

# Sistemas inteligentes de transporte (SIT)

Unai Hernández Jayo

PID\_00157988



# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Qué entendemos por sistemas inteligentes de transporte.....</b>	<b>9</b>
1.1. Orígenes de los sistemas inteligentes de transporte .....	11
1.2. La importancia del transporte y la movilidad .....	12
1.3. Beneficios de los sistemas inteligentes de transporte .....	14
1.3.1. Mejora en la seguridad vial .....	15
1.3.2. Mejora de la eficiencia de los sistemas de transporte ....	16
1.3.3. Mejora de la productividad y reducción de costes .....	17
1.3.4. Beneficios medioambientales .....	18
1.3.5. Mejora de la movilidad de personas con dificultades ....	19
1.4. Áreas generales de aplicación de los SIT .....	20
1.4.1. Movilidad eficiente y sostenible .....	20
1.4.2. Sistemas de transporte modernos .....	23
1.4.3. Sistemas de información al viajero .....	24
1.4.4. Gestión de tráfico en ciudades .....	25
1.4.5. SIT en autopistas .....	26
1.4.6. Transporte de mercancías y gestión de flotas .....	28
1.5. Arquitectura de los SIT .....	30
1.5.1. Requisitos de una arquitectura para SIT .....	31
1.5.2. Requisitos funcionales de usuarios y partes interesadas .....	33
1.5.3. Arquitectura lógica o funcional de un SIT .....	35
1.5.4. Arquitectura física de un SIT .....	36
1.6. Ejemplos de arquitecturas de referencias para SIT .....	37
1.6.1. Arquitectura de referencia para SIT en la Unión Europea .....	37
1.6.2. Arquitectura de referencia para SIT en España .....	40
1.6.3. Arquitectura de referencia para SIT en Estados Unidos .....	42
<b>Bibliografía.....</b>	<b>45</b>



## Introducción

El modelo de sociedad en el que vivimos está definido en gran parte por el entorno en el que llevamos a cabo nuestra vida cotidiana. Las ciudades son los núcleos que concentran cada vez más la población en los países desarrollados o en vías de desarrollo, con los problemas que conlleva este aumento en su densidad de población: suministros, seguridad, infraestructuras y movilidad entre otros. Es en este último ámbito en el cual los sistemas inteligentes de transporte (SIT) cumplen una labor fundamental: permitir un flujo continuo y seguro de personas y vehículos tanto dentro de la ciudad como en sus alrededores.

Al mismo tiempo, una de las palabras clave que va emparejada actualmente a la gran mayoría de desarrollos tecnológicos es la sostenibilidad, tanto económica (cualquier nuevo producto, aplicación o servicio debe ser autosostenido económicamente hablando), como medioambiental. De este modo, uno de los grandes retos a los que deberán hacer frente las megaciudades hacia las que se dirige la sociedad es evolucionar hacia sistemas económicos caracterizados por el bajo consumo energético y de bajas emisiones contaminantes. Es en este escenario donde los nuevos modelos de movilidad urbana e interurbana jugarán un papel fundamental, respondiendo a necesidades tanto económicas y medioambientales, y por ende, sociales.

Así pues, si muchas de estas responsabilidades recaen en las administraciones públicas, las cuales deben proporcionar sistemas de transporte comunitarios y públicos, los ingenieros y técnicos de muy diversas disciplinas, como proveedores de soluciones, deberán ser capaces de hacer atractivo el uso del transporte público, mediante la provisión de aplicaciones, servicios o sistemas que hagan más sencillo y rentable el uso de estos medios de transporte públicos frente a los sistemas privados.

El objetivo de esta asignatura, *Telecomunicación en el sector del transporte*, es ofrecer a los estudiantes una visión de estas soluciones desde el punto de vista de las telecomunicaciones y la telemática, mostrando al estudiante las herramientas que tiene a su alcance para ofrecer esas soluciones tecnológicas que ayuden a alcanzar objetivos globales, como pueden ser la movilidad sostenible, eficiente y eficaz en los diferentes medios de transporte y ámbitos que analizaremos en esta asignatura.

En este primer módulo veremos a qué se denomina sistema inteligente de transporte y analizaremos de manera muy sencilla, sin entrar aún en tecnologías y desarrollos, cuáles son sus aplicaciones más importantes y que sin darnos cuenta conviven ya con nosotros en nuestro día a día. Poco a poco, en los

siguientes módulos iremos descubriendo cómo la telemática es la clave tecnológica que hace posible el diseño, desarrollo y despliegue de estos sistemas y las aplicaciones que se derivan de ellos.

En este contexto introduciremos el concepto de *arquitectura de sistemas inteligentes de transporte*, que si bien no define cada una de las aplicaciones que son posibles desarrollar bajo el paraguas de estos sistemas (sería imposible abarcar todas ellas), establece un marco común que ayuda a contemplar los escenarios y partes interesadas (usuarios, desarrolladores, proveedores), así como el modo en que pueden interoperar de una manera óptima y efectiva.

## Objetivos

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

- 1.** Tener una visión global de qué se entiende por sistemas inteligentes de transporte.
- 2.** Reconocer los sistemas inteligentes de transporte que actualmente se pueden encontrar desplegados en las infraestructuras de transporte.
- 3.** Comprender los beneficios y las necesidades a las que responden los sistemas inteligentes de transporte.
- 4.** Identificar las áreas generales de aplicación de los sistemas inteligentes de transporte.
- 5.** Ser capaces de diseñar una arquitectura funcional y lógica para el desarrollo de aplicaciones en el ámbito de los sistemas inteligentes de transporte.





## 1. Qué entendemos por sistemas inteligentes de transporte

El término genérico sistema de transporte inteligente (SIT, o *ITS*, según el término inglés *intelligent transport systems*), engloba el conjunto de aplicaciones que hacen uso de las tecnologías de comunicaciones, control y procesado de información en el ámbito del transporte para obtener un beneficio tanto económico, como energético y social. Los SIT pueden ser aplicados en cualquier medio de transporte y tienen en cuenta todos los elementos que interactúan y que se pueden ver involucrados: el vehículo, la infraestructura y el usuario, ya sea este un conductor o un pasajero.

Como decíamos, la función principal de un SIT es mejorar el rendimiento de los sistemas de transporte, ayudando por una parte a los gestores de la infraestructura por medio de sus sistemas de explotación y de toma de decisiones, y por otra parte, a los usuarios de los mismos de modo que se obtenga una satisfacción global del sistema de transporte.

Para ello, un SIT básico estará formado por uno o varios sistemas encargados de recoger información, otros sistemas que procesan e integran dicha información, y finalmente, otros sistemas que se encargarán de proporcionar dichos resultados a los usuarios finales. De este modo, toda la información generada en tiempo real por el SIT podrá ser utilizada para conocer el estado de la red de comunicaciones, obtener información para planificar un viaje, gestionar dinámicamente el tráfico en un área determinada, reportar datos de una operación logística al cliente o mostrar eventos de tráfico en un sistema GIS. En definitiva, que todos los actores dispongan de más información en tiempo real y dispongan de más herramientas que les ayuden a procesarla, de modo que se pueda realizar una labor más coordinada e inteligente de la operativa de un sistema de transporte, ya sea por carretera, ferrocarril, marítimo/fluvial o aéreo.

En definitiva, si tuviéramos que dar una definición de sistemas inteligentes de transportes, podríamos decir que se trata de un conjunto de soluciones basadas en la combinación de tecnologías de las telecomunicaciones y de la informática que son diseñadas y desarrolladas para mejorar la gestión, mantenimiento, monitorización, control y seguridad del transporte, tanto terrestre (por carretera o por vía férrea), como marítimo/fluvial y aéreo.

### Sistema inteligente

Podemos definir un sistema inteligente como aquel que optimiza los procesos o recursos para la obtención de un producto deseado, facilitando para ello información en tiempo

real, para su seguimiento, evaluación y control, permitiendo además introducir variaciones durante el transcurso de su gestión.

Figura 1. Sistema de transporte inteligente conceptual



O bien podemos emplear la definición que aparece en Real Decreto 662/2012, de 13 de abril, por el que se establece el marco para la implantación de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte del BOE del 14 de abril del 2012.

Por ello, además de los objetivos principales enumerados al comienzo, los SIT proporcionan una serie de beneficios derivados de la mejora en la eficiencia operativa, fiabilidad de los servicios ofrecidos, mejora productiva en la gestión de las infraestructuras del transporte, además de un incremento en la seguridad, reducción del impacto ambiental, así como una gran variedad de servicios de información proporcionados a los usuarios de los medios de transporte. Los SIT incluyen por tanto una gran variedad de herramientas y servicios derivados de la aplicación de conceptos de telemática al área del transporte, entre los que podemos citar, entre otros muchos:

- Sistemas de gestión de tráfico automáticos.
- Sistemas de soporte a las operaciones de transporte público.
- Servicios de información al viajero.
- Sistemas de gestión y localización de flotas.
- Gestión de emergencias.
- Servicios de pago electrónico.
- Sistemas cooperativos vehiculares.

Como se puede observar, la tipología de aplicaciones y servicios es muy variada, principalmente porque los SIT están experimentando una evolución continua y cada vez se están realizando más esfuerzos y dedicando más recursos a su desarrollo e implantación. Reflejo de ello son las plataformas tecnológicas creadas al amparo del Gobierno con el objetivo de impulsar procesos innovadores en el área del transporte, ya sea por tierra, mar o aire, esta última en fase de creación (tabla 1).

Tabla 1. Plataformas tecnológicas españolas

Plataforma	Misión	Web
Plataforma tecnológica española de la carretera	Impulso de la competitividad y el crecimiento en el sector de las infraestructuras viarias en España	<a href="http://www.ptcarretera.es/">http://www.ptcarretera.es/</a>
Plataforma tecnológica ferroviaria española	Conseguir los avances científicos y tecnológicos que aseguren la competitividad, la sostenibilidad y el crecimiento del ferrocarril español	<a href="http://www.ptferroviaria.es/">http://www.ptferroviaria.es/</a>
Plataforma tecnológica del sector marítimo español	Definición de una perspectiva común de evolución previsible del sector marítimo en España	<a href="http://www.ptmaritima.org">http://www.ptmaritima.org</a>

Por otro lado, las instituciones juegan un papel fundamental auspiciando políticas que ayuden e incentiven el desarrollo y despliegue de aplicaciones que mejoren los actuales SIT. Un ejemplo lo encontramos en la Unión Europea, que en el actual programa de ayuda a la investigación denominado Horizon 2020, incluye un programa de trabajo exclusivo orientado al *Smart, green and integrated transport*, en los que se impulsan proyectos e ideas relativos al *Mobility for growth*, *Green vehicles* o *topics* más orientados a negocio, como es el caso del *Small business and fast track innovation for transport*. Se puede obtener más información en la web <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/smart-green-and-integrated-transport>.

### 1.1. Orígenes de los sistemas inteligentes de transporte

Muchos de los sistemas inteligentes que hoy en día se aplican en distintos medios de transporte tienen su origen en la necesidad de regular de manera ordenada y segura el tráfico en las ciudades mediante señales autocontroladas, como es el caso de los semáforos. Dos de los precursores de los actuales SIT son el *SCOOT* (*Split, cycle and offset optimisation technique*) y el *SCATS* (*Sydney coordinated adaptive traffic system*), los cuales sentaron las bases de los actuales sistemas de control y gestión de tráfico.

#### Lecturas complementarias

Sobre el SCOOT y el SCATS podéis leer los siguientes trabajos:

D. I. Robertson; P. B. Hunt (1982). "A Method of Estimating the Benefit of Coordinating Signals by TRANSYT and SCOOT". *Traffic Engineering and Control* (núm. 23).

P. R. Lowrie (1982). "The Sydney Coordinate Adaptive Traffic System – Principles, Methodology, Algorithms". *Proceedings of the IEE International Conference on Road Traffic Signalling*. Londres.

De este modo, los sistemas de control han ido evolucionando desde aquellos que eran desplegados en áreas geográficas concretas y que podían funcionar de manera independiente según unos criterios preestablecidos a los actuales sistemas, en donde no solo el hardware (señales, actuadores, sensores, etc.) está distribuido, sino también las aplicaciones, los servicios y los algoritmos que emplean la información proporcionada por dichos dispositivos para realizar ya sea una gestión dinámica del tráfico o el control de un proceso logístico.

Así pues, en este momento es difícil determinar dónde se encuentran las fronteras tanto físicas como lógicas de las aplicaciones dedicadas a los SIT, ya que los nuevos sistemas de procesamiento de información basados en técnicas de *machine learning*, *big data* o *data mining*, necesitan de fuentes de información muy heterogéneas para alimentar los sistemas de ayuda a la decisión, que actualmente son empleados en cualquiera de estas aplicaciones. Así pues, el concepto de *Internet of things* (Internet de las cosas) también ha llegado al transporte, de modo que cualquier elemento o agente que interviene en un SIT es un potencial consumidor y proveedor de información a los sistemas indicados anteriormente.

### **Internet de las cosas**

Este término hace referencia a la posibilidad de que cualquier objeto cotidiano pueda estar conectado a Internet, de modo que pueden ser identificados y ser considerados como fuentes de información o actuadores. Es un concepto hoy en día muy extendido y que da soporte a otros paradigmas, como pueden ser las *smartcities* o *smartgrids*.

## **1.2. La importancia del transporte y la movilidad**

Tanto el crecimiento como la creación de empleo dependen en gran medida de la evolución del sector de los transportes. Para hacernos una idea, el sector del transporte da trabajo directamente a unos diez millones de personas y representa cerca del 5% del PIB en Europa. La capacidad de la UE para competir en la economía mundial está condicionada por la eficacia de los sistemas de transporte. De este modo, para las empresas europeas la logística de transporte y almacenamiento representa el 10-15% del coste de los productos acabados, mientras que en la economía doméstica, el 13,2% del presupuesto se dedica a bienes y servicios de transporte.

A medida que crecen las necesidades de movilidad de nuestra sociedad, la UE debe contribuir con sus políticas a que los sistemas de transporte superen estos retos de futuro:

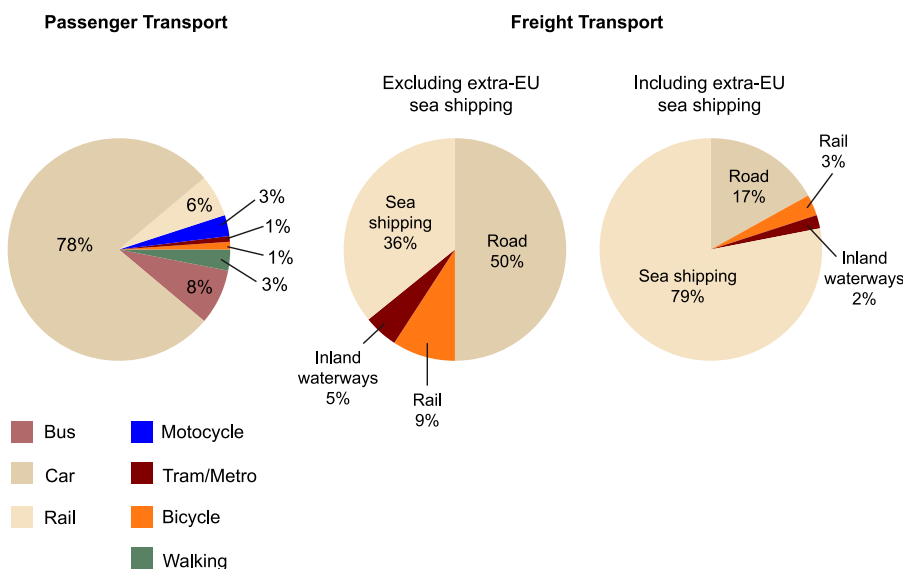
- Congestión de las carreteras y las rutas aéreas: ya le cuesta a Europa cerca del 1% de su PIB anual. Sin embargo, el transporte de mercancías sigue en aumento: se prevé que en el 2030 habrá crecido un 40% en relación con el 2005 y que en el 2050 el aumento será del 80%. El transporte de

pasajeros también crecerá en relación con las cifras del 2005: un 34% más en el 2030 y un 51% más en el 2050.

- Dependencia del petróleo: aunque el transporte ya es más eficiente desde el punto de vista energético, todavía depende del petróleo para cubrir el 96% de sus necesidades de energía. El petróleo procede cada vez más de regiones inestables del mundo y escaseará en las próximas décadas. Según las previsiones, en el 2050 su precio superará en más del doble el nivel del 2005 (59 dólares el barril).
- Gases de efecto invernadero: de aquí al 2050 la UE tiene que reducir las emisiones del sector del transporte un 60% en comparación con los niveles de 1990, si se quiere que el calentamiento global no supere los 2 grados. Para alcanzar ese objetivo, la UE debe lograr en el 2050 una reducción total de emisiones del 80-95% en comparación con los niveles de 1990.
- Infraestructuras: presentan un desarrollo desigual en la UE. Los países situados al este suelen carecer de líneas de ferrocarril especialmente construidas para la alta velocidad, a lo que se añaden unas redes convencionales a menudo en mal estado.
- Competencia: el sector de los transportes de la UE se enfrenta a una competencia creciente en los mercados de transporte de otras regiones del mundo en rápido crecimiento.

En el siglo XXI, el transporte por carretera absorbe la mayor parte de la movilidad sobre todo de pasajeros tal y como se aprecia en la figura 2, aunque también un importante porcentaje del transporte de mercancías.

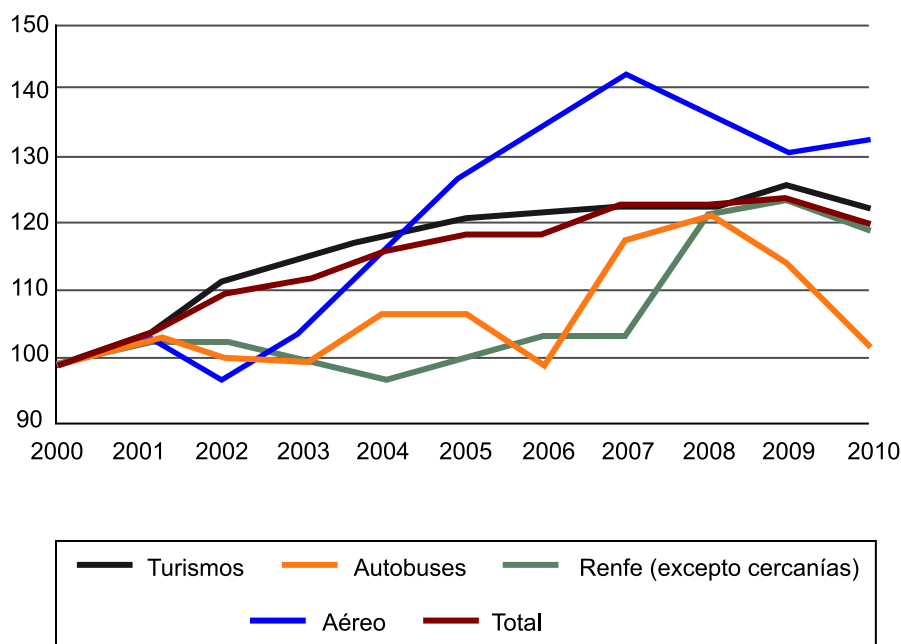
Figura 2. Distribución por modos de movilidad de viajeros y mercancías



Fuente: European Environment Agency.

En el caso de España, la carretera también juega un papel fundamental en la movilidad, tanto de personas como de mercancías, absorbiendo prácticamente la totalidad del crecimiento de la movilidad en las últimas décadas. Tomando como referencia los valores del año 2000, la figura 3 muestra cómo el incremento de la demanda de transporte de viajeros entre ese año y el 2010 se distribuye de manera heterogénea entre los diversos modos: mientras que el ferrocarril apenas presenta variación hasta el año 2008, en el que empieza a crecer significativamente hasta situarse en valores similares a la demanda total, el transporte aéreo crece de manera muy importante, si bien con una cierta caída en el 2008 y 2009; el transporte en coche se estabiliza a partir del 2005; y el transporte en autobús, con variaciones interanuales importantes, cae de manera significativa en el 2009 y 2010.

Figura 3. Evolución de la movilidad de pasajeros en España



Fuente: Ministerio de Fomento.

### 1.3. Beneficios de los sistemas inteligentes de transporte

Los beneficios que pueden reportar los SIT no siempre pueden ser calculados de manera cuantitativa, ya que muchos de estos sistemas están orientados a mejorar la experiencia de los usuarios, como por ejemplo, las aplicaciones destinadas a proporcionar información en tiempo real del transporte público. En este caso puede ser difícil medir la satisfacción de los usuarios o su confianza en el sistema, ya que entran en juego valoraciones subjetivas, no solo del servicio de transporte sino también de las propias aplicaciones proporcionadas a los usuarios.

Por esta razón, en los siguientes apartados se tratan de recoger aquellos beneficios que sí pueden ser parametrizables y cuantificables.

### 1.3.1. Mejora en la seguridad vial

Dos parámetros relativos a la mejora en la seguridad vial que sí se pueden cuantificar son, por una parte, el porcentaje de reducción de accidentes y del tiempo de respuesta de los servicios de emergencia. El primer indicador es una medida directa de la mejora en la seguridad: en el caso de España, el número de muertos en accidente de tráfico en el 2013 fue de 1130, la cifra más baja desde que hay estadísticas, siendo Andalucía (187 muertos), Cataluña (155) y Castilla y León (108) las comunidades que encabezan el ranking de la siniestralidad y que suman más de un centenar de fallecidos. Las causas de esta reducción pueden ser diversas, desde la actual situación económica (no usar el vehículo privado es una medida de ahorro), hasta el endurecimiento de las sanciones. A este respecto, habría que realizar estudios que permitan analizar en tramos concretos de carretera cómo los SIT pueden ayudar en la reducción de accidentes. Un ejemplo pudiera ser comparar el número de colisiones que se producen en un tramo determinado con y sin un sistema de control de velocidad variable en función de la densidad del tráfico. Un experimento de esta naturaleza se llevó a cabo en Suecia<sup>1</sup> en el año 2004 y se pudo comprobar cómo se consiguió reducir en un 20% el número de accidentes, reduciendo los límites de velocidad en un 3-4%.

<sup>(1)</sup>R. Liu; J. Tate (2004). "Network effects of intelligent speed adaptation systems". *Transportation Journal* (vol. 31, núm. 3, pág. 297-325).

Respecto a la reducción del tiempo de respuesta de los servicios de emergencia, podemos afirmar que es un claro ejemplo de beneficio proporcionado por los SIT. A este respecto, la Comisión del Mercado Interior y Protección al Consumidor del Parlamento Europeo anunció el pasado 23 de enero su respaldo a la norma que obliga a los vehículos fabricados a partir del 2015 a incluir el sistema eCall, un dispositivo embarcado que combina electrónica y comunicaciones capaz de determinar si hemos sufrido un accidente y avisar automáticamente a los servicios de emergencia.

#### Sistema eCall

En el aula tenéis el documento UE\_ecall.pdf, en el que podréis encontrar una descripción detallada del sistema eCall, que consiste básicamente en un sistema embarcado que, combinado con el GPS del vehículo y un sistema de comunicación, es capaz de establecer una llamada telefónica con el centro de gestión de emergencias para notificar la posición donde hemos podido sufrir un accidente.

En muchos países las prioridades de la política se centran ahora en la percepción de la seguridad personal, ya sea por nerviosismo sobre el tráfico, crimen, aislamiento o una percepción más amplia de la seguridad de la comunidad. Muchas personas tienen miedo del tráfico, incluso si nunca han estado involucrados en un accidente o colisión. Este temor tiene costes sociales. El ITS puede utilizarse para gestionar las interfaces entre los peatones y el tráfico, generando zonas más seguras y más agradables. Los sistemas de gestión de control y área de acceso han tenido éxito en mejorar la calidad de los centros de las ciudades; por ejemplo, las medidas de seguridad de la ciudad de Londres redujeron el número de accidentes con peatones significativamente.

*Help system for emergency life saving and public safety* (HELP) es el sistema desarrollado por el Japan Traffic Management Technology Association Institute of Urban Traffic Research, similar conceptualmente al sistema eCall. En las pruebas realizadas con este sistema, se comprobó que el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia pasó de 101 a 59 segundos empleando el sistema de a bordo HELP, capaz de detectar, por ejemplo, que ha saltado uno de los airbags del vehículo.

### 1.3.2. Mejora de la eficiencia de los sistemas de transporte

Uno de los principales objetivos de los SIT es mejorar la eficiencia de los sistemas de transporte, ya sea mediante la reducción de los tiempos necesarios para mover mercancías o pasajeros del origen al destino, o bien para asegurar que dicha movilidad se realiza de una manera segura y fiable.

La eficiencia se debe analizar en el contexto en el que se despliegan SIT. Por ejemplo, es evidente cómo la congestión puede afectar al tiempo necesario para realizar un viaje. En esta situación, un SIT podría detectarla y proporcionar rutas alternativas a los conductores. Pero puede haber situaciones en las que esta información no es significativa, como por ejemplo, cuando la vía de escape es única o bien el tráfico esté tan saturado que la opción de cambiar de ruta no es viable. Por tanto, la eficiencia del servicio no solo dependerá de lo bien implementado que esté, sino de las situaciones en las que se aplique, las opciones que ofrezca la infraestructura o cómo el sistema es capaz de discriminar a los usuarios a los que dirige la información: si en un atasco los vehículos pesados toman todos la misma vía de escape, estaremos cambiando el problema de lugar, pero no solucionándolo.

Otra forma de incrementar la eficiencia es mejorando los sistemas de seguridad. Por ejemplo, añadiendo a los vehículos sistemas de prevención de colisiones activos, los cuales pueden ser capaces de detectar lo cerca que estamos del coche que nos precede y avisarnos para reducir la velocidad o frenar, o incluso activar automáticamente el freno en caso de que hagamos caso omiso a la recomendación y la colisión pueda ser inminente.

Por otra parte, aquellos sistemas destinados a proporcionar información en tiempo real a los pasajeros (*RTTI*, por sus siglas en inglés, *real-time traffic and travel information*) hacen posible una mejora de la eficiencia desde su propia experiencia, es decir, proporcionan a los usuarios una satisfacción personal y un aumento de su confianza hacia el sistema o sistemas de transporte que estén usando. Este tipo de aplicaciones es muy importante y demandado en aquellas estaciones intermodales en las que los usuarios deben hacer trasbordos entre un medio de transporte y otro, de modo que deben asegurar una información veraz y fiable.



***i-TOUR: Intelligent transport system for optimized urban trips***, es un proyecto financiado durante el VII Programa Marco de la UE, cuyo principal objetivo, para el cual fue diseñado, es promover el uso del transporte público mediante el fomento de opciones de viaje sostenibles y proporcionando mecanismos de recompensa para los usuarios que eligen las opciones de viaje públicos. Para ello, durante el proyecto i-TOUR (finalizado en enero del 2013), se diseñó un *framework* abierto, en el que diferentes proveedores, autoridades y ciudadanos pudieran proporcionar servicios de movilidad multimodal inteligente. i-TOUR está destinado a facilitar el uso de diferentes medios de transporte: autobús, coche, ferrocarril, tranvía, etc. Para ello toma en cuenta las preferencias del usuario, así como información en tiempo real sobre las condiciones de la ruta a seguir, la meteorología y las condiciones de la red de transporte público”.

### **1.3.3. Mejora de la productividad y reducción de costes**

Uno de los ámbitos en los que se han llevado a cabo más desarrollos relacionados con los SIT es la gestión de autopistas, los cuales están generalmente orientados a maximizar el uso de la infraestructura y por tanto, a mejorar su productividad. Algunos ejemplos son la definición de las vías de alta ocupación, la posibilidad de crear dinámicamente carriles reversibles o la gestión dinámica de la velocidad en función de las condiciones del tráfico. Además, estos sistemas hacen posible un ahorro considerable tanto en lo relativo al coste del desplazamiento por parte del usuario, como desde el punto de vista del gestor (público o privado), ya que estas soluciones pueden evitar en gran medida la necesidad de realizar ampliaciones de las redes de comunicaciones.

Quizás el grupo de usuarios que más se pueden beneficiar en este aspecto de los SIT son las empresas y operadores logísticos, ya que los sistemas de gestión de flotas les han permitido mejorar de manera significativa su productividad y eficiencia. Estos sistemas integrales están basados principalmente en mecanismos de localización automática de vehículos (*AVL, automatic vehicle location*) y un software de gestión que permite comunicar tanto a proveedores como clientes, conductores y gestores de almacenes, es decir, todos aquellos agentes involucrados en la cadena de suministro, integrando la logística en el concepto *just-in-time*.

#### ***Just-in-time***

Es un sistema de organización de la producción para las fábricas, de origen japonés. También conocido como método Toyota o JIT, permite aumentar la productividad reduciendo el mantenimiento de inventarios al mínimo nivel posible, de modo que los suministradores entregan justo lo necesario en el momento necesario para completar el proceso productivo. Es en este proceso de entrega donde la logística juega un papel fundamental en la consecución de los objetivos del JIT.

*iCargo: Intelligent Cargo in Efficient and Sustainable Global Logistics Operations* es un proyecto desarrollado también durante el VII Programa Marco de la UE, que tiene como objetivos construir una arquitectura de intercambio de información abierta, que permite a los actuales sistemas de gestión de flotas y nuevas aplicaciones cooperar de manera eficiente de la manera más eficiente y rentable posible, tanto económicamente hablando como en lo relativo a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> durante los procesos logísticos. Para ello, iCARGO permite mejorar la sincronización de todas las tareas relativas a la carga y descarga durante la cadena de suministro que contemple diferentes medios de transporte.

### 1.3.4. Beneficios medioambientales

No aportamos nada novedoso si decimos que la sociedad actual está preocupada por el cambio climático y las consecuencias de los gases de efecto invernadero. Ante estos problemas, los sistemas de transporte aún tienen que mejorar mucho, pues los vehículos son una de las mayores fuentes de emisiones.

El transporte representa, por otro lado, uno de los sectores más perjudiciales para el calentamiento global y que más está contribuyendo a agravar el problema del cambio climático. Este sector concentra la mayor parte del consumo final de energía (40%) y supone el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en España. El elevado peso del transporte por carretera y su fuerte dependencia de los derivados del petróleo no hacen sino perjudicar más esta situación (tan solo el transporte por carretera concentra el 90% de las emisiones del sector), así como el acelerado ritmo de crecimiento del tráfico aéreo, que absorbe más del 13% del consumo de energía del sector en nuestro país. Simultáneamente, las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas por el sector de aviación han crecido rápidamente los últimos años, un efecto debido tanto a la globalización de la economía como a la reducción del precio de los vuelos. Se prevé que en el 2020 las emisiones del sector de la aviación internacional serán un 70% más que en el 2005. Incluso con una mejora de la eficiencia de combustible de un 2% al año, las emisiones pueden crecer hasta un 700% en el 2050 (en comparación con el 2005<sup>2</sup>).

<sup>(2)</sup>Fuente: <http://www.wwf.es/>

Debemos tener en cuenta además que la cuantificación del impacto de los SIT destinados a reducir las emisiones del transporte puede ser complicada, ya que la calidad del aire depende de muchos factores además del transporte (clima, industria, evolución de la capa de ozono, etc.). Aun así, servicios destinados a promocionar el uso del transporte público en decremento del privado o de control de tráfico en las ciudades pueden contribuir de manera significativa en la reducción de emisiones contaminantes.

Por otro lado, los SIT no solo pueden contribuir a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que, por ejemplo, pueden contribuir a reducir el impacto del tráfico en cuanto al ruido o a las vibraciones en determinadas situaciones (limitando la velocidad o el acceso a ciertas áreas en horas determinadas del día o en función del tipo de vehículo).

Los SIT pueden contribuir a delimitar y controlar zonas protegidas, como por ejemplo señalizando el área en función de políticas que determinen horarios y tipo de vehículos permitidos en función de las horas. Los SIT también pueden contribuir a medir la calidad del aire e informar a los residentes de los resultados. En este caso los SIT pueden contribuir a dotar de inteligencia a la ciudad, como es el caso de Santander (<http://www.smartsantander.eu/>), en donde se combinan diferentes sistemas inteligentes para dotar de más información a los habitantes de la ciudad.

#### **Santander smart travel**

El objetivo de este sistema integrado en el concepto *smart* Santander es proporcionar información en tiempo real sobre la congestión del tráfico en Santander gracias a los sensores instalados.

### **1.3.5. Mejora de la movilidad de personas con dificultades**

Los SIT pueden presentar mejoras en la movilidad para aquellas personas que presentan ciertas limitaciones en su interacción con el entorno, como por ejemplo, mejorando el acceso a los transportes públicos o incluso haciendo posible que su conducción sea más sencilla y segura.

En los sistemas de transporte público, los SIT pueden estar diseñados para ofrecer información en muy distintos formatos, por ejemplo, en forma de mensajes acústicos para personas con visión reducida o en forma de texto para aquellos con problemas de audición. Un ejemplo lo podemos encontrar en nuestras propias ciudades en donde las personas invidentes pueden conocer el estado de un semáforo mediante la activación de un control remoto que hace que el semáforo emita un sonido determinado en función de su color. También son bien conocidos los sistemas basados en tecnologías de localización, que permiten tener monitorizadas a personas con ciertas enfermedades como el Alzheimer y que corren riesgo de perder la memoria mientras se encuentran fuera de casa.

Al mismo tiempo, los SIT contribuyen a que el acceso a los transportes sea más sencillo, por ejemplo, a personas mayores, facilitando los modelos de pago mediante billetes únicos y tarifas especiales en función de la edad.

No olvidemos que en los SIT también intervienen las autoridades públicas, las cuales deben impulsar políticas que favorezcan y faciliten el uso del transporte público independientemente de la edad y condición.

**Transporte bajo demanda: el caso del condado de Pinellas, Florida.**

La *Pinellas Suncoast Transit Authority* (PSTA) se encarga de proporcionar un servicio de transporte “a medida” para aquellas personas que, debido a su movilidad reducida, no pueden acceder a los sistemas de transporte público convencionales. El servicio funciona mediante un sistema de reservas de trayectos, en el que cada usuario especifica el punto y la hora de recogida. Un sistema central se encarga de registrar las peticiones y de generar la ruta que deben hacer los conductores de las furgonetas de la manera más óptima posible, ahorrando dinero y tiempo en los traslados”.

**1.4. Áreas generales de aplicación de los SIT**

Tal y como decíamos previamente, tratar de catalogar o clasificar las aplicaciones que pueden ser potencialmente diseñadas y desarrolladas bajo el paraguas de los SIT es una tarea difícil debido a su gran diversidad y la dificultad de definir una frontera entre estos sistemas y otros. Para tener una visión general, se han recogido en la tabla 2 las áreas principales de aplicación de los SIT, así como una representación de los servicios que comúnmente suelen ofrecerse en cada una de ellas.

**1.4.1. Movilidad eficiente y sostenible**

En el actual modelo económico, la capacidad de garantizar el correcto y eficaz transporte de personas y mercancías es un requisito fundamental. Si no se consigue este objetivo, esto puede representar una amenaza para la competitividad y a la vez también reflejar un uso insostenible de la infraestructura de transporte desplegada.

Según ERTICO (<http://www.ertico.com/>), los SIT se ofrecen como sistemas válidos y con una buena relación coste-eficiencia que proporcionan servicios de mantenimiento y soporte a la explotación para la gestión de medios de transporte, permitiendo, entre otros servicios:

- Reducción de accidentes de tráfico.
- Aumentar la capacidad efectiva de las infraestructuras sin necesitar nuevas construcciones.
- Ahorro en el tiempo por trayecto.
- Significantes reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> por vehículo.

**Barcelona movilidad sostenible**

El Ayuntamiento de Barcelona mantiene la web <http://w110.bcn.cat/portal/site/Mobilitat> con información actualizada sobre tráfico, transporte público, y alternativas para una movilidad más sostenible.

Tabla 2. Áreas de aplicación de los SIT

Área	Servicios
Movilidad eficiente y sostenible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión dinámica de rutas</li> <li>• Conducción eficiente</li> <li>• Intermodalidad y comodalidad</li> </ul>
Sistemas de transporte modernos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Car pooling</i></li> <li>• <i>Car-sharing</i></li> <li>• Transporte bajo demanda</li> </ul>
Sistemas de información al viajero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planificación de rutas</li> <li>• Sistemas de guiado</li> <li>• Información contextual</li> </ul>
Gestión de tráfico en ciudades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de aparcamientos</li> <li>• Regulación dinámica tráfico</li> <li>• Sistemas supervisión</li> </ul>
SIT en autopistas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de pago automáticos</li> <li>• Gestión dinámica velocidad</li> <li>• Carriles VAO y reversibles</li> </ul>
Transporte de mercancías y gestión de flotas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas integrados logísticos</li> <li>• Monitorización remota</li> <li>• Hubs logísticos</li> </ul>

La movilidad eficiente y sostenible es una de las principales preocupaciones de las administraciones públicas. Numerosos ayuntamientos como el de Gasteiz o Barcelona disponen de mesas de trabajo específicas que abordan este tema y tratan de implantar nuevos modelos de transporte, como por ejemplo *car-sharing*, *bike-sharing*, autobuses eléctricos, servicios intermodales, etc. También podemos encontrar grupos de trabajo en el entorno del medio ambiente, que trabajan específicamente en el área del transporte con el objetivo de proporcionar recomendaciones y pautas de actuación en pos de una movilidad más eficiente y sostenible.

Todas estas iniciativas tienen unas características comunes, las cuales aparecen reflejadas en la figura 4, y buscan favorecer el desarrollo sostenible de las ciudades y sus alrededores, mezclando de este modo el concepto de sistemas de transporte inteligente con el de SmartCity, en el que también se entremezclan las tecnologías de las comunicaciones y la informática para mejorar la experiencia del ciudadano, que en este caso también es pasajero de un medio de transporte, ya sea público o privado.

#### Lectura recomendada

En el aula tenéis el documento *ETRA\_final.pdf*, en el que encontraréis información sobre las conclusiones del grupo de trabajo ETRA sobre transporte: movilidad sostenible y eficacia energética.

Figura 4. Características de los sistemas de movilidad eficiente y sostenible



Definimos *smart city* (en castellano 'ciudad inteligente') como aquella ciudad que usa las tecnologías de la información y las comunicaciones para hacer que tanto su infraestructura crítica como sus componentes y servicios públicos ofrecidos sean más interactivos, eficientes y los ciudadanos puedan ser más conscientes de ellos. Es una ciudad comprometida con su entorno, tanto desde el punto de vista medioambiental como en lo relativo a los elementos culturales e históricos.

Podemos decir que un sistema de movilidad eficiente lo debe ser tanto desde el punto de vista económico como social, haciendo posible un desarrollo sostenible de la movilidad sin excluir a ningún ciudadano (si hablamos de un modelo urbano, deberíamos considerar toda la geografía de la ciudad) y con una viabilidad técnica y económica, es decir, proporcionando soluciones técnicas factibles.

De este modo, uno de los retos de las sociedades desarrolladas en materia de movilidad es evolucionar hacia modelos económicos de bajo consumo de carbono y menor consumo energético, haciéndolo con criterios de equidad social y reparto justo de la riqueza. Este es en definitiva, el reto de la sostenibilidad. Por ello, una movilidad sostenible implica garantizar que nuestros sistemas de transporte respondan a las necesidades económicas, sociales y medioambientales, reduciendo al mínimo sus repercusiones negativas.

### 1.4.2. Sistemas de transporte modernos

La congestión del tráfico es uno de los principales retos a los que se enfrentan las ciudades, ya que según un informe de Naciones Unidas, se estima que aproximadamente el 70% de la población mundial vivirá en ciudades en el 2050. Este crecimiento conlleva una expansión de la demanda a la que están sometidas todas las infraestructuras urbanas, incluyendo el transporte. A este respecto, la mayoría de las ciudades tratan de convertirse en ciudades más limpias y mejor organizadas, reduciendo la congestión del tráfico mejorando su flujo, y sobre todo, incrementando y mejorando el uso de los sistemas de transporte públicos como alternativa al empleo del vehículo privado para los desplazamientos.

Si bien es necesaria la mejora de las infraestructuras y una mayor inversión económica, actualmente las alternativas pasan por realizar una gestión más eficiente de las mismas y adoptar políticas que incentiven a los ciudadanos a emplear medios de transporte públicos. Es aquí donde los SIT pueden jugar un papel muy importante mediante la provisión de servicios tales como los mostrados en la figura 5, los cuales forman parte de un sistema de control y gestión de tráfico moderno.

#### Población en ciudades

En este link podéis acceder a una aplicación interactiva del *National Geographic* sobre la distribución de la población en ciudades.

Figura 5. Elementos de un sistema de gestión y control de tráfico



#### ***Bus rapid transportation system***

Un ejemplo de mejora en las infraestructuras es el *BRTS* (*Bus rapid transportation system*). Son las siglas de una serie de sistemas de transporte público en autobús que tienen como objetivo proporcionar un servicio más rápido y más eficiente que el que ofrecen los modelos habituales de transporte en autobús. Para ello, es necesaria la habilitación de un carril total o parcialmente segregado para uso exclusivo del BRTS.

Este listado crece día a día gracias a la continua evolución de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, siendo la telemática una de las materias científicas que más tiene que aportar para el desarrollo de nuevos SIT, como por ejemplo, aplicaciones para servicios de transporte público alternativos como el *car-sharing*, control dinámico de tráfico en tiempo real o servicios de soporte a la toma de decisiones en centros de control.

Una muestra de cómo los servicios desarrollados en torno a los SIT pueden ayudar a mejorar a los actuales sistemas de transporte, lo podemos encontrar en el informe "*Transport 2025. Transport visión for a growing world city*", redactado por el área de transporte del Ayuntamiento de Londres, ciudad que ha tenido mucho éxito a la hora de cambiar las tendencias de los usuarios y animarles a utilizar más el autobús que el vehículo privado. Desde 1999, el uso de este medio de transporte se ha incrementado un 40% y se ha experimentado un cambio modal del 4% con respecto a los vehículos privados. Esto ha sido posible gracias a iniciativas específicas que incluían ampliación de servicios, mejores horarios y conexiones, inversión en nuevos autobuses, una estructura tarifaria y una solución de pago más sencillas, actualización regular de los trayectos y campañas de marketing. El cambio ha sido mayor en el centro de Londres, con el apoyo de peajes anti-atasco y medidas que dan prioridad a los autobuses.

#### Lectura recomendada

Tenéis el documento íntegro *Transport 2025. Transport visión for a growing world city* en línea.

### 1.4.3. Sistemas de información al viajero

Esta es una de las áreas en las cuales se pueden encontrar un mayor número de aplicaciones desarrolladas en torno a los SIT, principalmente gracias a la expansión del uso de los teléfonos inteligentes, terminales con una gran capacidad de cómputo y sobre todo de comunicación, ofreciendo de este modo la posibilidad de que el usuario esté conectado en cualquier lugar y en cualquier momento a una gran fuente de información como es Internet.

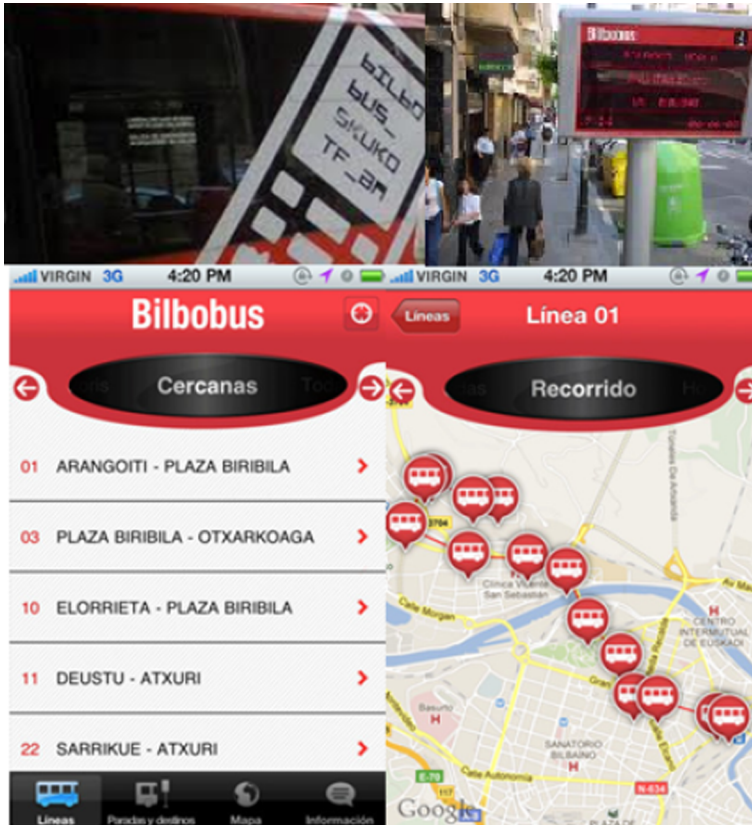
Así pues, una de las formas de fomentar el uso del transporte público es proporcionando a los usuarios información en tiempo real de una manera que sea fácilmente accesible. Los sistemas de localización automática de vehículos (AVL, por las siglas en inglés de *automatic vehicle location*) permiten al gestor del transporte público tener localizada a la flota de vehículos y una vez procesada la información, facilitar a los pasajeros datos sobre tiempos de espera medios, mediante pantallas localizadas en las paradas o tiempo del trayecto a través de paneles en el interior del medio de transporte. Es por tanto función de los SIT estructurar, ordenar y distribuir esta información a los usuarios de una manera que sea fácilmente entendible y sobre todo usable, evitando que el receptor de la misma se vea sometido a un flujo continuo de datos que en muchos casos no le sea necesaria ni relevante.

Actualmente, podemos encontrar ejemplos de aplicaciones que ofrecen información a los pasajeros prácticamente en cualquier ciudad. Un ejemplo se muestra en la figura 6, en donde un usuario que se encuentra en un punto



geolocalizado de la ciudad de Bilbao emplea la aplicación proporcionada por la compañía que gestiona los autobuses locales para saber qué líneas pasan cerca de donde él se encuentra y cuál es el recorrido de las mismas.

Figura 6. Sistema de información al pasajero de Bilbobus (Bilbao)



Otros ejemplos de este tipo de servicios pueden ser:

- Planificación de rutas empleando diferentes medios de transporte interurbanos en base a la selección previa realizada por el usuario.
- Guías turísticas a través de los puntos más importantes de una ciudad en función de dónde se encuentra el usuario.
- Información en tiempo real de estimación de llegada a destino en función de la disponibilidad de diferentes medios de transporte públicos.
- Monitorización del tráfico y condiciones meteorológicas en la ruta que va a seguir un conductor.
- Localización, reserva y pago de plaza de aparcamiento a través de un terminal móvil.

#### 1.4.4. Gestión de tráfico en ciudades

La gran mayoría de las áreas urbanas europeas emplean actualmente diferentes servicios proporcionados por los SIT para el control y la gestión del tráfico, desde el uso de vehículos privados y camiones como de transporte público y servicios de información desplegados en las ciudades.

El gran objetivo actual de muchos de estos centros de gestión de tráfico es aprovechar las grandes ventajas que ofrecen los SIT para lograr una mayor integración de todos los servicios ofrecidos. Para ello, deben ser capaces de manejar un mayor volumen de información y dar como resultado un conjunto de planes de actuación sobre la gestión de tráfico que puedan ser desplegados más rápidamente, siendo incluso capaces de anticiparse a ciertos eventos que pueden ser predecidos en base a determinados patrones comportamiento.

Para ello las infraestructuras se pueden instrumentalizar con sensores, medidores, cámaras, y equipos de comunicaciones que proporcionen la capacidad de medir, detectar y monitorizar la situación de prácticamente cualquier tramo de una vía o acceso a una gran ciudad. Al mismo tiempo, son necesarios sofisticados sistemas de gestión y análisis de grandes volúmenes de datos (sistemas de *data mining* en inglés), que puedan detectar patrones y relaciones que permitan la toma continua de decisiones en tiempo casi real. De este modo se podrán planificar mejor los trayectos y accesos a las ciudades, así como optimizar el número de vehículos, equipos e instalaciones para aumentar la capacidad de las infraestructuras.

Figura 7. Centro de Gestión de Tráfico de Valencia



#### 1.4.5. SIT en autopistas

Los problemas de congestión pueden ser tanto o más problemáticos en las autopistas que en las ciudades o sus carreteras circundantes. Si bien el control del tráfico de una ciudad puede resultar complicado de gestionar debido a las peculiaridades y diversidades de su propia orografía, se trata de un lugar localizado y delimitado, mientras que una autopista es una infraestructura abierta y que puede constar de centenares de kilómetros.

Debido a las distancias que hay que controlar y gestionar, así como a la posibilidad de que una carretera sea compartida por varios estados o cuya explotación sea gestionada por diferentes concesionarias, es necesario por una parte diseñar sistemas de gestión de la información que permitan el intercambio

#### Lectura recomendada

En el aula tenéis el documento *EquiposPrioridadVehicular.pdf*, en el que encontraréis la presentación de equipos para la gestión de tráfico realizada por Indra Sistemas S. A. en las VI Jornadas sobre Gestión de Tráfico (ITS España, 2011).

de datos entre administraciones de manera eficaz y efectiva, así como que los posibles dispositivos que los vehículos puedan llevar a bordo sean operativos en toda la infraestructura viaria.

Un ejemplo de ello son los dispositivos de telepeaje denominados Vía-T (<http://www.viat.es/>), nombre por el cual se conoce al sistema de telepeaje implantado en casi la totalidad de la red de autopistas de peaje española que permite abonar el peaje sin necesidad de detener el vehículo. El sistema está formado por dos elementos principales: por una parte, el dispositivo electrónico Vía-T, que debe colocarse en el interior del vehículo a la altura del parabrisas, y por otra, el conjunto antena+lector localizado en el área de pago de la autopista y que se encarga de detectar el Vía-T, identificarlo y enviar la información al sistema de gestión, que se encargará de efectuar la operación de cobro del servicio al cliente asociado al dispositivo Vía-T leído.

Este tipo de sistemas también podemos encontrarlo en otros países europeos, como por el ejemplo el Tis-Pl en Francia, el Vía Verde en Portugal, mientras que en Italia se emplea el TelePass, o el GoBox en Austria y el TollCollect en Alemania.

Pero los SIT no ofrecen solamente servicios de telepeaje a los usuarios y empresas concesionarias de autopistas. Existe un conjunto de aplicaciones que permiten intercambiar información entre los vehículos y el órgano gestor de la infraestructura.

Ejemplos de estas aplicaciones son:

- Sistemas de cómputo de vehículos en los accesos y salidas para el control de la congestión en autopistas y carreteras. Estos sistemas son conocidos en inglés como *ramp metering*.
- Provisión de información y avisos a los conductores mediante señalización variable luminosa.
- Sistemas de control dinámica de velocidad en autopistas para regular el flujo de tráfico y reducir los acelerones y frenazos de los conductores.
- Sistemas de detección automática de incidentes de modo que se pueda prevenir inmediatamente de los peligros a los conductores.

Si bien el despliegue de paneles informativos luminosos, como el mostrado en la figura 8, es un medio sencillo y directo de proporcionar información a los conductores, los actuales sistemas SIT están encaminados a proporcionar datos “personalizados” a los conductores en función de su posición y de la ruta

que van a seguir, de modo que puedan adoptar con antelación acciones que les eviten encontrarse con incidentes en su recorrido: accidentes, retenciones, obras, etc.

Tecnologías como RDS o TMC han sido las precursoras de los actuales sistemas colaborativos y que analizaremos más en detalle en capítulos posteriores. Estos sistemas permiten que los vehículos formen una red de comunicaciones entre sí de modo que pueden compartir y distribuir información entre los elementos de la red, tanto vehículos en movimiento como elementos fijos en la infraestructura.

Figura 8. Paneles de señalización variable



#### 1.4.6. Transporte de mercancías y gestión de flotas

Unas de las aplicaciones más importantes y extendida de los SIT son los sistemas de ayuda a la explotación en el sector de la logística, tanto desde el punto de vista de la geolocalización y posicionamiento de la mercancía como de los propios vehículos encargados de su transporte.

Pero el abanico de aplicaciones va mucho más allá, abarcando desde la gestión de los propios conductores (gestión del tiempo de conducción, paradas, puntos y tiempos de entrega), la gestión del combustible (consumo medio por recorrido, máximos de consumo, etc.) o telecontrol de la carga (monitorización de temperatura y humedad de productos perecederos, etc.). La combinación de todos estos servicios tiene como objetivo la mejora de la eficiencia y la productividad de la operación logística, cumpliendo además con la normativa legal vigente relativa al transporte de mercancías como a la seguridad en carretera (tanto relativa al vehículo como al conductor).

Generalmente estos sistemas están formados entre otros por los siguientes elementos:

- Sistema automático de localización de vehículos (AVLS). Es el subsistema que constituye la base fundamental. El AVLS permite a la compañía operadora logística controlar la flota desde el centro de control, sabiendo en todo momento dónde se encuentran los vehículos. Para ello, el vehícu-

lo cuenta con un sistema electrónico embarcado capaz de recoger información en tiempo real del vehículo (estado del vehículo, conductor, ruta, ocupación), generar alarmas y avisos (operaciones de carga y descarga, averías, emergencias) y análisis de datos, tanto en tiempo real (ocupación, puntualidad, recursos disponibles) como históricos (desempeño del conductor, incidentes, eficiencia del servicio).

- Sistema de ayuda a la explotación (SAE). La información obtenida en el centro de control por medio del sistema AVLS servirá para realizar acciones sobre la flota: gestión dinámica de rutas, realizar correcciones, sustituir vehículos averiados, etc.
- Sistema de planificación. Permite al operador planificar con antelación una distribución eficaz de sus recursos, es decir, vehículos y conductores.
- Sistema de comunicaciones, el cual debe permitir una comunicación bidireccional entre el vehículo y el centro de control, de modo que se habiliten unos canales de información continuos.

Si bien los SIT se tienden a asociar a procesos logísticos para el transporte de mercancías en el entorno urbano y por carretera, donde su aplicación es más difundida y donde más aplicaciones podemos encontrar, no debemos olvidar que un porcentaje importante del volumen de transporte de mercancías que se realiza en el mundo se hace por mar. Son por tanto los puertos uno de los concentradores (*hubs*) de movilidad más importantes a tener en cuenta a la hora de hacer posible la trazabilidad de los bienes transportados, así como los procesos de gestión de flotas. Así pues, los puertos juegan un papel fundamental cuando hablamos de comodidad e intermodalidad en el transporte de mercancías dentro de lo que se conoce como autopistas del mar.

#### Lectura recomendada

En el aula tenéis el documento *Autopistas del mar.pdf*, en el que encontraréis la presentación sobre las autopistas del mar y el desarrollo portuario, introduciendo el concepto de comodidad.

Figura 9. Sinóptico de un sistema de gestión de flotas



## 1.5. Arquitectura de los SIT

Debido a los rápidos avances en el área de la telemática, los SIT cada vez son más complejos y por tanto difíciles de desarrollar y desplegar. Así pues, en el momento de diseñar una arquitectura para dar servicio a un SIT, será necesario asegurar tanto el funcionamiento de cada uno de sus componentes por separado, como el funcionamiento íntegro del sistema cuando la combinación de cada una de las partes formen un SIT completo. De este modo, una forma de tratar de aliviar esta problemática es empleando una arquitectura de referencia que proporcione un marco que contenga un conjunto de supuestos mínimos comunes a todos los SIT. Antes de la definición de los SIT como tal, los sistemas de control de tráfico eran diseñados para proporcionar uno o dos servicios que generalmente funcionaban de manera independiente en subsistemas separados.

Hoy en día, los SIT son estructuras complejas que combinan tareas de gestión, control, recogida de información y sistemas de actuación, que tienen que estar perfectamente relacionados y sincronizados para satisfacer las tareas para los cuales han sido diseñados. Por tanto, a la hora de diseñar la solución de SIT se deberán definir tanto cada uno de estos subsistemas como las sinergias que pueden aparecer entre ellos. Así, la arquitectura del sistema proporciona un marco común, diseñado en base a los requisitos de los usuarios y el ámbito de aplicación para la planificación, definición e integración en un sistema de inteligente de transporte. A modo de ejemplo, la figura 10 muestra cuál es el proceso de definición de un SIT establecido por la arquitectura de referencia FRAME.

### Arquitectura de un sistema

Una arquitectura es la descripción formal de un sistema, organizado de tal forma que permita razonar sus propiedades estructurales. Define, por tanto, los componentes del sistema, así como los resultados esperados y los métodos para interactuar con otros sistemas previamente desarrollados.

El diseño y desarrollo de una arquitectura para un SIT comienza por la definición de un marco común en el que se incluyan las prioridades, funcionalidades y expectativas de todos aquellos posibles beneficiarios del sistema, como por ejemplo, usuarios finales, autoridades, operadores, fabricantes y proveedores de tecnología, de modo que todos ellos se vean reflejados y obtengan el máximo rendimiento posible, teniendo en cuenta además los aspectos organizativos, legales y comerciales derivados del uso y explotación del sistema.

La arquitectura de un sistema inteligente de transporte debe definir:

- Las funcionalidades que debe presentar el SIT, como por ejemplo la posibilidad de proporcionar información de tráfico en tiempo real.
- Los elementos o subsistemas físicos encargados de ejecutar las funcionalidades definidas previamente, por ejemplo los paneles de señalización variable.
- Cómo será el flujo de información entre los diferentes subsistemas que se definan en la arquitectura de una manera totalmente integral.

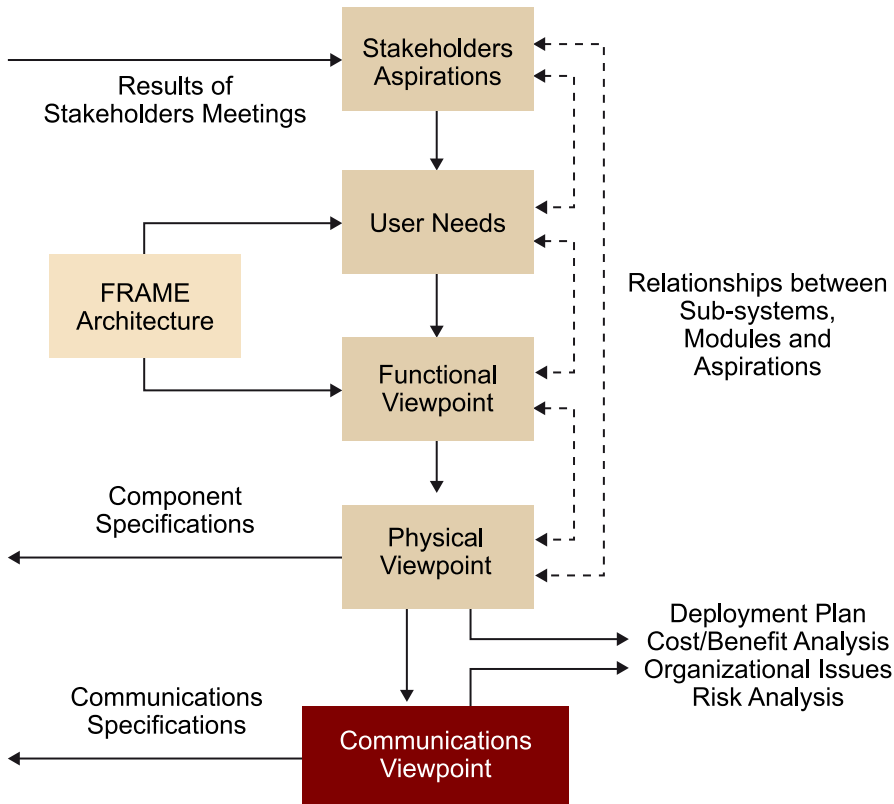
Como vemos, en ningún momento hemos hecho referencia a tecnologías concretas, ya que una arquitectura de SIT es independiente de la tecnología empleada en su desarrollo y, por tanto, no determina cómo se tienen que implementar los servicios o aplicaciones contemplados. Estas arquitecturas pueden ser creadas a nivel nacional, regional o de ciudad, asegurando que los desarrollos a realizar:

- Puedan ser planificados de una manera lógica.
- Se integren de manera satisfactoria con otros sistemas.
- Alcanzen los niveles de rendimiento y comportamiento deseados.
- Sean sencillos de gestionar, mantener y extender.
- Satisfagan las expectativas de los usuarios.

### **1.5.1. Requisitos de una arquitectura para SIT**

En su esencia, una arquitectura de SIT consiste principalmente en un intercambio de información entre sistemas que se encuentran en varios niveles lógicos (como los mostrados en la figura 10).

Figura 10. Proceso para crear una arquitectura de SIT



Por una parte, la arquitectura se define en base a unos requisitos o aspiraciones obtenidas mediante reuniones llevadas a cabo con las partes interesadas e involucradas en el SIT (denominados *stakeholders*). De este modo aseguramos que la arquitectura que definamos cumple con las expectativas y necesidades generadas y no estamos aplicando tecnologías y proporcionando servicios sin ningún sentido o finalidad.

Generalmente estos *stakeholders* son empresas (aunque también pueden ser estamentos públicos) que esperan obtener un beneficio comercial de los servicios y funcionalidades proporcionados por la arquitectura. Así pues, si el diseño y la implementación de los subsistemas que la componen están basados en estándares, se podrá asegurar la posibilidad de generar un flujo de información con otros sistemas ajenos al SIT definido, es decir, su **interoperabilidad**, por lo que esto facilitará una penetración en el mercado mucho más rápida.

De manera paralela y ligada a la interoperabilidad, se deberá asegurar una **escalabilidad** de la arquitectura, definida como la facilidad de adaptarse tanto a futuros cambios relativos a actualizaciones como a ampliaciones de sus funcionalidades y servicios. De este modo se garantiza que sea sencillo añadir nuevos subsistemas o coberturas geográficas sin necesidad de realizar un rediseño de la arquitectura.



Así, una consecuencia de los requisitos anteriores es la **independencia tecnológica** de la arquitectura. Tal como decíamos anteriormente, en el diseño de la arquitectura no se especifican tecnologías, pero las tecnologías seleccionadas juegan un papel fundamental en la satisfacción de los objetivos definidos por usuarios y *stakeholders*.

Como hemos dicho previamente, una arquitectura de este tipo es un sistema complejo y por tanto su diseño y desarrollo conllevan ciertos riesgos que deben ser anticipados durante las etapas previas a su ejecución. Se deberán, por tanto, predecir posibles puntos de fallo del sistema o elementos que puedan degradarse con el paso del tiempo, de modo que su sustitución no conlleve la paralización del sistema completo y pueda perjudicar tanto a los *stakeholders* como a los usuarios.

Además, siendo el transporte un ámbito en el que las administraciones públicas juegan un papel muy importante, tal y como veíamos en la figura 1, durante la fase de diseño se deberá mantener una comunicación fluida con los estamentos públicos relacionados con el SIT bajo estudio, de modo que se puedan minimizar los posibles riesgos operativos o de gestión que puedan surgir durante la operativa normal de los sistemas definidos.

### **1.5.2. Requisitos funcionales de usuarios y partes interesadas**

Como decíamos, el primer paso en el diseño de una arquitectura para un SIT consiste en involucrar a todos los posibles usuarios y *stakeholders* en la definición, selección y priorización de los servicios que la arquitectura deberá ofrecer durante su funcionamiento. Como resultado, se debe llegar a un consenso en el que se decidan tanto los proveedores como los usuarios que recibirán los servicios prestados por el SIT.

La definición de requisitos puede ser un camino largo y costoso, donde los técnicos deben ser capaces de recopilar la máxima información posible de usuarios y *stakeholders*, de modo que la arquitectura resultante satisfaga en gran medida las necesidades de todos ellos. Además, se deberá tener en cuenta el contexto en el cual se desplegarán los servicios propuestos, ya que su diseño y desarrollo dependerá en gran medida de él, siendo diferentes si se despliegan en áreas rurales o urbanas, por ejemplo.

En esta fase hay agentes que pueden desempeñar un papel fundamental y que suelen estar organizados en áreas de dominio (como por ejemplo, gestores de infraestructuras, proveedores de transporte público, operadores logísticos, etc.). Así, cada grupo de interés defenderá sus propias prioridades además de las generales relativas a seguridad, eficiencia o calidad comunes a cualquier SIT.

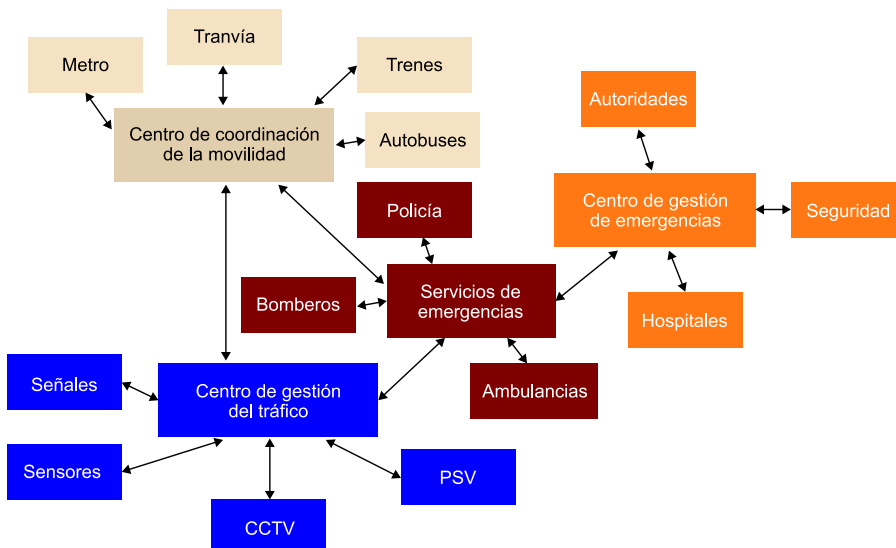
Una vez que todas las partes interesadas y usuarios coinciden en los requisitos y servicios que debe proporcionar el SIT, se debe trabajar en la definición de las especificaciones funcionales que harán posible el despliegue de dichos ser-

vicios, estableciendo para ello las sinergias entre todos los subsistemas y proveedores, como por ejemplo, en el caso de un gestor/explotador de transporte público, los sistemas de gestión de flotas empleados, los medios de información al pasajero o la integración con nuevos sistemas de pago (aquellos que emplean tecnología NFC en el móvil).

Otro ejemplo en el cual se debe definir *a priori* la interacción entre subsistemas lo podemos encontrar cuando se produce un accidente en una autopista. En esta situación, el Centro de Gestión de Tráfico es el encargado de activar el protocolo necesario para auxiliar a las posibles víctimas y realizar los ajustes necesarios en el tráfico. Para ello, podrá recoger información de los diferentes sensores repartidos por la vía para redirigir el tráfico según convenga a través de los paneles de señalización variable. Al mismo tiempo, deberá ponerse en contacto con el Centro de Gestión de Emergencias, encargado de coordinar los servicios de emergencias, hospitales, autoridades y otras fuerzas de seguridad de las que se necesiten sus servicios. Además, en el caso de que el accidente influya en el transporte público, deberá notificarlo al Centro de Gestión de Movilidad, que decidirá las acciones a llevar a cabo en lo relativo a posibles reordenaciones de los servicios.

En este escenario es fácil comprender cómo el intercambio de información entre los diferentes subsistemas debe ser lo más fluido, rápido y fiable posible, por lo que las etapas de definición de requisitos, funcionalidades y servicios previas a la construcción de este SIT es fundamental para alcanzar un elevado grado de satisfacción de los mismos.

Figura 11. Ejemplo de integración de subsistemas



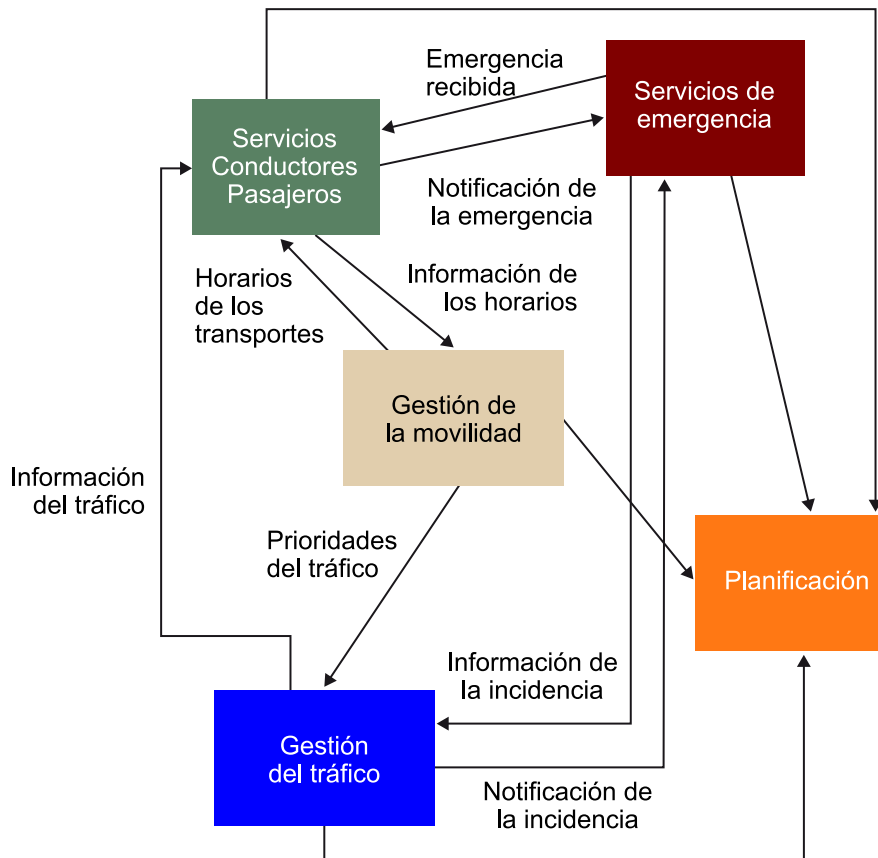
### 1.5.3. Arquitectura lógica o funcional de un SIT

La arquitectura funcional o lógica es la encargada de definir los procesos y flujo de datos entre los diferentes subsistemas que son necesarios para alcanzar los requisitos operativos y funcionales del diseño del SIT.

Siguiendo con el ejemplo analizado en el apartado anterior y representado en la figura 11, un posible modelo de arquitectura funcional de flujo de datos puede ser representado en la figura 12, donde las flechas indican la dirección del flujo de datos necesarios para llevar a cabo todos los servicios que intervienen durante una emergencia en una autopista. Los círculos no representan una localización determinada o a una institución, sino los procesos que son necesarios, como por ejemplo, un sistema automático de planificación de emergencias que reciba información de todos los subsistemas integrados en el SIT y tome las decisiones oportunas.

Tal como veíamos anteriormente, al describir los requisitos de una arquitectura de SIT hacíamos hincapié en que es necesario identificar y anticipar los riesgos y problemas que pueden aparecer durante la operativa del SIT. Es en la definición de la arquitectura lógica donde se debe hacer esta previsión, de modo que el modelo esté preparado para afrontar situaciones anómalas y hacerles frente para que no se altere el funcionamiento normal del SIT.

Figura 12. Ejemplo de arquitectura lógica de un SIT



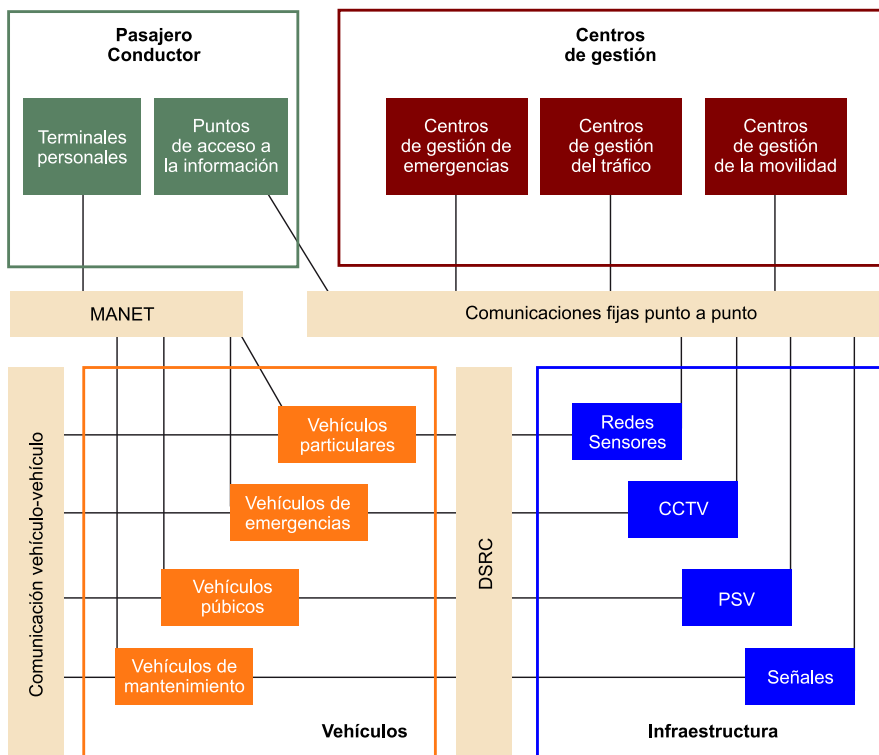
### 1.5.4. Arquitectura física de un SIT

La arquitectura física de un sistema establece cómo se implementan en subsistemas físicos los procesos definidos en la arquitectura lógica, especificando, por tanto, el software y hardware necesario para ello. Al igual que en la fase de diseño de la arquitectura lógica, el diseño de la estructura física de un SIT deberá tener en cuenta los requisitos funcionales, las especificaciones de los procesos ya definidos, así como las interrelaciones existentes entre subsistemas, las cuales establecerán las necesidades de comunicación e intercambio de información entre los diferentes procesos y subsistemas de la arquitectura.

Siguiendo el ejemplo de arquitectura lógica descrito en la figura 12, una posible implementación de su arquitectura física se muestra en la figura 13<sup>3</sup>, donde vemos que ya aparecen enlaces de comunicaciones específicos como pueden ser las MANET (acrónimo de *mobile ad hoc network*) o DSRC (acrónimo de *dedicated short-range communications*) y que analizaremos en unidades posteriores. Estos enlaces estarán diseñados y planificados para garantizar el flujo de datos entre subsistemas con una calidad de servicio determinada, de modo que, volviendo al comienzo de este apartado, se garanticen las necesidades y requisitos definidos tanto por usuarios como por los *stakeholders* participantes en la definición del SIT. Por lo tanto, podemos establecer que en el diseño de la arquitectura física también se establece la arquitectura de comunicaciones a desplegar en el SIT bajo estudio.

<sup>(3)</sup>Ejemplo realizado tomando como modelo la arquitectura física americana <http://www.its.dot.gov/arch/>.

Figura 13. Ejemplo de arquitectura física de un SIT



## 1.6. Ejemplos de arquitecturas de referencias para SIT

Tal como decíamos al comienzo del apartado anterior, los organismos públicos o gobiernos juegan un papel fundamental en el diseño y desarrollo de los SIT, ya que en la mayoría de los casos estas arquitecturas hacen uso de infraestructuras y o servicios públicos. Por esta razón, cada gobierno, ya sea a nivel local, nacional o internacional (como en el caso de la Unión Europea), establece un marco común para el diseño y desarrollo de SIT, de modo que todos los usuarios y *stakeholders* posean herramientas comunes de trabajo en las que sus intereses se puedan ver reflejados.

De este modo podemos encontrar SIT, como por ejemplo el diseñado en México o en Canadá, o los SIT propuestos en Europa y España y que analizaremos en los siguientes apartados.

### 1.6.1. Arquitectura de referencia para SIT en la Unión Europea

La arquitectura FRAME (denominada originalmente European ITS Framework Architecture) ha sido desarrollada como resultado de las recomendaciones lanzadas por el grupo de interés High Level Group en telemática aplicada al transporte ([http://cordis.europa.eu/telematics/tap\\_transport/home.html](http://cordis.europa.eu/telematics/tap_transport/home.html)) y respaldada por el Consejo de Ministros de la UE. Su primera publicación data de octubre del año 2000 como resultado del proyecto europeo KAREN (*Keystone Architecture Required for European Networks*), cuyo objetivo principal fue promover el desarrollo de los SIT en Europa proporcionando para ello un marco que facilitara su diseño y planificación, así como su integración con sistemas previamente existentes con el objetivo de asegurar su interoperabilidad a través de las fronteras de los Estados miembros. KAREN definió entre los meses de abril de 1998 y septiembre del 2000 la primera versión de la denominada European ITS Framework Architecture, la cual tenía por objetivo definir la base para el diseño y desarrollo de SIT complejos. Este proyecto fue promovido por el denominado High Level Group on Road Transport Telematics de la Unión Europea y fue aprobado como parte del IV Programa Marco.

Los principales principios seguidos en el diseño de KAREN fueron:

- La arquitectura propuesta debe basarse en la experiencia ya disponible en Europa y en el trabajo realizado por las muchas iniciativas europeas.
- Además, debe establecerse un nivel de abstracción tal, que sea lo suficientemente alto como para evitar restricciones en el diseño y en los planes de implementación desarrollados por cada país, región o fabricante.

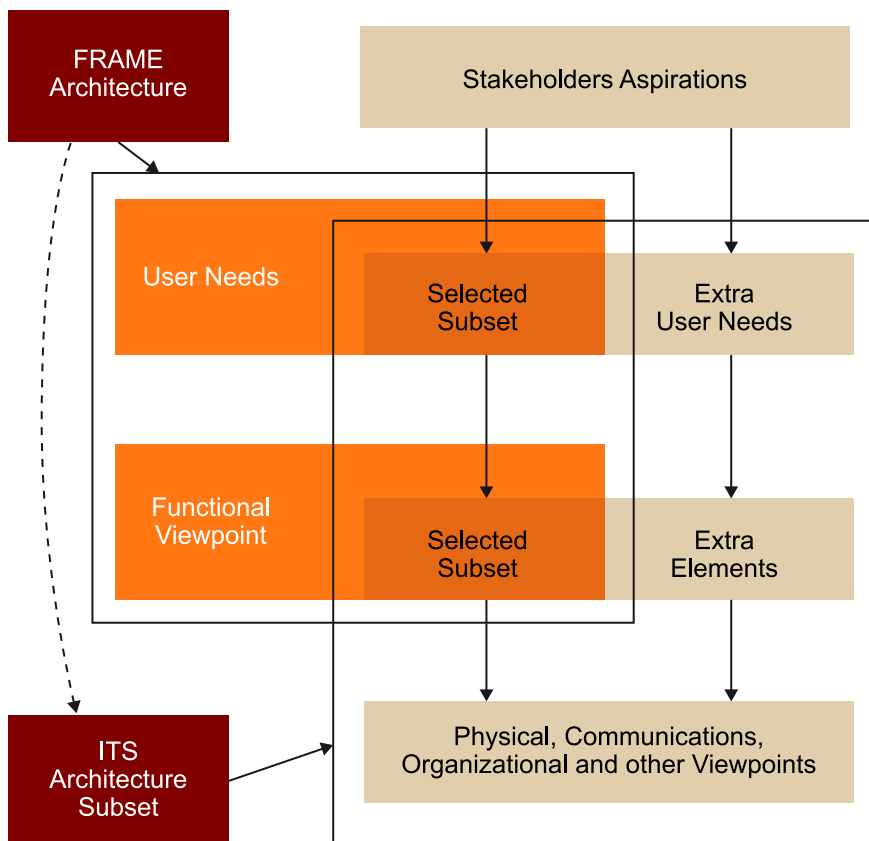
Con la publicación de los resultados de KAREN en el año 2000, se estableció la base del proyecto FRAME, en el cual se definieron los puntos de vista funcionales, físicos y de comunicaciones de la *European ITS Framework Architecture*.

Una de las características principales de la Arquitectura FRAME es que ha sido diseñada para que a partir de ella se puedan desarrollar subsistemas que sean totalmente funcionales y operativos (figura 14). Describe además diferentes maneras de implementar un mismo servicio, de modo que sea el usuario el que seleccione aquellas funcionalidades que mejor se adapten al escenario en el que se vaya a desplegar la arquitectura. Por lo tanto, no es tanto un modelo que describe cómo integrar SIT, sino que más bien es un marco que especifica diferentes estrategias para integrar SIT de una manera sistemática y común a todos ellos.

### Lectura recomendada

En el aula tenéis el documento *IntroductionFRAME.pdf*, en el que encontraréis la presentación extraída del seminario *The European FRAME Architecture and the ITS Directive*.

Figura 14. Creación de un subsistema de SIT



La Arquitectura FRAME cubre actualmente las siguientes áreas de aplicación de los SIT (algunas de las cuales han sido descritas con más detalle en los apartados anteriores):

- Cobro electrónico por servicio (peajes).
- Notificación y respuesta ante emergencias, tanto a nivel de infraestructura como en el vehículo. El ejemplo más conocido es el del servicio *e-call*, ya desplegado en algunos turismos.
- Gestión de tráfico: urbano, interurbano, aparcamientos, túneles, puentes, etc.

- Gestión de transporte público: planificación, tarifas, servicios bajo demanda, gestión de flotas y conductores.
- Sistemas en el vehículo, entre ellos algunos sistemas colaborativos.
- Asistencia al viajero: previo al viaje y durante el viaje.
- Aplicación de la legislación vigente.
- Gestión de mercancías y flotas.
- Soporte para sistemas colaborativos. Plataformas multimodales.

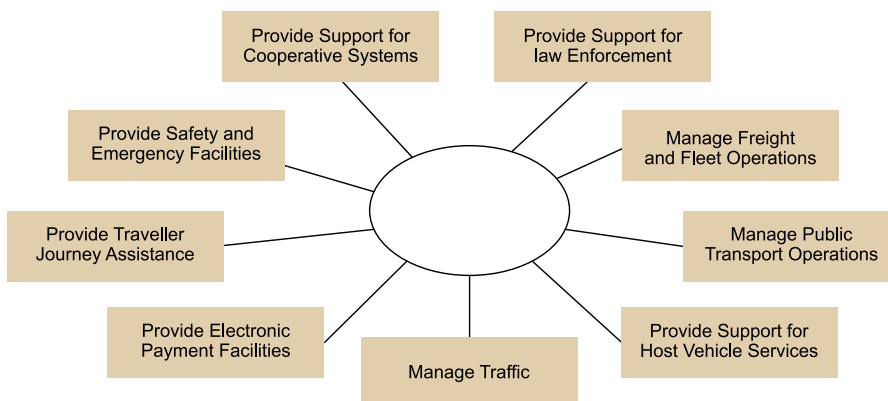
Para crear por tanto una arquitectura para un SIT partiendo del marco de referencia FRAME, se disponen de dos herramientas:

1) **Browsing tool**: hace posible que el desarrollador de la arquitectura analice al detalle cada uno de los niveles de la estructura de referencia, obteniendo una descripción de cada uno de sus elementos.

2) **Selection tool**: proporciona al usuario soporte para seleccionar un subconjunto de elementos de la Arquitectura FRAME (desde el punto de vista funcional) para, a partir de ellos, crear una o más estructuras físicas.

Haciendo uso de estas dos aplicaciones, el desarrollador tiene la posibilidad de diseñar aplicaciones de transporte inteligente como las enumeradas anteriormente, abarcando las necesidades de todas las partes involucradas en el proceso de desarrollo y explotación de este tipo de aplicaciones.

Figura 15. Áreas de aplicación de la Arquitectura de referencia FRAME



### 1.6.2. Arquitectura de referencia para SIT en España

A nivel nacional se recoge en el BOE del sábado 14 de abril del 2012 el Real Decreto 662/2012, del 13 de abril, por el que se establece el marco para la implantación de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte.

Este RD sigue lo establecido por el Parlamento Europeo y el Consejo el 7 de julio del 2010, en la Directiva 2010/40/UE, por la que se establece el marco para la implantación de los sistemas inteligentes de transporte en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte, con el principal objetivo de contar con una normativa común que asegure una implantación coordinada y eficaz en su conjunto de las tecnologías de la información y las comunicaciones que puedan implementarse en el sector del transporte por carretera en todo el territorio comunitario.

Según el citado BOE, los **sistemas inteligentes de transporte (SIT)** basados en la electrónica, la informática y las telecomunicaciones, son todas aquellas aplicaciones avanzadas que, sin incluir la inteligencia como tal, proporcionan servicios innovadores en relación con los diferentes modos de transporte y la gestión del tráfico, y permiten a los distintos usuarios estar mejor informados y hacer un uso más seguro, más coordinado y “más inteligente” de las redes de transporte. Los SIT habrán de fundarse en sistemas interoperables basados en normas abiertas y públicas y que estén disponibles sin discriminación alguna para todos los proveedores y usuarios de aplicaciones y servicios.

En líneas generales, los ámbitos prioritarios que desde el Gobierno se establecen para la implantación de los SIT son:

- 1) Utilización óptima de los datos sobre la red viaria, el tráfico y los desplazamientos.
- 2) Continuidad de los servicios de sistemas inteligentes de transporte (SIT) para la gestión del tráfico y del transporte de mercancías.
- 3) Aplicaciones de sistemas inteligentes de transporte (SIT) para la seguridad y protección del transporte por carretera.
- 4) Conexión del vehículo a la infraestructura de transporte.

Como veíamos anteriormente, tanto los usuarios, como los *stakeholders* y los estamentos públicos establecen sus requisitos de diseño, siendo en el caso de España:



a) **Eficacia:** contribuir de forma tangible a superar los principales retos que ha de afrontar el transporte por carretera.

b) **Rentabilidad:** optimizar la relación entre los costes y los resultados obtenidos respecto del logro de objetivos.

c) **Proporcionalidad:** fijar, si procede, distintos niveles alcanzables de calidad y de implantación de los servicios, teniendo en cuenta las especificidades regionales, nacionales y europeas.

d) **Apoyar la continuidad de los servicios:** asegurar unos servicios ininterrumpidos, en particular en la red transeuropea y, cuando sea posible, en sus fronteras exteriores. La continuidad debe garantizarse en un nivel adaptado a las características de las redes de transporte que conectan países entre sí y ciudades con zona rurales.

e) **Facilitar la interoperabilidad:** garantizar que los sistemas y los procesos empresariales en que aquellos se basan tengan la capacidad de intercambiar datos y compartir información y comportamientos y conocimientos para hacer posible una prestación efectiva de los servicios de los sistemas inteligentes de transporte (SIT).

f) **Apoyar la retrocompatibilidad:** garantizar, cuando proceda, la capacidad de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) de funcionar con los sistemas existentes que comparten las mismas funciones, sin obstaculizar el desarrollo de las nuevas tecnologías.

g) **Respetar las características de la infraestructura y las redes nacionales existentes:** tener en cuenta las diferencias inherentes a las características de las redes de transporte, en particular la dimensión de los volúmenes de tráfico y las condiciones meteorológicas de la red viaria.

h) **Fomentar la igualdad de acceso:** no imponer obstáculos ni discriminaciones al acceso de los usuarios vulnerables de la red viaria a las aplicaciones y servicios de los sistemas inteligentes de transporte (SIT).

i) **Fomentar la madurez:** demostrar, previa oportuna evaluación del riesgo, la solidez de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) innovadores, mediante un nivel suficiente de desarrollo técnico y explotación operativo.

j) **Proporcionar horarios y posicionamiento de calidad:** utilizar infraestructuras basadas en satélites o cualquier otra tecnología que proporcione un nivel equivalente de precisión, a efectos del uso de aplicaciones y servicios de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) que requieren servicios horarios y de posicionamiento en todo el mundo, continuados, fiables y garantizados.

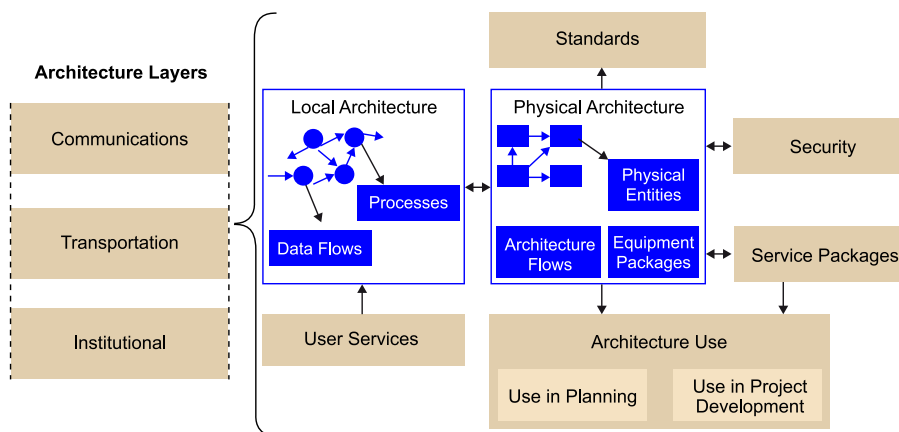
k) **Facilitar la intermodalidad:** tener en cuenta la coordinación de los diversos modos de transporte, cuando proceda, al implantar los sistemas inteligentes de transporte (SIT).

l) **Respetar la coherencia:** tener en cuenta las normas, políticas y actuaciones de la Unión Europea existentes que guardan relación con el ámbito de los sistemas inteligentes de transporte (SIT), en particular en materia de normalización.

### 1.6.3. Arquitectura de referencia para SIT en Estados Unidos

La National ITS Architecture propuesta por el U.S. Department of Transportation está formada por tres capas principales, tal y como se puede ver en la figura 16. La primera capa, denominada Institutional Layer, incluye las instituciones, autoridades, organismos y procesos de financiación que son necesarios para una implementación, operación y mantenimiento efectivos de un sistema de transporte inteligente. Esta capa se representa en la base de la arquitectura, ya que desde el punto de vista del U.S. Department of Transportation, para llevar a cabo cualquier SIT efectivo es necesario disponer de un sólido respaldo institucional. Para ello determinará los roles de todos los agentes implicados en el desarrollo e implementación del SIT, estableciendo así las responsabilidades de cada uno de ellos. Estos agentes pueden ser agrupados en: gobiernos federales, gobiernos estatales/locales, asesores sin ánimo de lucro, sector privado y público en general.

Figura 16. Arquitectura de referencia del U.S. Department of Transportation



Así pues, esta primera capa es la encargada de determinar los objetivos y requisitos del SIT, incluyendo los servicios y requisitos de los usuarios, así como las políticas y procesos destinados a dar soporte a una planificación estructurada del transporte durante el desarrollo del proyecto.

La segunda capa se denomina Transportation Layer, y es en la que se definen los servicios de transporte que debe proporcionar el SIT en términos de subsistemas e interfaces, especificando la funcionalidad de cada uno de ellos, así como los datos necesarios para que dichos servicios satisfagan los requisitos y

#### National ITS Architecture 7.0

En la página web <http://www.iteris.com/itsarch> se puede encontrar más información detallada de cada una de estas capas y subsistemas.

funcionalidades definidos en la Institutional Layer. Esta capa es considerada como el corazón de la National ITS Architecture, ya que proporciona un marco común a todos los desarrolladores para aplicar la tecnología de un modo efectivo, consistente y progresivo de modo que redunde en una mejora de los sistemas de transporte.

Esta capa se divide a su vez en tres subcapas, las cuales definen la arquitectura física (especifica los subsistemas e interfaces del SIT), la arquitectura lógica (establece las funciones a llevar a cabo, así como los datos intercambiados entre dichas funciones) y los paquetes de servicios (proporcionan un menú de los servicios disponibles por el SIT).

Además de los subsistemas de los que está formada la Transportation Layer, esta capa también introduce los sistemas, personas y entornos físicos con los que deberá interactuar el SIT bajo desarrollo, es decir, el contexto en el cual se desplegará. El conjunto de los subsistemas que forman parte del SIT y los incluidos en el entorno se denominan entidades.

Finalmente, la tercera capa de la arquitectura es la denominada Communications Layer, que engloba los servicios de comunicaciones y tecnologías que deberá soportar el SIT. Se trata de una capa que otorga al desarrollador flexibilidad en la selección de las tecnologías, de modo que satisfaga las necesidades de comunicaciones, ya sea a nivel local, regional o nacional. La capa de comunicaciones pertenece a la arquitectura física, e identifica cuatro grandes grupos de sistemas de comunicaciones destinados a dar soporte a todas las entidades contempladas en el SIT: comunicaciones fijas punto-a-punto, redes inalámbricas de área extensa (WWAN), comunicaciones vehículo-vehículo y comunicaciones vehículo-infraestructura.

Al igual que en Europa FRAME proporciona una herramienta a los desarrolladores para crear SIT basados en esta arquitectura de referencia, el U.S. Department of Transportation pone a disposición la aplicación software denominada Turbo Architecture, que facilita el desarrollo de proyectos de SIT basados en la arquitectura de referencia descrita anteriormente. Actualmente, este paquete software es compatible con la National ITS Architecture Version 7.0.



## Bibliografía

**Dirección General de Tráfico** (2012). *Base de datos de accidentes con víctimas en las carreteras de España*.

**E-Frame project** (2011). Entregables del proyecto E-FRAME e información de sus seminarios y workshops. ([www.frame-online.net](http://www.frame-online.net)).

**ERTICO** Red de interés europea en Sistemas Inteligentes de Transporte. Material de seminarios y workshops. ([www.ertico.com](http://www.ertico.com)).

**Liu, R.; Tate, J.** (2004). "Network effects of intelligent speed adaptation systems". *Transportation Journal* (vol. 31, núm. 3, pág. 297-325).

**Lowrie, P. R.** (1982). "The Sydney Coordinate Adaptive Traffic System – Principles, Methodology, Algorithms". *Proceedings of the IEE International Conference on Road Traffic Signalling*. Londres.

**Mayor of London** (2006). *Transport 2015. Transport Vision for a growing world city*. Disponible en: [http://legacy.london.gov.uk/mayor/transport/docs/tfl\\_execsummary\\_t2025.pdf](http://legacy.london.gov.uk/mayor/transport/docs/tfl_execsummary_t2025.pdf).

**Ministerio de Fomento, Gobierno de España** (2009). *Estrategia Española de Movilidad Sostenible*.

**Ministerio de Presidencia, Gobierno de España** (2012). Real Decreto 662/2012. *Boletín Oficial del Estado* (núm. 90, sec. I, pág. 29524).

**Robertson, D. I.; Hunt, P. B.** (1982). "A Method of Estimating the Benefit of Coordinating Signals byTRANSYT and SCOOT". *Traffic Engineering and Control* (núm. 23).

### Páginas web consultadas (marzo 2014)

[http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/figures/trends\\_2030/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030/index_en.htm).

[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/index.php/Passenger\\_transport\\_statistics](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Passenger_transport_statistics).

[http://europa.eu/pol/trans/index\\_es.htm](http://europa.eu/pol/trans/index_es.htm).

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/current-shares-of-freight-transport-volume-tonne-km-by-mode-eu-25>.

<http://www.iteris.com/itsarch/html/menu/hypertext.htm>.

