales y las variables que estos captan del entorno en el que se encuentran instalados.

Como hemos podido comprobar, la información que proporcionan los diferentes tipos de sensores comentados son de gran utilidad para conocer el estado general de la vía y del tráfico que circula por ella. Sin embargo, el tratamiento de la información proveniente de multitud de sensores situados tanto en la infraestructura como en los vehículos puede proporcionar un nivel mayor de entendimiento de la situación de la vía.

### **4.3. Sistemas de procesamiento de datos en carreteras**

Es lógico pensar que la información proporcionada por los sensores por sí misma no es útil, sino que necesita ser integrada en sistemas encargados de recoger esa información, procesarla y proporcionársela de manera adecuada a través de las interfaces diseñadas a tal efecto para los usuarios, gestores, operadores y servicios de emergencia que operan en las carreteras. De manera resumida, a continuación introduciremos algunos de los principales ejemplos de estos sistemas.

**1) Sistemas de circuito cerrado de televisión (CCTV).** Formados por cámaras de televisión y todos sus elementos de transmisión, recepción, multiplexación, control, gestión y grabación desde la zona de campo hasta el centro de gestión pasando por los distintos nodos de control autónomos (NCA), a través de la infraestructura de comunicaciones (siendo fibra óptica la interfaz física más empleada). Las cámaras son del tipo «domo» o fijas con un posicionador que les permite realizar un giro de 360 grados, y se instalan sobre columnas metálicas de 15 o 20 metros de altura, lo que permite una buena visualización de la carretera.

**2) Sistemas de control y gestión o estación remota universal (ERU).** Es el sistema de control local encargado de la gestión de los diferentes tipos de equipamiento vial como paneles mensajes variables (PMV), sistemas toma de datos (ETD), sistema de sensores de variables atmosféricas en carretera (SEVAC), etc. Dispone del equipamiento local de comunicaciones que permite su enlace con los nodos de control autónomos (NCA) que permiten su comunicación con el Centro de Gestión de Tráfico.

**3) Sistema de sensores de variables atmosféricas en carretera (SEVAC).** Compuesto por distintos sensores de variables atmosféricas, que detectan parámetros que pueden afectar a las condiciones de la circulación como pueden ser, visibilímetros, anemómetros, pluviómetros, sensores de calzada intrusivos y no intrusivos, etc.

**4) Estación de toma de datos (ETD).** Compuesta por detectores y sensores físicos tipo espiras o sensores no intrusivos basados en efecto *doppler* o visión artificial. El sistema puede suministrar datos de tráfico relativos a la intensidad, longitud media de vehículos, distancia entre vehículos, ocupación, sentido de circulación, clasificación de vehículos por longitud y velocidad; y alarmas de operación tipo congestión de carril, vehículo en sentido contrario, y cambio de sentido del carril.

**5) Sistema control de velocidad.** Encargado del control e identificación de velocidades prohibidas tanto en una sección determinada como en un tramo definido. Dependiendo del tipo de toma de velocidad que se quiera realizar, el sistema estará compuesto por uno o varios elementos de medida coordinados y emplazados de manera específica para que la medida sea válida y exacta. Estos sistemas incluyen elementos para el reconocimiento de matrículas de los infractores.

**6) Sistema de comunicaciones.** Permite la captación de datos y que la comunicación del equipamiento de campo se transmita al centro de gestión de tráfico, permitiendo el análisis de los datos o la modificación de la información que se transmite a los usuarios por parte de los PMV. Está compuesto por la infraestructura de red que une los equipos de campo mediante fibra óptica con los nodos de control autónomos (NCA), así como por los equipos de comunicaciones (SDH/PDH). Actualmente muchos nodos están basados en tecnología Gigabit e incluyen sistemas de Video IP.

**7) Sistema de señalización variable (PMV).** Formado por paneles de mensaje variable (PMV) de diferentes tipologías sustentados por estructuras metálicas tipo banderolas o pórticos. Los paneles de mensaje variable están compuestos por una o varias zonas gráficas de 32x32 o 64x64 píxeles y zona alfanumérica con posibilidades de 12 o 16 caracteres de 160, 220, 320 o 400 mm de altura. Este sistema se utiliza para transmitir a los usuarios las situaciones conflictivas o alternativas ante imprevistos, informando sobre el estado de la vía, en aras a prevenir situaciones adversas para los usuarios de las mismas.

**8) Sistemas de peaje tradicionales.** Están basados en vías canalizadas, con o sin barrera, las cuales disponen de estaciones de peaje donde el vehículo se monitoriza y se efectúa el pago, y de un centro de control para la gestión centralizada del correcto cobro del peaje y la información relacionada con el mismo. Estos sistemas complejos incluyen la gestión de los diversos medios de pago admitidos en las concesionarias, así como el uso de sistemas de pre y/o postclasificación de vehículos mediante sensores como los introducidos anteriormente, la incorporación de telepeaje en modos de funcionamiento dedicado (rápido) o mixto/combinado, o el uso de CCTV.

**9) Sistemas de peaje *freeflow*.** Permiten cobrar a los usuarios de una vía sin obligarles a parar, ni a reducir su velocidad, y sin elementos que obstaculizan la vía. Basan su funcionamiento en una serie de pórticos instalados a lo largo

de la vía en donde se encuentran los equipos electrónicos que permiten al sistema detectar a los vehículos, tomar fotografías de las matrículas, calcular el tipo de vehículo para aplicarle la tarifa que le corresponde y, además, «leer» los pequeños dispositivos que pueden llevar los vehículos para hacer más económico y fiable el pago del peaje, los denominados *tags* (en España son los conocidos como vía T o telepeaje)

Figura 5. Ejemplo de sistema de peaje *freelflow*



Fuente: <https://www.eadic.com/el-peaje-free-flow-llega-espana/>

#### 4.4. Sistemas de información de tráfico

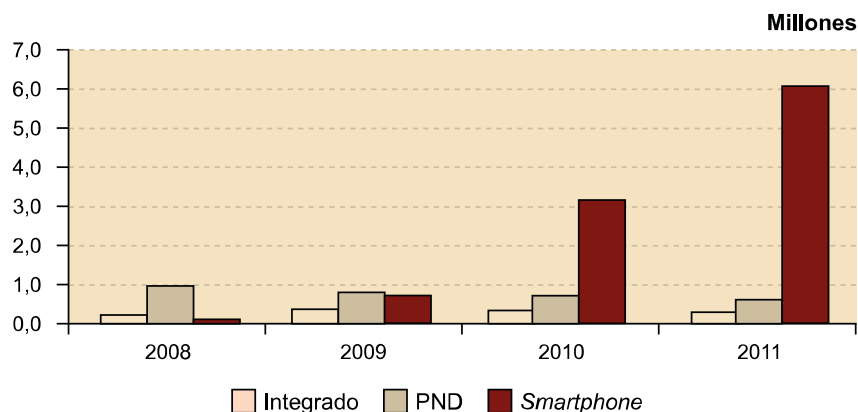
El concepto de sistemas de información de tráfico engloba aquellos sistemas que permiten que el transporte por carretera sea más confortable, lo que, a su vez, redundará en mayor seguridad y eficacia. Es más, si atendemos a la idea básica de seguridad integrada, muchos de los sistemas incluidos en este concepto tienen cabida dentro de la fase de circulación normal.

##### 4.4.1. Sistemas de navegación

1) **Sistemas de comerciales de elección de ruta.** El objetivo de un sistema de navegación y guiado es indicar el camino más rápido, simple y/o corto para ir desde un punto a otro, basándose, inicialmente, en el tipo y geometría de las carreteras, aunque la meteorología o el tráfico pueden condicionar la ruta calculada, si se dispone de un dispositivo sincronizado con una fuente que le proporcione tales datos. El concepto de navegación en carretera ha variado notablemente desde que se implantaron los primeros sistemas en Europa en la década de los noventa. La evolución, desde un punto de vista conceptual, ha estado encaminada hacia una mayor cobertura de los sistemas, más contenido y mayor precisión y cálculo de posicionamiento.

La incorporación de sistemas de navegación en los vehículos automóviles ha sido notable en los últimos años, como se puede apreciar en la figura 6.

Figura 6: Evolución de la venta de vehículos equipados con sistemas de navegación en España



| España          | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Integrado       | 173.439   | 192.710   | 204.240   | 228.749   |
| PND             | 926.930   | 751.430   | 687.489   | 516.304   |
| Smartphone      | 46.380    | 731.340   | 3.106.524 | 3.057.722 |
| Total           | 1.146.749 | 1.675.480 | 3.998.253 | 6.802.775 |
| Variación anual |           | 46,1%     | 138,6%    | 70,1%     |

Fuente: <http://www.guiagps.com>

Al respecto de las ventas de GPS, podemos recoger las siguientes citas:

- El 44 % de los compradores de vehículos nuevos incluirán en 2013 el dispositivo de navegación integrado (ABI Research).
- La integración a nivel mundial de los dispositivos GPS en los móviles crecerá a un ritmo anual de casi el 40 % durante los próximos cinco años, alcanzando los 834 millones de unidades en 2012 (Park Associates).
- El mercado mundial de la navegación móvil surge con 50 millones de unidades en 2007 para pasar a superar los 500 millones de unidades antes de que termine 2015 (Grupo de Investigación Telematics).
- Los navegadores integrados nuevos aumentarán su penetración un 1,6 % anual desde 2007 hasta 2012, en que el 24 % de los vehículos nuevos saldrán equipados desde el concesionario (Agencia SBD, 2007).
- La navegación por satélite se ha descubierto como una función inherente a la telefonía móvil. Somos conscientes del contexto y, creemos que será tan importante como fuera la voz hace 20 años (Olli-Pekka Kallasvuo, presidente de NOKIA de 2005 a 2010).

El posicionamiento dentro del mapa electrónico se hace, generalmente, a través de la señal recibida por un receptor GPS, reduciéndose el error notablemente sin este de tipo diferencial (DGPS). Sin embargo, en zonas de sombras (túneles, proximidad a edificios altos o en zonas boscosas) esta señal suele per-

derse. Para solucionar tal circunstancia, se puede recurrir al posicionamiento relativo respecto a un origen, el cual se obtiene por medio de otros sensores tales como sensores de giro de las ruedas (de donde se deduce la distancia recorrida y los giros por la diferencia de giro entre ruedas interiores y exteriores), sondas del campo magnético o giróscopos. El principal inconveniente de estos sistemas es la acumulación de error que obliga a correcciones periódicas empleando otros sistemas.

Este aumento de cálculo conlleva que las exigencias sobre el procesador de cálculo de rutas sea cada vez mayor, dado que se necesita que proporcione la ruta óptima según los parámetros fijados y que la recalculé con gran celeridad en caso de que el conductor no siga alguna de las indicaciones.

La unidad de presentación de avisos ha evolucionado notablemente en los últimos años a una gran velocidad, llegando a dispositivos que representan el mapa electrónico de la zona en cuestión, a una escala seleccionable, muestran las maniobras que deben realizarse y las reproducen en mensajes hablados para reducir las distracciones del conductor.

Las características más valoradas incluyen el cálculo de rutas, la rapidez del sistema, su facilidad de uso y las informaciones que proporciona por pantalla y por voz. Así pues, actualmente se pueden encontrar en el mercado equipos con las siguientes características a precios relativamente asequibles (de ahí su proliferación):

- Pantallas que logran mayor calidad en la información visualizada, más definición y colores, y permitiendo una más fácil interacción a través de pantallas táctiles.
- Ergonomía y seguridad al integrar el sistema de una forma más funcional al alcance del conductor, minimizando el tiempo de manipulación.
- Visualización y reproducción de mensajes con menús más intuitivos, utilizando elementos visuales o representaciones simbólicas para representar ciertas situaciones complejas.
- Utilización de bases de datos fonéticos para mejorar los mensajes al conductor.
- El desarrollo de los sistemas de navegación ha sido tal que, en la actualidad, resulta sencilla la integración de tal funcionalidad en una agenda electrónica.

Por su parte, los sistemas de elección de ruta pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Sistemas basados en algoritmos estáticos, que eligen la ruta con el criterio de distancia mínima o tiempo mínimo (en este último caso, a partir generalmente de las velocidades máximas permitidas en las vías).

- Sistemas basados en una estimación de los tiempos de desplazamiento reales en las distintas rutas, a partir de datos históricos de intensidades de tráfico.
- Sistemas basados en una estimación en tiempo real de los tiempos de desplazamiento, a partir de la recepción de datos de tráfico procedentes de un centro de información. La información recogida por el centro puede proceder de detectores convencionales, como bucles magnéticos, o de vehículos que estén utilizando las diferentes rutas, lo cual se aproxima al método de emplear los vehículos como sensores flotantes. Estos sistemas incluyen también una predicción de las condiciones de tráfico a corto plazo, así como estimaciones de los posibles impactos de incidentes de tráfico. El desarrollo de los algoritmos de cálculo de las rutas óptimas está siendo un campo muy activo de investigación durante los últimos años.

**2) Sistemas de navegación dinámica.** Si bien las aplicaciones más simples comprenden el guiado desde un punto de origen hasta uno de destino seleccionado por el conductor, el aumento de la información que puede ser proporcionada al vehículo de forma dinámica hace que el cálculo de la ruta óptima pueda estar condicionado por más variables que mejoren los resultados de un navegador estándar. Así, por navegación dinámica se hace referencia a aquel tipo de navegación que recalcula la ruta para alcanzar un determinado objetivo prefijado en función de incidencias transitorias, como retenciones, cortes de la vía, etc., que se van detectando (antes de llegar a las mismas) a través de comunicaciones con los centros de distribución de información.

El cálculo de los beneficios esperados por la generalización de estos sistemas presenta varias incertidumbres importantes. La primera se refiere a los algoritmos de asignación dinámica de tráfico y a la estabilidad de las predicciones de tiempos de viaje. El desarrollo continuo de estos algoritmos hace además difícil establecer las ventajas de los métodos dinámicos frente a los estáticos. La segunda concierne a la calidad de los datos recibidos en el centro de información. En la actualidad, y dado que el porcentaje de vehículos equipados con este sistema es todavía pequeño, los datos de intensidades de tráfico y velocidades en distintos puntos de la red se recogen casi exclusivamente a través de detectores en la infraestructura como se presentará en el epígrafe siguiente, lo que conduce a que las velocidades de desplazamiento en distintos tramos son estimadas de manera indirecta. El crecimiento del número de vehículos equipados debe, en principio, aumentar la exactitud de los datos y, con ello, de las predicciones.

El proyecto SISCOGA puesto en marcha por la Dirección General de Tráfico y el Centro Tecnológico de Automoción de Galicia plantea la creación de infraestructuras inteligentes, que suministren en tiempo real información adaptada a cada vehículo, mejorando la seguridad vial en los desplazamientos.

En el proyecto **SISCOGA**, para el desarrollo de las pruebas y prototipos, han equipado 20 vehículos con dispositivos informáticos creados a medida (unidades de comunicación a bordo, sistemas HMI y GPS con mapas específicos), y han elegido una zona de autovía en el entorno de Vigo (AP9, A55 y A52) a lo largo de la cual desplegarán un anillo de fibra óptica, 30 unidades de comunicación vehículo-carretera, 21 cámaras, 19 paneles informativos y 10 estaciones meteorológicas.

Toda esta infraestructura tecnológica suministrará la información, que una vez tratada por los sistemas tecnológicos, podrá mostrar en un panel informativo colocado en cada vehículo una variada información de interés para los conductores: incorporaciones de coches en intersecciones, velocidad óptima al acercarse a un semáforo, límites de velocidad variable, aproximación de vehículos de emergencias, o cualquier aviso relacionado con retenciones y condiciones meteorológicas.

#### **4.4.2. Control de las condiciones de tráfico**

Las nuevas aplicaciones dinámicas implican una actualización continua de los datos. Por ejemplo, los sistemas de control de la velocidad de carácter dinámico emplean variables como las condiciones atmosféricas o las condiciones físicas de la calzada (baches, grietas, charcos, etc.) para establecer las velocidades seguras. Estos efectos transitorios deben ser captados y procesados en tiempo real de modo que se pueda proporcionar una respuesta acorde a la situación generada. En la gestión del tráfico, la localización de retenciones o incidentes resulta vital y las demoras en la transmisión de tal información pueden hacer que esta pierda gran parte de su valor. Para tales usos e incluso para un sistema de navegación eficiente de características dinámicas como el presentado en el apartado anterior, no son suficientes actualizaciones mensuales o semestrales. Resulta de gran importancia identificar qué grado de actualización requiere cada aplicación y qué tecnología debe ser desplegada para lograr dicho objetivo.

Para adecuarse a las exigencias anteriores, se plantean dos soluciones fundamentales:

- Distribución de sensores en la infraestructura que transmitan la información a los centros de control. Ejemplos de estos sensores pueden ser los detectores de intensidad y velocidad, así como la incorporación de cámaras de vídeo.
- Incorporación de vehículos dotados de sensores que transmitan la información a un centro de control que se encargue, tras el procesamiento adecuado de la misma, de su distribución al resto de usuarios.



En la primera solución se están desarrollando grandes esfuerzos para la estimación de variables a partir de otras medidas como para el procesamiento automático de las imágenes captadas, intentando localizar, por ejemplo, incidentes o retenciones. En la segunda, los vehículos están dotados de GPS y alguna tecnología de comunicación y periódicamente mandan información. Esta información es centralizada y tratada y reenviada a otros usuarios. Nótese que la información necesaria que debe ser convenientemente codificada para la transmisión está en el bus de comunicaciones de los vehículos actuales:

- trayectoria del vehículo
- velocidad del vehículo
- actuación del limpiaparabrisas o la señal del sensor de lluvia
- temperatura del motor
- activación de las luces del vehículo (freno, emergencia, anti-niebla, etc.)
- indicaciones de los sensores que controlan la dinámica del vehículo
- estado de los sistemas de asistencia al conductor

Una vez recogida la información en los centros de control, es preciso analizarla, eliminar la que no sea correcta o redundante, decidir en caso de tener datos contradictorios y combinarlos con datos que provienen de fuentes externas.

El uso de vehículos flotantes es una solución eficiente para determinar tiempos de trayecto cuando se compara con otras soluciones de instrumentos estáticos en la infraestructura, si bien hay problemas en cuanto al retardo de la información y al posible bajo nivel de vehículos de estas características en un tramo de carretera. Así como uno de los retos es mantener un equilibrio entre coste y detección de incidentes lo antes posible, con el fin de obtener una información fiable y útil, se ha establecido que es necesaria una penetración de unidades sensorizadas en el parque de vehículos del 1 % - 5 %.

También es preciso tener en cuenta que, si hay varios centros receptores de información o de gestión de la misma, las comunicaciones entre los mismos pueden mejorar los datos suministrados a los usuarios.

Como ventaja de este tipo de sistema de actualización, se puede destacar que un alto porcentaje de los vehículos actuales ya poseen muchos de los sensores y equipos necesarios para desarrollar esta labor, siendo necesario, únicamente, establecer el protocolo de comunicación con un centro de recogida y procesamiento de la información de los diferentes «vehículos flotantes». Además, la independencia entre el vehículo y la infraestructura posibilita el uso del sistema en cualquier tipo de vía.

#### **4.4.3. Sistemas de diagnosis remota y asistencia**

La introducción de nuevas funcionalidades dentro del vehículo, apoyadas muchas de ellas, en mayor o menor medida, en desarrollos electrónicos, ha permitido aumentar las prestaciones de todo tipo. Sin embargo, esto ha llevado a

que, si no se quiere perjudicar los objetivos de fiabilidad y disponibilidad, sea necesaria la aplicación de técnicas de comprobación de buen funcionamiento de forma más asidua.

Antiguamente, hasta la década de los setenta, el mantenimiento y la diagnosis eran realizados por los propietarios de los vehículos y por pequeños talleres, donde se comprobaba qué funcionaba y qué no. En la actualidad, esto no es necesario y debe recurrirse a nuevas tecnologías de ensayo y lectura de los sensores repartidos en el vehículo durante dichas tareas de comprobación. Es decir, las técnicas de diagnosis han evolucionado en paralelo con los avances del propio vehículo. La diagnosis electrónica en el vehículo, tal y como se la conoce hoy, empezó a difundirse en la década de los ochenta a partir de las exigencias de reducción de contaminación.

#### **4.4.4. Diagnosis interna del vehículo**

Así, en el vehículo, la electrónica embarcada puede realizar un primer «auto-diagnóstico» de los sistemas, registrando las posibles anomalías de funcionamiento detectadas. Es lo que se denomina diagnosis a bordo (*on-board diagnosis*, OBD). Las unidades de control electrónico se han diseñado para poder intercambiar información a través de un bus de comunicaciones con el resto de unidades y con la unidad central, la que a su vez permitirá la conexión a los equipos externos que leerán la información almacenada. Además, la diagnosis interna ofrece una información al conductor a través de los indicadores luminosos pertinentes (siguiendo una simbología normalizada) y, en la actualidad, mediante mensajes cortos o mensajes de voz, de los fallos detectados, si bien, no de su causa.

La diagnosis interna implica la comprobación continua de puntos del sistema predefinidos, la detección de fallos y su correspondiente almacenamiento e información al conductor y la realización de diagnósticos de las causas de fallo, lo que está en consonancia con las capacidades de «razonamiento» de las unidades de control electrónicas del vehículo. Por otra parte, la decisión final de diagnosis de fallo ha implicado la utilización de diversas herramientas como modelos estadísticos, inteligencia artificial, pruebas sucesivas con instrumentación adicional, etc. Una solución es la elaboración de árboles de decisión sobre los que trabaje el sistema experto de diagnóstico.

Esto implica un estudio pormenorizado del sistema, de los subsistemas y de las interrelaciones entre ellos con el fin de tener identificados los fallos y sus causas. Otra alternativa es recurrir a redes neuronales, las cuales precisan de un tiempo de entrenamiento que permita que se ajuste al sistema concreto analizado. Puesto que se logra con esta herramienta un alto grado de fidelidad con el sistema, se pueden emplear estas redes en la estimación de salidas y en funciones de control. Por último, cabe indicar que la lógica borrosa aporta soluciones en un entorno complejo, en el que muchos de los parámetros no

son conocidos y es difícil modelizar físicamente el conjunto en su totalidad. Esta posibilidad, además, conduce a la obtención de respuestas en un menor tiempo, dada la naturaleza de las leyes lógicas.

## 5. Sistemas inteligentes de transporte en ciudades inteligentes

Actualmente es un hecho que hay más personas viviendo en las zonas urbanas que en las rurales, cotas que alcanzaron en 2018 el 54,9 % de la población mundial por primera vez en la historia. Se espera que esta tendencia continúe ya que el máximo crecimiento de la población mundial tendrá lugar en las zonas urbanas durante las próximas cuatro décadas, según las Naciones Unidas. Esta realidad plantea nuevos retos a las autoridades para garantizar el uso eficiente de los recursos de estas zonas urbanas y la calidad de vida de sus habitantes a través de una mejor gestión de los servicios, lo que requiere cambios significativos en la gobernanza, la toma de decisiones, la gestión de los servicios y el desarrollo de planes de acción específicos.

Para ello y desde hace años se está impulsando una revolución tecnológica que está propiciando el cambio bajo el concepto o paradigma de las nuevas ciudades inteligentes (*smart cities*). Sin embargo, la transformación de cualquier ciudad en una ciudad inteligente es un proceso largo y complejo, en el cual se deben aprovechar la mayor parte de las experiencias y las mejores prácticas de las iniciativas ya desarrolladas anteriormente.

El propósito final de una **ciudad inteligente** es alcanzar una gestión eficiente en todas las áreas de la ciudad (urbanismo, infraestructuras, transporte, servicios, educación, sanidad, seguridad pública, energía, etc.), satisfaciendo a la vez las necesidades de la urbe y de sus ciudadanos. Todo ello debe lograrse en consonancia con los principios de desarrollo sostenible expuestos en el Programa 21, promovido por Naciones Unidas, y tomando la innovación tecnológica y la cooperación entre agentes económicos y sociales como los principales motores del cambio.

### Enlace de interés

Consultad este enlace para más información: [http://www.innopro.es/pdfs/libro\\_blanco\\_smart\\_cities.pdf](http://www.innopro.es/pdfs/libro_blanco_smart_cities.pdf).

El concepto de movilidad en una ciudad inteligente se refiere a la mejora de la sostenibilidad, la seguridad y la eficiencia en los sistemas de transporte e infraestructuras. Por tanto, el transporte público representa un eje fundamental para vertebrar la estrategia de movilidad de una ciudad inteligente, ya que en sus distintas vertientes (autobús, suburbano/metro, tren), aventaja claramente en términos de sostenibilidad y eficiencia energética al transporte privado.

En este contexto, los SIT pueden y deben contribuir en la democratización y uso extensivo del transporte público, para lo cual se pueden diseñar y desarrollar múltiples estrategias. En este caso, nos vamos a centrar en la implementación de plataformas que permitan la interoperabilidad e intermovilidad de

los ciudadanos empleando un único billete de transporte, ámbito conocido como *ticketing*, cuyo objetivo es obtener un sistema de pago abierto, seguro, escalable y compatible con múltiples plataformas tecnológicas.

El documento de referencia en este ámbito es el recientemente presentado *White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area*, que adelanta la hoja de ruta prevista desde Bruselas para la concreción de un espacio común europeo del transporte. Aunque la agenda práctica de acciones se detiene en 2020, incluye una visión de lo que será el transporte europeo en 2050. La visión europea del escenario global de transporte se resume en la tabla 4.

Tabla 4. Visión europea del futuro espacio único europeo del transporte

|   | <b>Personas</b>  | <b>Mercancías</b>   |
|---|--|---|
| <b>Transporte de larga distancia e intercontinental</b> | Adecuada capacidad y mejora de la experiencia de viajar (conexiones eficientes, mínimas esperas, mínimas molestias asociadas a las medidas de seguridad, etc.)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estándares internacionales transporte marítimo</li> <li>• Conexiones en los <i>hinterlands</i> de los puertos más eficientes</li> <li>• Barcos más modernos y combustibles menos contaminantes</li> </ul>                        |
| <b>Intercity</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte multimodal con transición continua de servicios (información multimodal <i>on-line</i>, hubs multimodales, propuesta óptima de combinación de medios, etc.)</li> <li>• QoS y mayores derechos para los usuarios</li> <li>• Cero víctimas de accidentes en carretera</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logística sin papeles</li> <li>• Corredores multimodales para el transporte de mercancías</li> <li>• Cero barreras para el transporte marítimo</li> <li>• Camiones menos contaminantes y recorridos más cortos</li> </ul>        |
| <b>Transporte urbano</b>                                | Movilidad no basada en combustibles fósiles (coches de cero emisiones y eficientes, mayor utilización del transporte público, sistemas de propulsión alternativos para autobuses y taxis, mejores infraestructuras para peatones y ciclistas)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejores conexiones entre el transporte de larga distancia y la última milla</li> <li>• Centros logísticos y áreas de entrega</li> <li>• Despliegue generalizado de SIT</li> <li>• Camiones bajos en emisiones y ruido</li> </ul> |

### 5.1. Sistemas inteligentes de tarificación

La tarificación inteligente se considera cada vez en mayor medida un método efectivo de gestión de la demanda: «En el transporte público, el uso de ITS facilita una mejor gestión de las operaciones y de los nuevos servicios (gestión de las flotas, sistemas de información al viajero, sistemas de billeteaje, etc.). Para que estas aplicaciones puedan compartir datos, debe haber protocolos de intercambio de datos. Las partes interesadas han señalado que las normas deben ser interoperativas y estar abiertas a la innovación; los sistemas inteligentes de transporte deberían utilizar tarjetas inteligentes que puedan funcionar en varios modos de transporte, desempeñar funciones diversas (pagos relacionados con el transporte, servicios distintos al transporte, estacionamiento y regímenes de fidelización) y valer para zonas y, a más largo plazo, países distintos. Podría haber tarifas diferenciadas según la hora o los destinatarios (por ejemplo, horas punta o valle) que formaran parte del sistema».

#### Área única común europea

El objetivo fundamental de Europa en el ámbito del transporte para la próxima década es la articulación de un área única común europea del transporte en la que todas las barreras entre modos de transporte y fronteras queden eliminadas.

En este sentido, una de las necesidades no resueltas dentro del estado del arte detectadas por la Comisión Europea es la de sistemas adecuados para la recogida e interpretación de la información de movilidad. Las consultas y las iniciativas anteriores de recogida de datos han revelado la existencia de apreciables lagunas en las estadísticas de movilidad urbana en la UE. Esas lagunas deben llenarse a fin de facilitar la información necesaria para los responsables políticos y los profesionales a todos los niveles.

Los métodos de expedición de billetes en el sector del transporte, o lo que se conoce como *transport ticketing* han ido cambiando a lo largo de los años y existen diferentes aproximaciones a la hora de proveer este tipo de servicios. Se revisarán en primer lugar aquellos que emplean canales de comunicación convencionales, para pasar posteriormente a aquellos que presentan una interfaz web. Por último, se describirán los servicios de pago de transporte público de carácter más innovador, introduciendo dispositivos móviles.

**1) Soluciones fijas.** La forma más tradicional de adquirir el título de transporte necesario para viajar es la de interactuar personalmente con un empleado del operador de transporte, que expedirá un billete impreso, ya sea en la estación o en el propio vehículo a la hora de acceder a él. El pago se realiza en ese momento, pudiéndose abonar el importe en metálico o mediante tarjetas de crédito. No obstante, con el paso del tiempo y con el objetivo de optimizar los costes, se ha tendido a reemplazar esos métodos de carácter manual por otros automáticos, compuestos por máquinas autoventa, controles automáticos de acceso a las estaciones, canceladoras de títulos y demás infraestructura informática necesaria.

Además de estos servicios de pago convencionales en los propios medios de transporte (vehículos o estaciones), existen otros que ofrecen una interfaz web, generalmente pensados para ser usados con suficiente antelación respecto al inicio del viaje. Esta venta de billetes directamente al consumidor a través de internet supone un paso más, de forma que este pueda imprimir en su casa los billetes con los códigos de barras que los identifican. Este método es muy popular y cada vez está siendo más impulsado por los vendedores ya que los usuarios evitan tener que desplazarse a los puntos de venta y los propios vendedores eliminan los costes de impresión y distribución.

Un salto cualitativo fundamental en el proceso de introducir «inteligencia» en los sistemas de *ticketing* es la utilización de las tarjetas conocidas como *smart cards*, las cuales incluyen un pequeño microprocesador que permite la ejecución de cierta lógica programada. Estas se comportan como un sistema de recarga y pueden funcionar con o sin contacto. En el primer caso, es necesario introducir la tarjeta en un terminal inteligente para realizar la operación, y en el segundo, esto no es necesario, ya que funcionan con diferentes protocolos de transmisión en la capa física, transmisión que se realiza a través del aire.

2) **Mobile ticketing**. Puede decirse que la situación actual del *ticketing*, en términos generales, se basa en alojar los títulos de transporte en tarjetas, con o sin contacto, más o menos inteligentes. El siguiente paso en la evolución del *ticketing* es hacer que dichos títulos se alojen en el dispositivo móvil más habitual para la población en general: el teléfono móvil, lo que se conoce como *mobile ticketing*, en lugar de utilizar tarjetas especiales pertenecientes a los operadores de transporte. Así, un billete electrónico es enviado a un dispositivo móvil para permitir que el usuario pueda acceder al servicio contratado mediante su propio teléfono. Habitualmente, este billete electrónico o m-ticket, consiste en un código de barras, transmitido por MMS, que puede ser leído y validado directamente desde la pantalla del dispositivo móvil.

Las ventajas de dicho sistema son numerosas. En primer lugar, casi todo el mundo suele portar consigo un teléfono móvil. Integrando el título de transporte en dicho dispositivo, deja de ser necesario llevar encima un soporte físico adicional. Además, las capacidades presentes en el teléfono móvil (de posicionamiento, inteligencia, comunicaciones y almacenamiento) permiten integrar el sistema de pagos con el resto de sistemas en movilidad disponibles para usuarios del transporte público, como pueda ser la planificación de trayectos (información general y de guiado), la navegación o los sistemas de gestión de demanda.

Lo más novedoso en este campo es el uso de *Near Field Communication* (NFC), una tecnología de comunicaciones inalámbrica de corto alcance que permite el intercambio de datos entre dispositivos a pocos centímetros de distancia. En este caso, el billete electrónico se encuentra igualmente en el dispositivo, pero es a través de NFC como se transmiten los datos del billete en el momento de la validación. Esta evolución de los métodos de *ticketing* se debe a la necesidad de convertir el proceso en uno más eficiente y barato, que proporcione al usuario un servicio flexible y adecuado a la movilidad.

### 5.1.1. Tecnología NFC

*Near Field Communication* (NFC) es un protocolo basado en una interfaz inalámbrica que permite la comunicación entre dos entidades (*peer-to-peer*) próximas. Dicho protocolo establece conexión *wireless* entre las aplicaciones de la red y los dispositivos electrónicos, concretamente trabaja en la banda de los 13,56 MHz, esto provoca que no se aplique ninguna restricción y no requiera ninguna licencia para su uso, pero limita el alcance de funcionamiento de la misma a menos de 20 cm, por lo que las dos entidades que se comunican deben estar próximas entre sí. En las comunicaciones realizadas mediante el protocolo NFC una de las entidades será la encargada de iniciar y monitorizar la comunicación, pudiendo tomar este rol cualquiera de las dos entidades implicadas.

Soporta dos modos de funcionamiento, todos los dispositivos del estándar NFCIP-1 deben soportar ambos modos:

1) **Activo.** Ambos dispositivos generan su propio campo electromagnético, que utilizarán para transmitir sus datos.

2) **Pasivo.** Solo un dispositivo genera el campo electromagnético y el otro se aprovecha de la modulación de la carga para poder transferir los datos. El iniciador de la comunicación es el encargado de generar el campo electromagnético.

El protocolo NFCIP-1 puede funcionar a diversas velocidades 106, 212 o 424 Kbit/s. Según el entorno en el que se trabaje, las dos partes pueden ponerse de acuerdo de a qué velocidad trabajar y reajustar el parámetro en cualquier instante de la comunicación.

La tecnología NFC aplicada al transporte público de pasajeros significa la integración en el terminal móvil del servicio de *ticketing* del transporte público; integración entendida como un nuevo soporte para el bono de transporte, muy atractivo para usuarios habituales, pero que deberá convivir con soluciones hábiles para la atención al viajero ocasional. Debe incluir funciones de validación complementarias para el acceso al transporte público o la compra de billetes o recarga del saldo del bono de transporte embebido, es decir, para todas aquellas funciones que impliquen una transacción económica.

La arquitectura NFC definida por el NFC Forum define tres modos de comportamiento:

1) **Reader/Writer.** En este modo el dispositivo NFC puede ser usado tanto para leer como para escribir datos en *tags* u otros dispositivos.

2) **Card Emulation.** En este modo, el dispositivo NFC actúa como una tarjeta de proximidad permitiendo ser leído por lectores externos. En este caso, el emulador aparecería ante el lector del modo *reader/write* como un *tag* pasivo, pudiendo de hecho ser activo, ya que el teléfono puede encenderse proporcionando energía al chip NFC. A pesar de esto, las funciones de un emulador serán aquéllas de un *tag* pasivo. Este modo es seguro.

3) **Peer-to-peer.** Este modo permite a dos dispositivos transferirse datos mutuamente.

NFC Forum distingue entre dispositivos NFC y etiquetas NFC. Un dispositivo NFC es un dispositivo que implementa al menos las partes obligatorias de la pila de protocolos de NFC Forum satisfaciendo los requerimientos de interoperabilidad. Entre los distintos modos contemplados, un dispositivo NFC debe

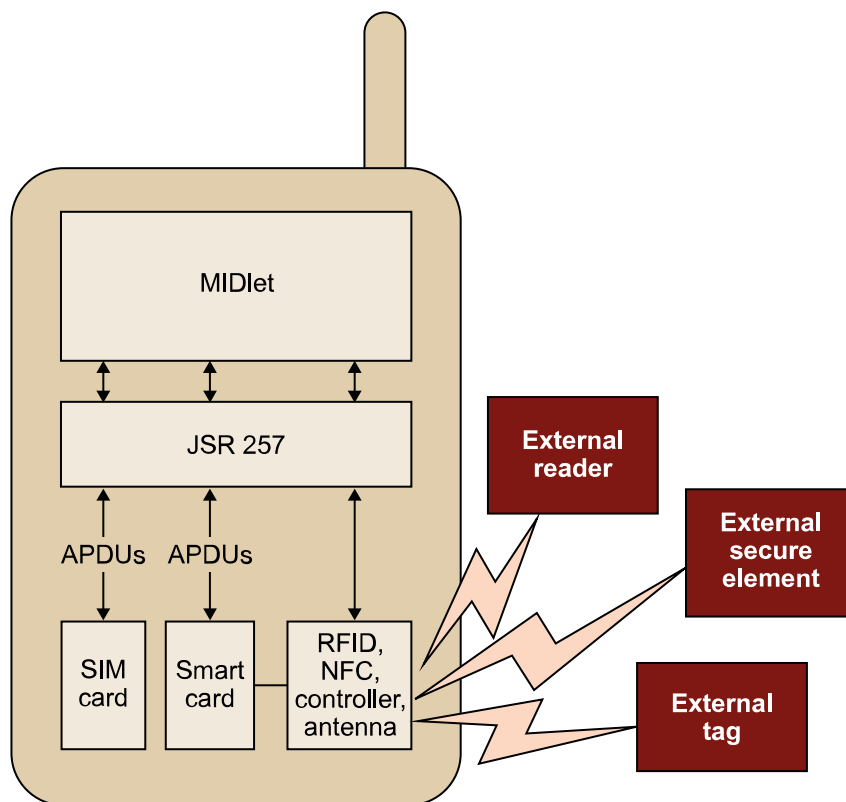


poder soportar el modo *Peer-to-peer* y el modo *Reader/Writer*, siendo opcional el modo *Card Emulation*. Un teléfono móvil, una PDA o un ordenador personal podrían ser dispositivos NFC.

Entre los posibles modos de funcionamiento contemplados, sería el modo *Card Emulation* el que tendría cabida en el contexto de *mobile ticketing*. El hecho de que NFC sea compatible con los estándares de tarjetas ISO 14443 A/ MIFARE y FeliCa permite que esta tecnología pueda ser utilizada en las infraestructuras de transporte ya existentes.

Para este y otros escenarios donde la seguridad es importante, el dispositivo móvil debe contener un elemento que permita el almacenamiento seguro. Esta combinación de hardware y software embebido en el dispositivo se conoce como elemento seguro (*secure element, SE*). Este elemento proporciona un área de seguridad para la ejecución de aplicaciones que así lo requieran. Como consecuencia, el sistema operativo existente en el elemento seguro debe poder instalar, personalizar y gestionar múltiples aplicaciones facilitadas por distintos proveedores vía OTA. Hay muchas alternativas de elemento seguro; este puede ser, por ejemplo, una tarjeta de memoria segura o la tarjeta SIM (*subscriber identity module*) del usuario.

Figura 7: Estructura de una aplicación NFC



A continuación se citan los diferentes elementos que forman parte de la estructura resumida en el dibujo anterior:

- entorno de ejecución Java con la implementación de JSR-257
- aplicación MIDlet instalada en el dispositivo
- chip NFC, que se podrá comunicar con lectores externos, etiquetas NFC u otros dispositivos NFC, dependiendo del modo de operación
- tarjeta SIM
- tarjeta inteligente

El modo de funcionamiento usado en los sistemas de *ticketing* es el conocido como *Card Emulation*. En este modo, un elemento seguro del dispositivo se comunica con el lector externo. Hay que destacar que la comunicación puede darse entre dos dispositivos NFC, uno en modo *Card Emulation* y el otro en modo *Reader/Writer*, o incluso entre el dispositivo NFC en modo *Card Emulation* y un terminal lector, como los que se encuentran implantados en algunos sistemas de transporte. La aplicación que se instala en el teléfono móvil para proveer de una interfaz gráfica al usuario es consciente de la comunicación entre el elemento seguro y el lector externo, pero no tiene por qué participar en ella.

Las ventajas principales que aporta esta tecnología son las siguientes:

- **Importante reducción de costes de operación.** Para el operador, los costes de mantenimiento de los equipos de expedición y comprobación de billetes se reducen en gran manera con respecto a los sistemas de banda magnética. Esta reducción se debe a que la tecnología de tarjetas sin contacto elimina las partes mecánicas móviles, que requieren una limpieza y ajuste regular, así como la reposición de piezas gastadas.
- **Bajo coste.** Actualmente, las tarjetas chip sin contacto tienen un coste aproximado de 2 euros. En un futuro próximo algunos de los tags sin contacto pueden llegar a tener un coste tan bajo como 20 céntimos de euro gracias a las economías de escala y las mejoras de los procesos de fabricación.
- **Seguridad.** La seguridad frente a intrusiones durante las transacciones en el caso de requisitos bajos de seguridad se basa en la proximidad de los dispositivos (10 cm), pudiendo incluirse mecanismo de autenticación y encriptación para aplicaciones con mayores requisitos de seguridad. Además, las tarjetas incorporan diferentes sistemas de seguridad (protección por PIN, encriptación, detección de *tampering*) que aseguran la confidencialidad e integridad de los datos contenidos.
- **Rapidez en la transacción.** Conexión instantánea, hasta 424 kilobits por segundo

- **Sencillez.** El usuario solo tiene que pasar la tarjeta o dispositivo para que la operación se lleve a cabo.
- **Tecnología probada.** La tecnología se basa en la tecnología RFID y de tarjetas inteligentes que ha sido probada por millones de usuarios al usar los teléfonos GSM o en el pago de transporte, especialmente en Asia. La industria de las tarjetas inteligentes tiene años de experiencia y está muy desarrollada.
- **Diferentes formatos.** Los dispositivos sin contacto pueden adoptar diferentes formatos como tarjetas de crédito, SIM, incorporada en relojes o en teléfonos móviles.
- **Un único *token*.** Se puede utilizar un único *token* para la realización de tareas muy diferentes (pago, acceso, descarga de información, identificación). Para esto es necesario la utilización de tarjetas de alta capacidad.

Las aplicaciones más claras en el ámbito del transporte son:

1) **Teléfono como tarjeta de transporte.** Se puede «cargar» al teléfono móvil con una tarjeta de transporte. En este modo de operación, el móvil se comporta externamente igual que una tarjeta sin contacto de transporte. Se puede grabar, recargar, validar etc., permitiendo las siguientes funcionalidades:

- ahorro en necesidad de soportes y tarjetas
- consulta del estado y saldos de la tarjeta por parte del usuario
- recarga remota de saldos de monedero o títulos de transporte en la tarjeta
- correcciones y modificaciones remotas sobre la tarjeta
- activación de un control automáticos de saldos y solicitar de manera automática una recarga
- domiciliación a través del operador estas operaciones

## 2) Información basada en localización (*location based systems*, LBS)

En lugares específicos de una infraestructura de transporte se puede activar la petición de información. Por ejemplo, se puede fijar una etiqueta (un chip pasivo) en una parada y al acercar el móvil, activar una función que informa de los autobuses y horarios de la paradas, tanto oficiales como si se dispone de un SAE, la información en tiempo real de tiempo de espera para los próximos autobuses. En el caso de un invidente, la aplicación en el móvil puede generar mensajes de audio en vez de mostrar la información en la pantalla. Si por alguna razón hay alguna incidencia, puede informarse de aquella que le afecte, como que la parada se ha desplazado temporalmente a otro lugar por las fiestas de la población. El pago inteligente también puede aportar información muy

valiosa sobre la conducta y los modelos de movilidad de los usuarios, que permita generar y poner en marcha servicios complementarios de información adaptados a su ubicación y a sus necesidades.

## Bibliografía

**Agencia Ferroviaria Europea** (2013). *Technical Specification for Interoperability regarding Telematics Applications for Freight TAF-TSI*.

**Bouskela, M.; Casseb, M.; Bassi, S.; De Luca, C.; Facchina, M.** (2016). *La Ruta Hacia las SmartCities: Migrando de una Gestión Tradicional a una Ciudad Inteligente*. Washington, DC, USA: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Comisión Europea** (2001). *Libro Blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. Septiembre 2001. Comisión de las Comunidades Europeas.

**Comisión Europea** (2007). *Libro Verde de la Comisión. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana* (págs. 551-final).

Directiva 91/440/CEE de 29 de julio de 1991, sobre el desarrollo de los ferrocarriles comunitarios.

Directiva 95/18/CE, de 19 de junio de 1995, sobre concesión de licencias a las empresas ferroviarias.

Directiva 2001/14/CE, de 26 de febrero de 2001, relativa a la adjudicación de capacidad de infraestructuras ferroviarias, aplicación de cánones por su utilización y certificación de la seguridad.

*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en entornos complejos: Entornos Ferroviarios*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT) – Grupo de Nuevas Actividades Profesionales.

**Enerlis, Ernst and Young** (2012). *Libro Blanco Smart Cities* (1.<sup>a</sup> ed.). Ferrovial and Madrid Network. ISBN: 978-84-615-9831-1. <[http://www.innopro.es/pdfs/libro\\_blanco\\_smart\\_cities.pdf](http://www.innopro.es/pdfs/libro_blanco_smart_cities.pdf)>

**Morandi, C.; Rolando, A.; Di Vita, S.** (2016). *From Smart City to Smart Region, Digital Services for an Internet of Places*. Zurich, Switzerland: Politecnico de Milano; SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology.

**Naranjo, J. E.; Jiménez, F.; Armingol, J. M.; Escalera, A. de la** (2008). *Entornos inteligentes basados en redes inalámbricas: aplicaciones al transporte, automóvil inteligente/conectado y seguridad vial*. Informe de vigilancia tecnológica. Universidad Politécnica de Madrid.

**Reichart, G.; Friedmann, S.; Dorrer, C.; Rieker, H.; Drechsel, E.; Wermuth, G.** (1998). *Potentials of BMW Driver Assistance to Improve Fuel Economy*. FISITA World Automotive Congress, París, 27 septiembre-1 octubre.

**Rey García, E.; Torres Arjona, J.; Alfonso Kurano, J.; Sánchez Almodóvar, N.; Menéndez García, J. M.** *Gestión de la mejora de la movilidad a partir de servicios cooperativos*. Cuadernos Tecnológicos de la Plataforma Tecnológica de la Carretera.

**Tolsada Bris, L.** (2012). *Desarrollo de una aplicación de transferencia de ficheros basada en NFC y Bluetooth*. Universidad Carlos III de Madrid.

**Unión Europea** (2011). *Libro Blanco del Transporte: Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible* (págs. 144-final). ISBN: 978-92-79-18274-7 doi:10.2832/42444.

**Venhovens, P. J. T.; Bernasth, J. H.; Löwenau, J. P.; Rieker, H. G.; Schraut, M.** (1999). «The application of advanced vehicle navigation in BMW driver assistance systems». *SAE paper* (núm. 1999-01-0490).

**World Population** (2015). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <[https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/World\\_Population\\_2015\\_Wallchart.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/World_Population_2015_Wallchart.pdf)>

### Páginas web (fecha de consulta: marzo 2019)

[http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-11-360\\_es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-360_es.htm)

[https://www.indexmundi.com/world/demographics\\_profile.html](https://www.indexmundi.com/world/demographics_profile.html)

<https://local.iteris.com/arc-it/>

<https://nfc-forum.org/>