Sistemes intel·ligents de transport (SIT)

Unai Hernández Jayo

PID_00157978

UOC
Universitat Oberta de Catalunya

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.

Índex

Introducció 5

Objectius 7

1. Què entenem per *sistemes intel·ligents de transport* 9
1.1. Orígens dels sistemes intel·ligents de transport 11
1.2. La importància del transport i la mobilitat 12
1.3. Beneficis dels sistemes intel·ligents de transport 14
1.3.1. Millora en la seguretat viària 14
1.3.2. Millora de l'eficiència dels sistemes de transport 16
1.3.3. Millora de la productivitat i reducció de costos 17
1.3.4. Beneficis mediambientals 18
1.3.5. Millora de la mobilitat de persones amb dificultats 19
1.4. Àrees generals d'aplicació dels SIT 20
1.4.1. Mobilitat eficient i sostenible 20
1.4.2. Sistemes de transport moderns 23
1.4.3. Sistemes d'informació al viatger 24
1.4.4. Gestió del trànsit a les ciutats 25
1.4.5. SIT a autopistes 26
1.4.6. Transport de mercaderies i gestió de flotes 28
1.5. Arquitectura dels SIT 29
1.5.1. Requisits d'una arquitectura per a SIT 31
1.5.2. Requisits funcionals d'usuaris i parts interessades 32
1.5.3. Arquitectura lògica o funcional d'un SIT 34
1.5.4. Arquitectura física d'un SIT 35
1.6. Exemples d'arquitectures de referència per a SIT 36
1.6.1. Arquitectura de referència per a SIT a la Unió Europea 36
1.6.2. Arquitectura de referència per a SIT a l'Estat espanyol 39
1.6.3. Arquitectura de referència per a SIT als Estats Units 41

Bibliografia 45

Introducció

El model de societat en el qual vivim està definit en gran part per l'entorn on portem a terme la nostra vida quotidiana. Les ciutats són els nuclis que concentren cada vegada més la població als països desenvolupats o en vies de desenvolupament, amb els problemes que comporta aquest augment en la seva densitat de població: subministraments, seguretat, infraestructures i mobilitat, entre d'altres. És en aquest últim àmbit en el qual els sistemes intel·ligents de transport (SIT) fan una tasca fonamental: permetre un flux continu i segur de persones i vehicles tant dins de la ciutat com als seus voltants.

Al mateix temps, una de les paraules clau que va aparellada actualment a la gran majoria de desenvolupaments tecnològics és *sostenibilitat*. La sostenibilitat pot ser tant econòmica (qualsevol nou producte, aplicació o servei ha de ser autosostingut econòmicament parlant) com mediambiental. D'aquesta manera, un dels grans reptes als quals hauran de fer front les megaciutats cap a les quals es dirigeix la societat és evolucionar cap a sistemes econòmics caracteritzats pel baix consum energètic i de baixes emissions contaminants. És en aquest escenari en què els nous models de mobilitat urbana i interurbana tindran un paper fonamental, i respondran a necessitats tant econòmiques com mediambientals i, per tant, socials.

Així doncs, si moltes d'aquestes responsabilitats recauen en les administracions públiques, les quals han de proporcionar sistemes de transport comunitaris i públics, els enginyers i tècnics de molt diverses disciplines, com proveïdors de solucions, hauran de ser capaços de fer atractiu l'ús del transport públic, mitjançant la provisió d'aplicacions, serveis o sistemes que facin més senzill i rendible l'ús d'aquests mitjans de transport públics enfront dels sistemes privats.

L'objectiu d'aquesta assignatura, *Telecomunicació en el sector del transport*, és oferir als estudiants una visió d'aquestes solucions des del punt de vista de les telecomunicacions i la telemàtica, i mostrar les eines que l'estudiant té a l'abast per a oferir aquestes solucions tecnològiques que ajudin a aconseguir objectius globals, com poden ser la mobilitat sostenible, eficient i eficaç en els diferents mitjans de transport i àmbits que analitzarem en aquesta assignatura.

En aquest primer mòdul, veurem què rep el nom de *sistema intel·ligent de transport* i analitzarem de manera molt senzilla, sense entrar encara en tecnologies i desenvolupaments, quines en són les aplicacions més importants i que sense que ens n'adonem ja conviuen amb nosaltres en el nostre dia a dia. A

poc a poc, en els mòduls següents anirem descobrint com la telemàtica és la clau tecnològica que fa possible el disseny, desenvolupament i desplegament d'aquests sistemes i les aplicacions que se'n deriven.

En aquest context, introduirem el concepte d'*arquitectura de sistemes intel·ligents de transport*, que, si bé no defineix cadascuna de les aplicacions que és possible desenvolupar sota el paraigua d'aquests sistemes (seria impossible abraçar-les totes), estableix un marc comú que ajuda a contemplar els escenaris i les parts interessades (usuaris, desenvolupadors, proveïdors), i com poden interoperar d'una manera òptima i efectiva.

Objectius

Els continguts d'aquest mòdul han de permetre als estudiants aconseguir els següents objectius:

1. Tenir una visió global de què s'entén per sistemes intel·ligents de transport.

2. Reconèixer els sistemes intel·ligents de transport que actualment es poden trobar desplegats en les infraestructures de transport.

3. Comprendre els beneficis i les necessitats a les quals responen els sistemes intel·ligents de transport.

4. Identificar les àrees generals d'aplicació dels sistemes intel·ligents de transport.

5. Ser capaços de dissenyar una arquitectura funcional i lògica per al desenvolupament d'aplicacions en l'àmbit dels sistemes intel·ligents de transport.

1. Què entenem per *sistemes intel·ligents de transport*

El terme genèric *sistema de transport intel·ligent* (SIT, o ITS segons el terme anglès *intelligent transport system*) engloba el conjunt d'aplicacions que fan ús de les tecnologies de comunicacions, control i processament d'informació en l'àmbit del transport per a obtenir un benefici tant econòmic com energètic i social. Els SIT es poden aplicar en qualsevol mitjà de transport i tenen en compte tots els elements que interactuen i que s'hi poden veure involucrats: el vehicle, la infraestructura i l'usuari, tant si aquest és un conductor com un passatger.

Com dèiem, la funció principal d'un SIT és millorar el rendiment dels sistemes de transport i ajudar, d'una banda, els gestors de la infraestructura per mitjà dels seus sistemes d'explotació i de presa de decisions i, d'altra banda, els seus usuaris, de manera que s'obtingui una satisfacció global del sistema de transport.

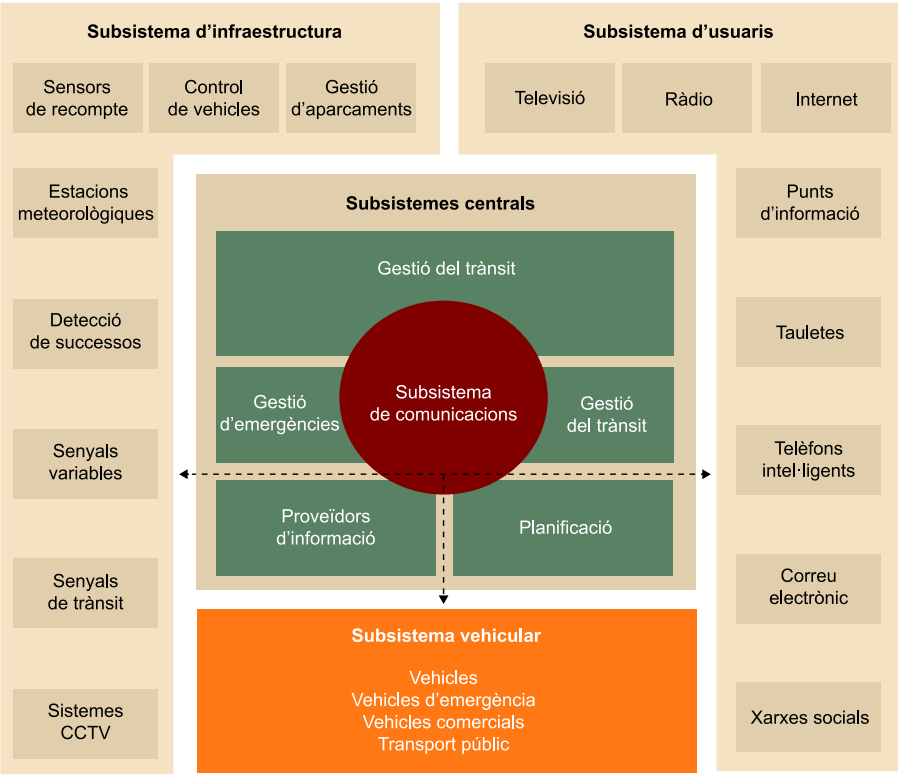
Per a això, un SIT bàsic estarà format per un o diversos sistemes encarregats de recollir informació, altres sistemes que processen i integren aquesta informació i, finalment, altres sistemes que s'encarregaran de proporcionar aquests resultats als usuaris finals. D'aquesta manera, tota la informació generada en temps real pel SIT es podrà utilitzar per a conèixer l'estat de la xarxa de comunicacions, obtenir informació per a planificar un viatge, gestionar de manera dinàmica el trànsit en una àrea determinada, reportar dades d'una operació logística al client o mostrar esdeveniments de trànsit en un sistema GIS. En definitiva, perquè tots els actors disposin de més informació en temps real i de més eines que els ajudin a processar-la, de manera que es pugui portar a terme una tasca més coordinada i intel·ligent de l'operativa d'un sistema de transport, tant si és per carretera com per ferrocarril, marítim/fluvial o aeri.

En definitiva, si haguéssim de donar una definició de *sistemes intel·ligents de transport*, podríem dir que es tracta d'un conjunt de solucions basades en la combinació de tecnologies de les telecomunicacions i de la informàtica que són dissenyades i desenvolupades per a millorar la gestió, el manteniment, monitoratge, control i seguretat del transport, tant terrestre (per carretera o per via fèrria) com marítim/fluvial i aeri.

Sistema intel·ligent

Podem definir un sistema intel·ligent com el que optimitza els processos o recursos per a l'obtenció d'un producte desitjat, i que per a això proporciona informació en temps real per al seu seguiment, avaluació i control, fet que, a més, permet introduir variacions durant el transcurs de la seva gestió.

Figura 1. Sistema de transport intel·ligent conceptual



O bé podem emprar la definició que apareix en el Reial decret 662/2012, de 13 d'abril, pel qual s'estableix el marc per a la implantació dels sistemes intel·ligents de transport (SIT) en el sector del transport per carretera i per a les interfícies amb altres formes de transport del BOE de 14 d'abril de 2012.

Per això, a més dels objectius principals enumerats al començament, els SIT proporcionen una sèrie de beneficis derivats de la millora en l'eficiència operativa, fiabilitat dels serveis oferts i millora productiva en la gestió de les infraestructures del transport, a més d'un increment en la seguretat, reducció de l'impacte ambiental i una gran varietat de serveis d'informació proporcionats als usuaris dels mitjans de transport. Els SIT inclouen, per tant, una gran varietat d'eines i serveis derivats de l'aplicació de conceptes de telemàtica en l'àrea del transport, entre els quals podem esmentar, entre molts d'altres:

- Sistemes de gestió de trànsit automàtics.
- Sistemes de suport a les operacions de transport públic.
- Serveis d'informació al viatger.
- Sistemes de gestió i localització de flotes.
- Gestió d'emergències.
- Serveis de pagament electrònic.
- Sistemes cooperatius vehiculars.

Com es pot observar, la tipologia d'aplicacions i serveis és molt variada, principalment perquè els SIT estan experimentant una evolució contínua i cada vegada s'estan portant a terme més esforços i dedicant més recursos al seu desenvolupament i implantació. Reflex d'això són les plataformes tecnològi-

ques creades a l'empara del Govern amb l'objectiu d'impulsar processos innovadors en l'àrea del transport, tant per terra com per mar o aire, en aquesta última en fase de creació (taula 1).

Taula 1. Plataformes tecnològiques espanyoles

Plataforma	Missió	Web
Plataforma Tecnològica Espanyola de la Carretera	Impuls de la competitivitat i el creixement en el sector de les diverses infraestructures viàries a l'Estat espanyol.	http://www.ptcarretera.es/
Plataforma Tecnològica Ferroviària Espanyola	Aconseguir els avenços científics i tecnològics que assegurin la competitivitat, la sostenibilitat i el creixement del ferrocarril espanyol.	http://www.ptferroviaria.es/
Plataforma Tecnològica del Sector Marítim Espanyol	Definició d'una perspectiva comuna d'evolució previsible del sector marítim a l'Estat espanyol.	http://www.ptmaritima.org

D'altra banda, les institucions tenen un paper fonamental afavorint polítiques que ajudin i incentivin el desenvolupament i desplegament d'aplicacions que millorin els actuals SIT. Un exemple el trobem a la Unió Europea, que en l'actual programa d'ajuda a la recerca denominat *Horizon 2020* inclou un programa de treball exclusiu orientat a l'*smart, green and integrated transport*, en el qual s'impulsen projectes i idees relatius a *mobility for growth*, *green vehicles* o *topics* més orientats al negoci, com és el cas de l'*small business and fast track innovation for transport*. Es pot obtenir més informació en el web http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/smart-green-and-integrated-transport.

1.1. Orígens dels sistemes intel·ligents de transport

Molts dels sistemes intel·ligents que avui dia s'apliquen en diferents mitjans de transport tenen l'origen en la necessitat de regular de manera ordenada i segura el trànsit a les ciutats mitjançant senyals autocontrolats, com és el cas dels semàfors. Dos dels precursors dels actuals SIT són les SCOOT (*split, cycle and offset optimisation techniques*) i els SCATS (*sydney coordinated adaptive traffic systems*), els quals van sentar les bases dels actuals sistemes de control i gestió de trànsit.

Lectures complementàries

Sobre les SCOOT i els SCATS, podeu llegir els treballs següents:

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

D'aquesta manera, els sistemes de control han anat evolucionant des d'aquells que es desplegaven a àrees geogràfiques concretes i que podien funcionar de manera independent segons uns criteris preestablerts als actuals sistemes. En aquests últims no solament el maquinari (senyals, actuadors, sensors, etc.) està distribuït, sinó també les aplicacions, els serveis i els algorismes que empren la informació proporcionada per aquests dispositius per a efectuar una gestió dinàmica del trànsit o el control d'un procés logístic.

Així doncs, en aquest moment és difícil determinar on són les fronteres tant físiques com lògiques de les aplicacions dedicades als SIT, ja que els nous sistemes de processament d'informació basats en tècniques de *machine learning*, *big data* o *data mining* necessiten fonts d'informació molt heterogènies per a alimentar els sistemes d'ajuda a la decisió que actualment són emprats en qualsevol d'aquestes aplicacions. Així doncs, el concepte d'*Internet of things* (Internet de les coses) també ha arribat al transport, de manera que qualsevol element o agent que intervé en un SIT és un potencial consumidor i proveïdor d'informació als sistemes indicats anteriorment.

Internet de les coses

Aquest terme fa referència a la possibilitat que qualsevol objecte quotidià pugui estar connectat a Internet, de manera que es pot identificar i considerar com una font d'informació o actuador. És un concepte avui dia molt estès i que dóna suport a altres paradigmes, com poden ser les *smartcities* o *smartgrids*.

1.2. La importància del transport i la mobilitat

Tant el creixement com la creació d'ocupació depenen en gran manera de l'evolució del sector dels transports. Per a fer-nos una idea, el sector del transport dóna feina directament a unes deu milions de persones i representa prop del 5% del PIB a Europa. La capacitat de la UE per a competir en l'economia mundial està condicionada per l'eficàcia dels sistemes de transport. D'aquesta manera, per a les empreses europees, la logística de transport i emmagatzematge representa entre el 10% i el 15% del cost dels productes acabats, mentre que en l'economia domèstica, el 13,2% del pressupost es dedica a béns i serveis de transport.

A mesura que creixen les necessitats de mobilitat de la nostra societat, la UE ha de ajudar, amb les seves polítiques, els sistemes de transport a superar aquests reptes de futur:

- Congestió de les carreteres i les rutes aèries: ja li costa a Europa prop de l'1% del PIB anual. No obstant això, el transport de mercaderies continua en augment: es preveu que el 2030 haurà crescut un 40% en relació amb el 2005, i que el 2050 l'augment serà del 80%. El transport de passatgers també creixerà en relació amb les xifres del 2005: un 34% més el 2030 i un 51% més el 2050.

- Dependència del petroli: tot i que el transport ja és més eficient des del punt de vista energètic, encara depèn del petroli per a cobrir el 96% de les seves necessitats d'energia. El petroli procedeix cada vegada més de regions inestables del món i escassejarà en les properes dècades. Segons les previsions, el 2050 el seu preu superarà en més del doble el nivell del 2005 (59 dòlars el barril).

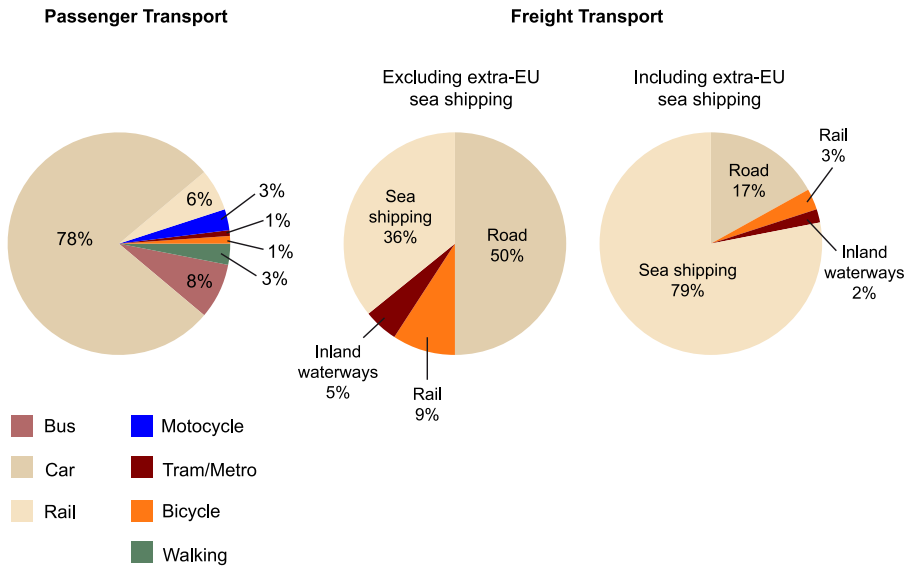
- Gasos d'efecte hivernacle: d'aquí al 2050, la UE ha de reduir les emissions del sector del transport un 60% en comparació amb els nivells del 1990, si es vol que l'escalfament global no superi els 2º. Per a assolir aquest objectiu, el 2050 la UE ha d'aconseguir una reducció total d'emissions d'entre el 80% i 95% en comparació amb els nivells del 1990.

- Infraestructures: presenten un desenvolupament desigual a la UE. Els països situats a l'est solen mancar de línies de ferrocarril especialment construïdes per a l'alta velocitat, a la qual cosa s'afegeixen unes xarxes convencionals sovint en mal estat.

- Competència: el sector dels transports de la UE s'enfronta a una competència creixent en els mercats de transport d'altres regions del món, en ràpid creixement.

Al segle XXI, el transport per carretera absorbeix la major part de la mobilitat, sobretot de passatgers, tal com s'aprecia en la figura 2, encara que també un percentatge important del transport de mercaderies.

Figura 2. Distribució per formes de mobilitat de viatgers i mercaderies

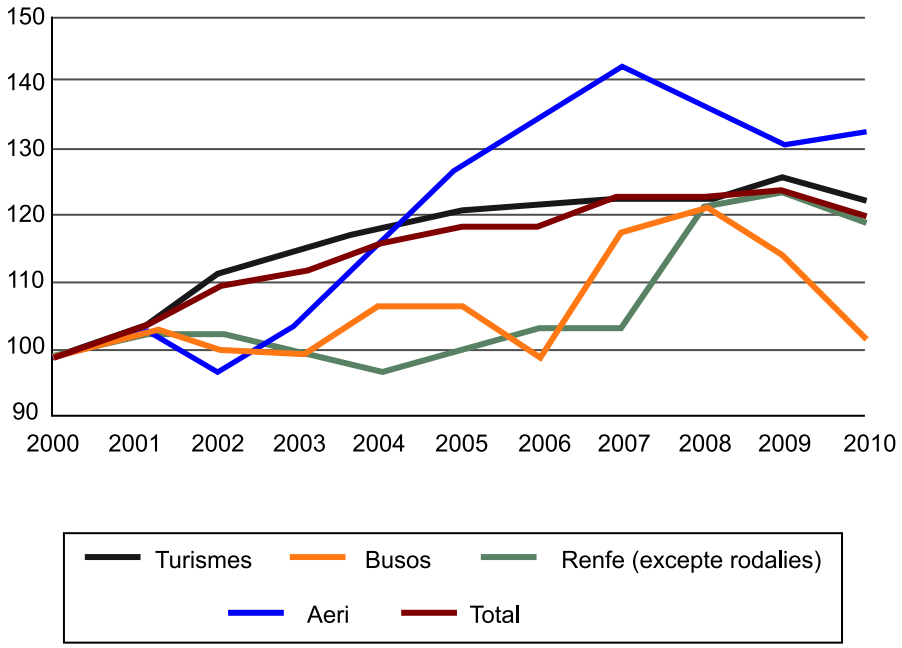


Font: European Environment Agency

En el cas de l'Estat espanyol, la carretera també té un paper fonamental en la mobilitat, tant de persones com de mercaderies, i absorbeix pràcticament la totalitat del creixement de la mobilitat en les últimes dècades. Prenent com a referència els valors de l'any 2000, la figura 3 mostra com l'increment de la

demanda de transport de viatgers entre aquest any i el 2010 es distribueix de manera heterogènia entre les diverses formes: mentre que el ferrocarril amb prou feines presenta variació fins a l'any 2008, en què comença a créixer significativament fins a situar-se en valors similars als de la demanda total, el transport aeri creix de manera molt important, si bé amb una certa caiguda el 2008 i 2009; el transport amb cotxe s'estabilitza a partir del 2005; i el transport amb autobús, amb variacions interanuals importants, cau de manera significativa el 2009 i 2010.

Figura 3. Evolució de la mobilitat de passatgers a l'Estat espanyol



Font: Ministeri de Foment

1.3. Beneficis dels sistemes intel·ligents de transport

Els beneficis que poden reportar els SIT no sempre es poden calcular de manera quantitativa, ja que molts d'aquests sistemes estan orientats a millorar l'experiència dels usuaris, com per exemple les aplicacions destinades a proporcionar informació en temps real del transport públic. En aquest cas, pot ser difícil mesurar la satisfacció dels usuaris o la seva confiança en el sistema, ja que entren en joc valoracions subjectives, no solament del servei de transport sinó també de les mateixes aplicacions proporcionades als usuaris.

Per aquesta raó, en els apartats següents tractem de recollir els beneficis que sí poden ser parametritzables i quantificables.

1.3.1. Millora en la seguretat viària

Dos paràmetres relatius a la millora en la seguretat viària que sí es poden quantificar són, d'una banda, el percentatge de reducció d'accidents i del temps de resposta dels serveis d'emergència. El primer indicador és una mesura directa de la millora en la seguretat: en el cas de l'Estat espanyol, el nombre de morts

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

en accidents de trànsit el 2013 va ser de 1.130, la xifra més baixa des que hi ha estadístiques, i Andalusia (187 morts), Catalunya (155) i Castella i Lleó (108) són les comunitats que encapçalen el rànquing de la sinistralitat i que sumen més d'un centenar de morts. Les causes d'aquesta reducció poden ser diverses, des de la situació econòmica actual (no fer servir el vehicle privat és una mesura d'estalvi) fins a l'enduriment de les sancions. Pel que fa a això, caldria portar a terme estudis que permetessin analitzar en trams concrets de carretera com els SIT poden ajudar en la reducció d'accidents. Un exemple podria ser comparar el nombre de col·lisions que es produeixen en un tram determinat amb, i sense, un sistema de control de velocitat variable en funció de la densitat del trànsit. Un experiment d'aquesta naturalesa es va dur a terme a Suècia[1] L'any 2004 es va poder comprovar com es va aconseguir reduir en un 20% el nombre d'accidents i els límits de velocitat en un 3% o 4%.

Respecte a la reducció del temps de resposta dels serveis d'emergència, podem afirmar que és un exemple clar de benefici proporcionat pels SIT. Referent a això, la Comissió del Mercat Interior i Protecció al Consumidor del Parlament Europeu va anunciar el passat 23 de gener el seu suport a la norma que obliga els vehicles fabricats a partir del 2015 a incloure el sistema eCall, dispositiu embarcat que combina electrònica i comunicacions i capaç de determinar si hem patit un accident i avisar automàticament els serveis d'emergència.

Sistema eCall

A l'aula teniu el document UE_ecall.pdf, en el qual podreu trobar una descripció detallada del sistema eCall, que consisteix bàsicament en un sistema embarcat que combinat amb el GPS del vehicle i un sistema de comunicació és capaç d'establir una trucada telefònica amb el centre de gestió d'emergències per a notificar la posició on hem pogut patir un accident.

A molts països, les prioritats de la política se centren ara en la percepció de la seguretat personal, per nerviosisme sobre el trànsit, el crim i l'aïllament o una percepció més àmplia de la seguretat de la comunitat. Moltes persones tenen por del trànsit, fins i tot si mai no han estat involucrades en un accident o una col·lisió. Aquesta por té costos socials. El SIT es pot utilitzar per a gestionar les interfícies entre els vianants i el trànsit, de manera que es generin zones més segures i més agradables. Els sistemes de gestió de control i àrea d'accés han tingut èxit a millorar la qualitat dels centres de les ciutats; per exemple, les mesures de seguretat de la ciutat de Londres van reduir el nombre d'accidents amb vianants significativament.

Help system for emergency life saving and public safety (HELP) és el sistema desenvolupat pel Japan Traffic Management Technology Association Institute of Urban Traffic Research, similar conceptualment al sistema eCall. En les proves fetes amb aquest sistema, es va comprovar que el temps de resposta dels serveis d'emergència va passar de 101 a 59 segons emprant el sistema a bord HELP, capaç de detectar, per exemple, que ha saltat un dels coixins de seguretat del vehicle.

1.3.2. Millora de l'eficiència dels sistemes de transport

Un dels objectius principals dels SIT és millorar l'eficiència dels sistemes de transport reduint el temps necessari per a moure mercaderies o passatgers de l'origen a la destinació, o bé per a assegurar-se que aquest moviment es fa d'una manera segura i fiable.

L'eficiència s'ha d'analitzar en el context en què es despleguin SIT. Per exemple, és evident que la congestió pot afectar el temps necessari per a portar a terme un viatge. En aquesta situació, un SIT podria detectar-la i proporcionar rutes alternatives als conductors. Tanmateix, pot haver-hi situacions en què aquesta informació no sigui significativa, com per exemple quan la via d'escapada és única o el trànsit està tan saturat que l'opció de canviar de ruta no és viable. Per tant, l'eficiència del servei no depèn solament de com de ben implementat estigui, sinó de les situacions en què s'apliqui, les opcions que ofereixi la infraestructura o com el sistema sigui capaç de discriminar els usuaris als quals dirigeix la informació: si en un embús tots els vehicles pesants prenen la mateixa via d'escapada, canviarem el problema de lloc, però no el solucionarem.

Una altra manera d'incrementar l'eficiència és millorant els sistemes de seguretat. Per exemple, afegint als vehicles sistemes de prevenció de col·lisions actius, els quals poden ser capaços de detectar quant prop som del cotxe que ens precedeix i avisar-nos per a reduir la velocitat o frenar, o fins i tot activar automàticament el fre si fem cas omís a la recomanació i la col·lisió pot ser imminent.

D'altra banda, els sistemes destinats a proporcionar informació en temps real als passatgers (RTTI, sigles en anglès de *real-time traffic and travel information*) fan possible una millora de l'eficiència des de la pròpia experiència, és a dir, proporcionen als usuaris una satisfacció personal i un augment de la confiança envers el sistema o sistemes de transport que estiguin fent servir. Aquests tipus d'aplicacions són molt importants i sol·licitats en les estacions intermodals on els usuaris han de fer transbordament entre un mitjà de transport i un altre, de manera que han d'assegurar una informació veraç i fiable.

i-Tour: intelligent transport system for optimized urban trips és un projecte finançat durant el VII programa marc de la UE, l'objectiu principal del qual, i per al qual es va dissenyar, és promoure l'ús del transport públic mitjançant el foment d'opcions de viatge sostenibles i proporcionant mecanismes de recompensa als usuaris que trien les opcions de viatge públiques. Per a això, durant el projecte i-TOUR (finalitzat el gener del 2013) es va dissenyar un *framework* obert en el qual diferents proveïdors, autoritats i ciutadans poguessin proporcionar serveis de mobilitat multimodal intel·ligent. i-Tour està destinat a facilitar l'ús de diferents mitjans de transport: autobús, cotxe, ferrocarril, tramvia, etc. Per a això, pren en compte les preferències de l'usuari, així com informació en temps real sobre les condicions de la ruta que cal seguir, la meteorologia i les condicions de la xarxa de transport públic.

1.3.3. Millora de la productivitat i reducció de costos

Un dels àmbits en què s'han dut a terme més desenvolupaments relacionats amb els SIT és la gestió d'autopistes, els quals acostumen a estar orientats a maximitzar l'ús de la infraestructura i, per tant, a millorar-ne la productivitat. Alguns exemples són la definició de les vies d'alta ocupació, la possibilitat de crear dinàmicament carrils reversibles o la gestió dinàmica de la velocitat en funció de les condicions del trànsit. A més, aquests sistemes fan possible un estalvi considerable tant pel que fa al cost del desplaçament per part de l'usuari, com des del punt de vista del gestor (públic o privat), ja que aquestes solucions poden evitar en gran mesura la necessitat d'ampliar les xarxes de comunicacions.

Potser el grup d'usuaris que més es pot beneficiar en aquest aspecte dels SIT són les empreses i operadors logístics, ja que els sistemes de gestió de flotes els han permès millorar de manera significativa la productivitat i l'eficiència. Aquests sistemes integrals estan basats principalment en mecanismes de localització automàtica de vehicles (AVL, *automatic vehicle location*) i un programari de gestió que permet comunicar tant a proveïdors com a clients, conductors i gestors de magatzems, és a dir, tots aquells agents involucrats en la cadena de subministrament, integrant la logística en el concepte *just-in-time*.

Just-in-time

Aquest sistema d'organització de la producció per a les fàbriques és d'origen japonès. També conegut com a *mètode Toyota* o *JIT*, permet augmentar la productivitat reduint el manteniment d'inventaris al mínim nivell possible, de manera que els subministradors lliuren just el necessari en el moment necessari per a completar el procés productiu. És en aquest procés de lliurament en què la logística té un paper fonamental en la consecució dels objectius del JIT.

iCargo: intelligent cargo in efficient and sustainable global logistics operations és un projecte desenvolupat també durant el VII programa marc de la UE, que té com a objectiu construir una arquitectura d'intercanvi d'informació oberta que permet als sistemes actuals de gestió de flotes i noves aplicacions cooperar de la manera més eficient i rendible possible, tant econòmicament parlant com pel que fa a la reducció d'emissions de CO_2 durant els processos logístics. Per a això, iCargo permet millorar la sincronització de totes les tasques relatives a la càrrega i descàrrega durant la cadena de subministrament que tingui en compte diferents mitjans de transport.

1.3.4. Beneficis mediambientals

No aportem res de nou si diem que la societat actual està preocupada pel canvi climàtic i les conseqüències dels gasos d'efecte hivernacle. Davant d'aquests problemes, els sistemes de transport encara han de millorar molt, ja que els vehicles són una de les fonts principals d'emissions.

D'altra banda, el transport representa un dels sectors que més afavoreixen l'escalfament global i que més estan contribuint a agreujar el problema del canvi climàtic. Aquest sector concentra la major part de consum final d'energia (40%) i representa el 30% de les emissions de CO_2 a l'Estat espanyol. L'elevat pes del transport per carretera i la seva forta dependència dels derivats del petroli no fan sinó agreujar més aquesta situació (tan sols el transport per carretera concentra el 90% de les emissions del sector), i l'accelerat ritme de creixement del trànsit aeri, que absorbeix més del 13% del consum d'energia del sector al nostre país. Simultàniament, les emissions de CO_2 derivades del sector de l'aviació han crescut ràpidament els últims anys, efecte que es deu tant a la globalització de l'economia com a la reducció del preu dels vols. Es preveu que el 2020 les emissions del sector de l'aviació internacional seran un 70% més abundants que el 2005. Fins i tot amb una millora de l'eficiència del combustible d'un 2% l'any, les emissions poden créixer fins a un 700% el 2050 (en comparació amb el 2005[2])

(2)Font: http://www.wwf.es/

A més, hem de tenir en compte que la quantificació de l'impacte dels SIT destinats a reduir les emissions del transport pot ser complicada, ja que la qualitat de l'aire depèn de molts factors a més del transport (clima, indústria, evolució de la capa d'ozó, etc.). Tot i això, serveis destinats a promocionar l'ús del transport públic en detriment del privat o de control de trànsit a les ciutats poden contribuir de manera significativa a la reducció d'emissions contaminants.

D'altra banda, els SIT no solament poden contribuir a reduir les emissions de CO_2, sinó que, per exemple, poden contribuir a reduir l'impacte del trànsit quant al soroll o les vibracions en determinades situacions (limitant la velocitat o l'accés a certes àrees en hores determinades del dia o en funció del tipus de vehicle).

Els SIT poden contribuir a delimitar i controlar zones protegides, per exemple senyalitzant l'àrea, a partir de polítiques que determinin horaris i tipus de vehicles permesos en funció de les hores. Els SIT també poden contribuir a mesurar la qualitat de l'aire i a informar els residents dels resultats. En aquest cas, els SIT poden contribuir a dotar d'intel·ligència la ciutat, com és el cas de Santander (http://www.smartsantander.eu/), on es combinen diferents sistemes intel·ligents per a dotar de més informació els habitants de la ciutat.

Santander smart travel

L'objectiu d'aquest sistema integrat en el concepte *smart Santander* és proporcionar informació en temps real sobre la congestió del trànsit a Santander, gràcies als sensors instal·lats.

1.3.5. Millora de la mobilitat de persones amb dificultats

Els SIT poden oferir millores en la mobilitat per a les persones que pateixen certes limitacions en la interacció amb l'entorn, per exemple millorant l'accés als transports públics o fins i tot fent possible que la seva conducció sigui més senzilla i segura.

En els sistemes de transport públic, els SIT poden estar dissenyats per a oferir informació en formats molt diferents, per exemple, en forma de missatges acústics per a persones amb visió reduïda o en forma de text per a aquelles amb problemes d'audició. Un exemple el podem trobar a les nostres pròpies ciutats, on les persones invidents poden saber l'estat d'un semàfor activant un control remot que fa que el semàfor emeti un so determinat en funció del color. També són ben coneguts els sistemes basats en tecnologies de localització que permeten tenir monitoritzades persones amb certes malalties com l'Alzheimer i que corren risc de perdre la memòria mentre són fora de casa.

Al mateix temps, els SIT contribueixen al fet que l'accés als transports sigui més senzill, per exemple per a persones grans, ja que faciliten els models de pagament amb bitllets únics i tarifes especials en funció de l'edat.

No oblidem que en els SIT també intervenen les autoritats públiques, les quals han d'impulsar polítiques que afavoreixin i facilitin l'ús del transport públic independentment de l'edat i condició.

Transport a demanda: el cas del comtat de Pinellas, Florida. La Pinellas Suncoast Transit Authority (PSTA) s'encarrega de proporcionar un servei de transport "a mida" per a les persones que, a causa de la seva mobilitat reduïda, no poden accedir als sistemes de transport públic convencionals. El servei funciona amb un sistema de reserves de trajectes, en el qual cada usuari especifica el punt i l'hora de recollida. Un sistema central s'encarrega de registrar les peticions i de generar la ruta que han de fer els conductors de les furgonetes de la manera més adequada possible, estalviant diners i temps en els trasllats.

1.4. Àrees generals d'aplicació dels SIT

Tal com dèiem prèviament, tractar de catalogar o classificar les aplicacions que poden ser potencialment dissenyades i desenvolupades sota el paraigua dels SIT és una tasca difícil a causa de la seva gran diversitat i la dificultat de definir una frontera entre aquests sistemes i altres. Per a tenir una visió general, en la taula 2 s'han recollit les àrees principals d'aplicació dels SIT, i una representació dels serveis que s'acostumen a oferir en cadascuna d'aquestes.

1.4.1. Mobilitat eficient i sostenible

En el model econòmic actual, la capacitat de garantir el transport correcte i eficaç de persones i mercaderies és un requisit fonamental. El fet de no aconseguir aquest objectiu pot representar una amenaça per a la competitivitat i, alhora, reflectir un ús insostenible de la infraestructura de transport desplegada.

Segons ERTICO (http://www.ertico.com/), els SIT s'ofereixen com a sistemes vàlids i amb una bona relació cost-eficiència que proporcionen serveis de manteniment i suport a l'explotació per a la gestió de mitjans de transport. Entre altres serveis, permeten:

- Reducció d'accidents de trànsit.
- Augmentar la capacitat efectiva de les infraestructures sense necessitat de noves construccions.
- Estalvi en el temps per trajecte.
- Reduccions significatives en les emissions de CO_2 per vehicle.

Barcelona, mobilitat sostenible

L'Ajuntament de Barcelona manté el web http://w110.bcn.cat/portal/site/Mobilitat amb informació actualitzada sobre trànsit, transport públic i alternatives per a una mobilitat més sostenible.

Taula 1. Àrees d'aplicació dels SIT

Àrea	Serveis
Mobilitat eficient i sostenible	• Gestió dinàmica de rutes • Conducció eficient • Intermodalitat i comodalitat

Àrea	Serveis
Sistemes de transport moderns	• *Car pooling* • *Car-sharing* • Transport a demanda
Sistemes d'informació al viatger	• Planificació de rutes • Sistemes de guiatge • Informació contextual
Gestió del trànsit a les ciutats	• Gestió d'aparcaments • Regulació dinàmica del trànsit • Sistemes de supervisió
SIT a autopistes	• Sistemes de pagament automàtics • Gestió dinàmica de la velocitat • Carrils VAO i reversibles
Transport de mercaderies i gestió de flotes	• Sistemes integrats logístics • Monitoratge remot • *Hubs* logístics

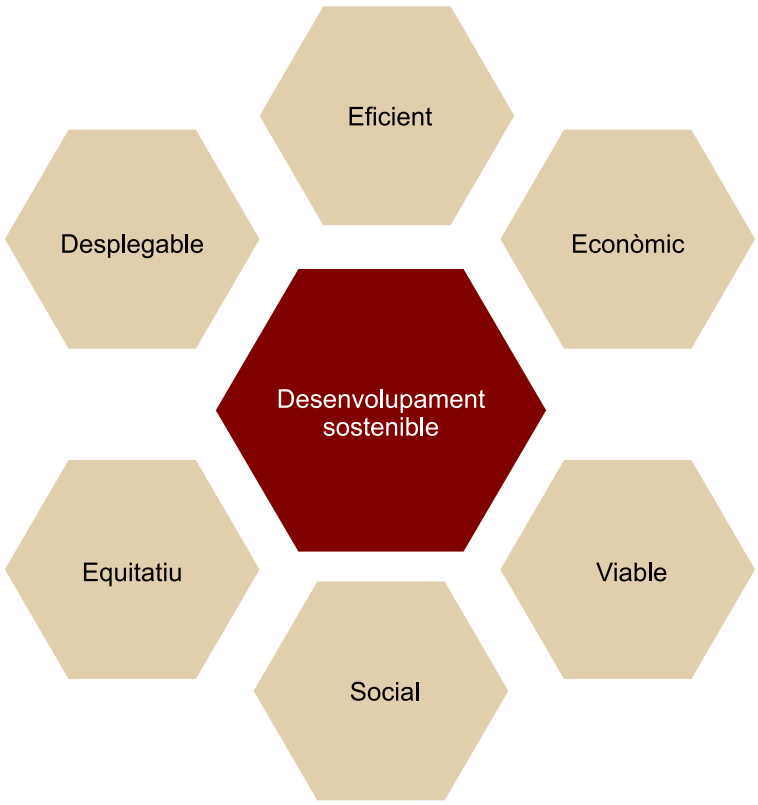
La mobilitat eficient i sostenible és una de les preocupacions principals de les administracions públiques. Nombrosos ajuntaments, com el de Gasteiz o Barcelona, disposen de taules de treball específiques que aborden aquest tema i tracten d'implantar nous models de transport com, per exemple *car-sharing*, *bike-sharing*, autobusos elèctrics, serveis intermodals, etc. També podem trobar grups de treball en l'entorn del medi ambient que treballen específicament en l'àrea del transport, amb l'objectiu de proporcionar recomanacions i pautes d'actuació per a una mobilitat més eficient i sostenible.

Totes aquestes iniciatives tenen unes característiques comunes, que apareixen reflectides en la figura 4, i busquen afavorir el desenvolupament sostenible de les ciutats i els seus voltants. D'aquesta manera, barregen el concepte de *sistema de transport intel·ligent* amb el de *smart city*, en el qual també s'entremesclen les tecnologies de les comunicacions i la informàtica per a millorar l'experiència del ciutadà, que en aquest cas també és passatger d'un mitjà de transport públic o privat.

Lectura recomanada

A l'aula teniu el document ETRA_final.pdf, en el qual trobareu informació sobre les conclusions del grup de treball ETRA sobre el transport: mobilitat sostenible i eficàcia energètica.

Figura 4. Característiques dels sistemes de mobilitat eficient i sostenible



Definim *smart city* (en català, 'ciutat intel·ligent') com la ciutat que fa servir les tecnologies de la informació i les comunicacions per a fer que tant la seva infraestructura crítica com els seus components i serveis públics siguin més interactius i eficients i els ciutadans en puguin ser més conscients. És una ciutat compromesa amb l'entorn, tant des del punt de vista mediambiental com quant als elements culturals i històrics.

Podem dir que un sistema de mobilitat eficient ho ha de ser tant des del punt de vista econòmic com social, i ha de fer possible un desenvolupament sostenible de la mobilitat sense excloure cap ciutadà (si parlem d'un model urbà, hem de considerar tota la geografia de la ciutat) i amb una viabilitat tècnica i econòmica, és a dir, proporcionant solucions tècniques factibles.

D'aquesta manera, un dels reptes de les societats desenvolupades en matèria de mobilitat és evolucionar cap a models econòmics de baix consum de carboni i menys consum energètic, amb criteris d'equitat social i repartiment just de la riquesa. Aquest és, en definitiva, el repte de la sostenibilitat. Per aquest motiu, una mobilitat sostenible implica garantir que els nostres sistemes de transport responguin a les necessitats econòmiques, socials i mediambientals, i redueixin al mínim les repercussions negatives.

1.4.2. Sistemes de transport moderns

La congestió del trànsit és un dels reptes principals que es troben les ciutats, ja que segons un informe de les Nacions Unides s'estima que, el 2050, aproximadament el 70% de la població mundial viurà a les ciutats. Aquest creixement comporta una expansió de la demanda a la qual estan sotmeses totes les infraestructures urbanes, incloent-hi el transport. Respecte a això, la majoria de ciutats tracten de convertir-se en ciutats més netes i millor organitzades, reduint la congestió del trànsit i millorant-ne el flux, i sobretot incrementant i millorant l'ús dels sistemes de transport públics com a alternativa a l'ús del vehicle privat per als desplaçaments.

Població a les ciutats

En aquest enllaç podeu accedir a una aplicació interactiva de National Geographic sobre la distribució de la població a les ciutats.

Si bé és necessària la millora de les infraestructures i una inversió econòmica més gran, actualment les alternatives passen per gestionar-les d'una manera més eficient i adoptar polítiques que incentivin els ciutadans a emprar mitjans de transport públics. És aquí on els SIT poden tenir un paper molt important proveint de serveis com els que mostra la figura 5, els quals formen part d'un sistema de control i gestió de trànsit modern.

Figura 5. Elements d'un sistema de gestió i control del trànsit

Bus rapid transportation system

Un exemple de millora en les infraestructures és el BRTS (*bus rapid transportation system*). Són les sigles d'una sèrie de sistemes de transport públic amb autobús que tenen com a objectiu proporcionar un servei més ràpid i més eficient que el que ofereixen els models habituals de transport amb autobús. Per a això, és necessària l'habilitació d'un carril totalment o parcialment segregat per a ús exclusiu del BRTS.

Aquesta llista creix dia a dia gràcies a la contínua evolució de les tecnologies de la informació i les telecomunicacions, i la telemàtica és una de les matèries científiques que més ha d'aportar al desenvolupament de nous SIT; per exemple, aplicacions per a serveis de transport públic alternatius com el *carsharing*, control dinàmic de trànsit en temps real o serveis de suport a la presa de decisions en centres de control.

Una mostra de com els serveis desenvolupats entorn dels SIT poden ajudar a millorar els sistemes actuals de transport la podem trobar en l'informe *Transport 2025. Transport vision for a growing world city*, redactat per l'àrea de transport de l'Ajuntament de Londres, ciutat que ha tingut molt d'èxit a l'hora de canviar les tendències dels usuaris i animar-los a utilitzar més l'autobús que el vehicle privat. Des del 1999, l'ús d'aquest mitjà de transport s'ha incrementat un 40% i s'ha experimentat un canvi modal del 4% pel que fa als vehicles privats. Això ha estat possible gràcies a iniciatives específiques que incloïen l'ampliació de serveis, horaris i connexions millors, inversió en nous autobusos, una estructura tarifària i una solució de pagament més senzilles, actualització regular dels trajectes i campanyes de màrqueting. El canvi ha estat més gran al centre de Londres, amb el suport de peatges antiembús i mesures que donen prioritat als autobusos.

Lectura recomanada

Teniu el document íntegre *Transport 2025. Transport vision for a growing world city* a línia.

1.4.3. Sistemes d'informació al viatger

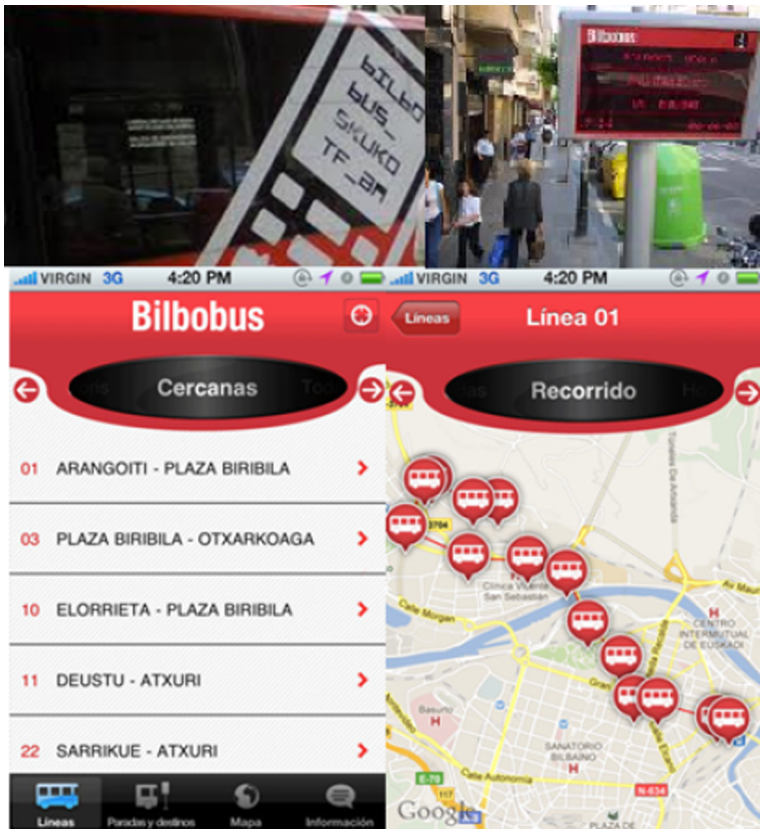
Aquesta és una de les àrees en les quals es poden trobar un nombre d'aplicacions desenvolupades entorn dels SIT, principalment gràcies a l'expansió de l'ús dels telèfons intel·ligents, terminals amb una gran capacitat de còmput i sobretot de comunicació, de manera que s'ofereix la possibilitat que l'usuari estigui connectat en qualsevol lloc i qualsevol moment a una gran font d'informació com és Internet.

Així doncs, una de les maneres de fomentar l'ús del transport públic és proporcionant als usuaris informació en temps real d'una manera que sigui fàcilment accessible. Els sistemes de localització automàtica de vehicles (AVL, per les sigles en anglès d'*automatic vehicle location*) permeten al gestor del transport públic tenir localitzada la flota de vehicles i, una vegada processada la informació, proporcionar als passatgers dades sobre el temps d'espera mitjà amb pantalles localitzades a les parades o la durada del trajecte mitjançant panells a l'interior del mitjà de transport. Per tant, és funció dels SIT estructurar, ordenar i distribuir aquesta informació als usuaris d'una manera que sigui fàcilment comprensible i, sobretot, usable, i evitar que el receptor es vegi sotmès a un flux continu de dades que en molts casos no li resulti ni necessari ni rellevant.

Actualment, podem trobar exemples d'aplicacions que ofereixen informació als passatgers pràcticament a qualsevol ciutat. Un exemple es mostra en la figura 6, en què un usuari que es troba en un punt geolocalitzat de la ciutat

de Bilbao empra l'aplicació proporcionada per la companyia que gestiona els autobusos locals per a saber quines línies passen prop d'on ell es troba i quin n'és el recorregut.

Figura 6. Sistema d'informació al passatger de Bilbobus (Bilbao)



Altres exemples d'aquest tipus de serveis poden ser:

- Planificació de rutes emprant diferents mitjans de transport interurbans sobre la base de la selecció prèvia efectuada per l'usuari.
- Guies turístiques a través dels punts més importants d'una ciutat, en funció d'on es troba l'usuari.
- Informació en temps real de l'estimació de l'arribada a la destinació, en funció de la disponibilitat de diferents mitjans de transport públics.
- Monitoratge del trànsit i condicions meteorològiques a la ruta que seguirà un conductor.
- Localització, reserva i pagament de plaça d'aparcament mitjançant una terminal mòbil.

1.4.4. Gestió del trànsit a les ciutats

Actualment, la gran majoria d'àrees urbanes europees fa servir diferents serveis proporcionats pels SIT per al control i la gestió del trànsit, des de l'ús de vehicles privats i camions al de transport públic i serveis d'informació desplegats a les ciutats.

El gran objectiu actual de molts d'aquests centres de gestió del trànsit és aprofitar els grans avantatges que ofereixen els SIT per a aconseguir una integració millor de tots els serveis oferts. Per a això, han de ser capaços de manejar un volum més gran d'informació i donar com a resultat un conjunt de plans d'actuació sobre la gestió del trànsit que es puguin desplegar més ràpidament. Han de ser fins i tot capaços d'anticipar-se a certs esdeveniments que es poden predir sobre la base de determinats patrons de comportament.

Per a això, les infraestructures es poden instrumentalitzar amb sensors, mesuradors, càmeres i equips de comunicacions que proporcionen la capacitat de mesurar, detectar i monitoritzar la situació de pràcticament qualsevol tram d'una via o accés a una gran ciutat. Al mateix temps, són necessaris sistemes sofisticats de gestió i anàlisi de grans volums de dades (sistemes de *data mining* en anglès) que puguin detectar patrons i relacions que permetin la presa contínua de decisions en temps gairebé real. D'aquesta manera, serà possible planificar millor els trajectes i accessos a les ciutats, i optimitzar el nombre de vehicles, equips i instal·lacions per a augmentar la capacitat de les infraestructures.

Lectura recomanada

A l'aula teniu el document EquiposPrioridadVehicular.pdf, en el qual trobareu la presentació d'equips per a la gestió del trànsit efectuada per Indra Sistemes, SA en les VI Jornades sobre Gestió de Trànsit (ITS Espanya, 2011).

Figura 7. Centre de gestió del trànsit de València

1.4.5. SIT a autopistes

Els problemes de congestió poden ser tant o més problemàtics a les autopistes que a les ciutats o les carreteres circumdants. Si bé el control del trànsit d'una ciutat pot resultar complicat de gestionar a causa de les peculiaritats i diversitats de la seva pròpia orografia, es tracta d'un lloc localitzat i delimitat, mentre que una autopista és una infraestructura oberta i que pot constar de centenars de quilòmetres.

A causa de les distàncies que cal controlar i gestionar, i la possibilitat que una carretera sigui compartida per diversos estats o la seva explotació sigui gestionada per diferents concessionàries, és necessari, d'una banda, dissenyar sistemes de gestió de la informació que permetin l'intercanvi de dades entre ad-

ministracions de manera eficaç i efectiva; i, d'altra banda, que els dispositius que els vehicles puguin portar a bord siguin operatius en tota la infraestructura viària.

Un exemple d'això són els dispositius de telepeatge denominats Via-T (http://www.viat.es/), nom pel qual es coneix el sistema de telepeatge implantat a gairebé la totalitat de la xarxa d'autopistes de peatge espanyola que permet abonar el peatge sense necessitat d'aturar el vehicle. El sistema està format per dos elements principals: d'una banda, el dispositiu electrònic Via-T, que s'ha de col·locar a l'interior del vehicle a l'altura del parabrisa, i, d'una altra, el conjunt d'antena i lector localitzat a l'àrea de pagament de l'autopista i que s'encarrega de detectar el Via-T, identificar-lo i enviar la informació al sistema de gestió que efectuarà l'operació de cobrament del servei al client associat al dispositiu Via-T llegit.

Aquest tipus de sistemes també el podem trobar en altres països europeus, com per exemple el Tis-Pl a França, el Via Verde a Portugal, el TelePass a Itàlia, el GoBox a Àustria o el TollCollect a Alemanya.

Tanmateix, els SIT no ofereixen només serveis de telepeatge als usuaris i empreses concessionàries d'autopistes. Hi ha un conjunt d'aplicacions que permeten intercanviar informació entre els vehicles i l'òrgan gestor de la infraestructura.

Exemples d'aquestes aplicacions són els següents:

- Sistemes de còmput de vehicles als accessos i sortides per al control de la congestió a autopistes i carreteres. Aquests sistemes són coneguts en anglès com a *ramp metering*.

- Provisió d'informació i avisos als conductors mitjançant senyalització variable lluminosa.

- Sistemes de control dinàmic de velocitat a autopistes per a regular el flux del trànsit i reduir les acceleracions i frenades dels conductors.

- Sistemes de detecció automàtica d'incidents, de manera que es pugui prevenir immediatament dels perills als conductors.

Si bé el desplegament de panells informatius lluminosos com el que es mostra en la figura 8 és un mitjà senzill i directe de proporcionar informació als conductors, els sistemes SIT actuals estan encaminats a proporcionar dades "personalitzades" als conductors en funció de la seva posició i de la ruta que seguiran, de manera que puguin adoptar amb antelació accions que els evitin trobar-se amb incidents en el recorregut: accidents, retencions, obres, etc.

Tecnologies com RDS o TMC han estat les precursores dels sistemes actuals col·laboratius i que analitzarem més detalladament en apartats posteriors. Aquests sistemes permeten que els vehicles formin una xarxa de comunicacions entre elles, de manera que poden compartir i distribuir informació entre els elements de la xarxa, tant vehicles en moviment com elements fixos en la infraestructura.

Figura 8. Panells de senyalització variable

1.4.6. Transport de mercaderies i gestió de flotes

Unes de les aplicacions més importants i esteses dels SIT són els sistemes d'ajuda a l'explotació en el sector de la logística, tant des del punt de vista de la geolocalització i el posicionament de la mercaderia com dels propis vehicles encarregats del seu transport.

No obstant això, el ventall d'aplicacions va molt més allà, i abraça des de la gestió dels propis conductors (gestió del temps de conducció, parades, punts i temps de lliurament) fins a la gestió del combustible (consum mitjà per recorregut, màxims de consum, etc.) i el telecontrol de la càrrega (per exemple, monitoratge de la temperatura i humitat de productes peribles). La combinació de tots aquests serveis té com a objectiu millorar l'eficiència i la productivitat de l'operació logística, i a més compleix amb la normativa legal vigent relativa al transport de mercaderies i a la seguretat a la carretera (tant relativa al vehicle com al conductor).

Generalment, aquests sistemes estan formats, entre d'altres, pels elements següents:

- Sistema automàtic de localització de vehicles (AVLS). És el subsistema que constitueix la base fonamental. L'AVLS permet a la companyia operadora logística controlar la flota des del centre de control, i saber en tot moment on es troben els vehicles. Per a això, el vehicle disposa d'un sistema electrònic embarcat capaç de recollir informació en temps real del vehicle (estat del vehicle, conductor, ruta, ocupació), generar alarmes i avisos (operacions de càrrega i descàrrega, avaries, emergències) i anàlisis de dades,

tant en temps real (ocupació, puntualitat, recursos disponibles) com històriques (rendiment del conductor, incidents, eficiència del servei).

- Sistema d'ajuda a l'explotació (SAE). La informació obtinguda al centre de control per mitjà del sistema AVLS serveix per a portar a terme accions sobre la flota: gestió dinàmica de rutes, efectuar correccions, substituir vehicles avariats, etc.

- Sistema de planificació. Permet a l'operador planificar amb antelació una distribució eficaç dels recursos, és a dir, dels vehicles i conductors.

- Sistema de comunicacions, el qual ha de permetre una comunicació bidireccional entre el vehicle i el centre de control, de manera que s'habilitin uns canals d'informació continus.

Si bé es tendeix a associar els SIT amb processos logístics per al transport de mercaderies a l'entorn urbà i per carretera, on la seva aplicació és més difosa i on podem trobar més aplicacions, no hem d'oblidar que un percentatge important del volum de transport de mercaderies que es fa al món s'efectua per mar. Per tant, els ports són uns dels concentradors (*hubs*) de mobilitat més importants que cal tenir en compte a l'hora de fer possible la traçabilitat dels béns transportats i els processos de gestió de flotes. Així doncs, els ports tenen un paper fonamental quan parlem de comodalitat i intermodalitat en el transport de mercaderies, dins d'allò que es coneix com a *autopistes del mar*.

Lectura recomanada

A l'aula teniu el document Autopistas del mar.pdf, en el qual trobareu la presentació sobre les autopistes del mar i el desenvolupament portuari, i una introducció del concepte de *comodalitat*.

Figura 9. Sinopsi d'un sistema de gestió de flotes

1.5. Arquitectura dels SIT

A causa dels ràpids avenços en l'àrea de la telemàtica, els SIT cada vegada són més complexos i, per tant, difícils de desenvolupar i desplegar. Així doncs, en el moment de dissenyar una arquitectura per a donar servei a un SIT, és necessari assegurar tant el funcionament de cadascun dels components per separat com el funcionament íntegre del sistema quan la combinació de cadascuna de les parts forma un SIT complet. D'aquesta manera, una manera de

tractar d'alleujar aquesta problemàtica consisteix a emprar una arquitectura de referència que proporcioni un marc el qual contingui un conjunt de supòsits mínims comuns a tots els SIT. Abans de la definició dels SIT com a tals, els sistemes de control de trànsit es dissenyaven per a proporcionar un o dos serveis que generalment funcionaven de manera independent en subsistemes separats.

Avui dia, els SIT són estructures complexes que combinen tasques de gestió, control, recollida d'informació i sistemes d'actuació que han d'estar perfectament relacionats i sincronitzats per a satisfer les tasques per a les quals han estat dissenyats. Per tant, a l'hora de dissenyar la solució de SIT s'han de definir tant cadascun d'aquests subsistemes com les sinergies que poden aparèixer entre ells. Així, l'arquitectura del sistema proporciona un marc comú, dissenyat sobre la base dels requisits dels usuaris i l'àmbit d'aplicació per a la planificació, definició i integració en un sistema intel·ligent de transport. A tall d'exemple, la figura 10 mostra com és el procés de definició d'un SIT establert per l'arquitectura de referència FRAME.

Arquitectura d'un sistema

Una arquitectura és la descripció formal d'un sistema, organitzat de manera que permeti raonar-ne les propietats estructurals. Per tant, defineix els components del sistema, els resultats esperats i els mètodes per a interactuar amb altres sistemes desenvolupats prèviament.

El disseny i desenvolupament d'una arquitectura per un SIT comença per la definició d'un marc comú en el qual s'incloguin les prioritats, funcionalitats i expectatives de tots els possibles beneficiaris del sistema, com per exemple usuaris finals, autoritats, operadors, i fabricants i proveïdors de tecnologia, de manera que tots s'hi vegin reflectits i n'obtinguin el màxim rendiment possible. A més, s'han de tenir en compte els aspectes organitzatius, legals i comercials derivats de l'ús i l'explotació del sistema.

L'arquitectura d'un sistema intel·ligent de transport ha de definir:

- Les funcionalitats que ha de presentar el SIT, com per exemple la possibilitat de proporcionar informació de trànsit en temps real.
- Els elements o subsistemes físics encarregats d'executar les funcionalitats definides prèviament; per exemple, els panells de senyalització variable.
- Com ha de ser el flux d'informació entre els diferents subsistemes que es defineixin en l'arquitectura d'una manera totalment integral.

Com veiem, en cap moment no hem fet referència a tecnologies concretes, ja que una arquitectura de SIT és independent de la tecnologia emprada en el seu desenvolupament i, per tant, no determina com s'han d'implementar

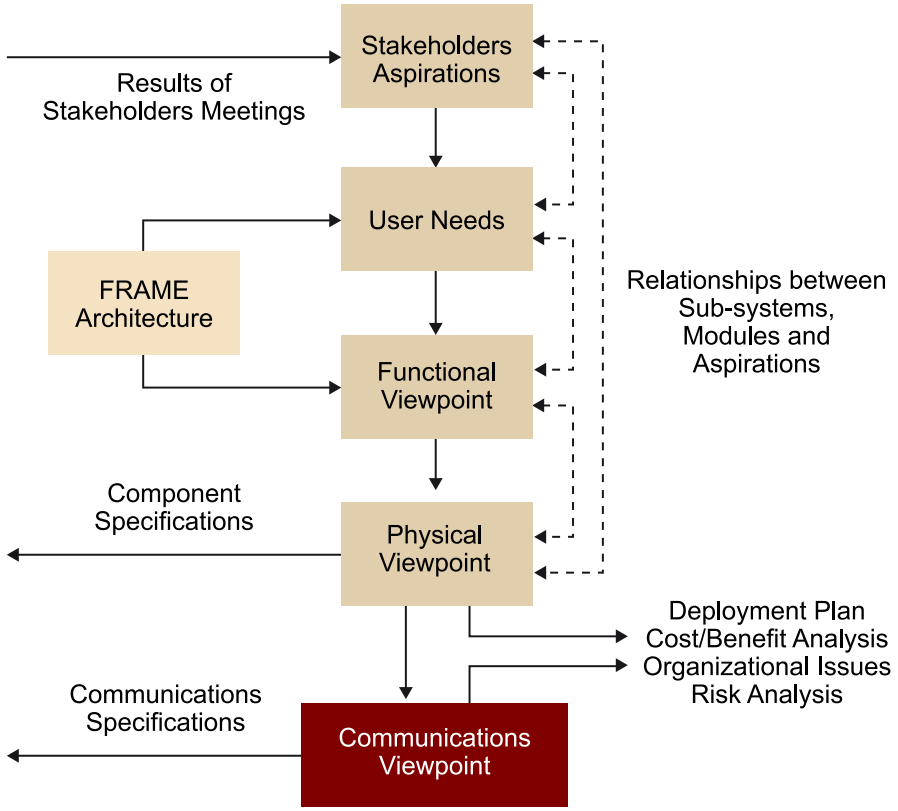
els serveis o aplicacions previstos. Aquestes arquitectures es poden crear en un àmbit nacional, regional o de ciutat, i han d'assegurar que els desenvolupaments que cal fer:

- Es puguin planificar d'una manera lògica.
- S'integrin de manera satisfactòria en altres sistemes.
- Assoleixin els nivells de rendiment i els comportament desitjats.
- Siguin senzills de gestionar, mantenir i estendre.
- Satisfacin les expectatives dels usuaris.

1.5.1. Requisits d'una arquitectura per a SIT

En essència, una arquitectura de SIT consisteix en un intercanvi d'informació entre sistemes que es troben en diversos nivells lògics (com els que mostra la figura 10).

Figura 10. Procés per a crear una arquitectura de SIT



D'una banda, l'arquitectura es defineix sobre la base d'uns requisits o unes aspiracions assolits mitjançant reunions amb les parts interessades i involucrades en el SIT (denominades *stakeholders*). D'aquesta manera, assegurem que l'arquitectura que definim compleixi amb les expectatives i necessitats generades i no estem aplicant tecnologies ni proporcionant serveis sense cap sentit o finalitat.

Generalment, aquests *stakeholders* són empreses (encara que també poden ser estaments públics) que esperen obtenir un benefici comercial dels serveis i les funcionalitats que proporciona l'arquitectura. Així doncs, si el disseny i la implementació dels subsistemes que la componen estan basats en estàndards, es pot assegurar la possibilitat de generar un flux d'informació amb altres sistemes aliens al SIT definit, és a dir, la seva **interoperabilitat**, per la qual cosa això facilitarà una penetració en el mercat molt més ràpida.

De manera paral·lela i lligada a la interoperabilitat, s'ha d'assegurar l'escalabilitat de l'arquitectura, definida com la facilitat d'adaptar-se a futurs canvis relatius a actualitzacions o ampliacions de les funcionalitats i serveis. D'aquesta manera, es garanteix que sigui senzill afegir nous subsistemes o cobertures geogràfiques sense necessitat d'efectuar un redisseny de l'arquitectura.

Així, una conseqüència dels requisits anteriors és la **independència tecnològica** de l'arquitectura. Tal com dèiem anteriorment, en el disseny de l'arquitectura no s'especifiquen tecnologies, encara que, com veurem més endavant i és obvi, les tecnologies seleccionades tenen un paper fonamental en la satisfacció dels objectius definits per usuaris i *stakeholders*.

Com hem dit prèviament, una arquitectura d'aquest tipus és un sistema complex i, per tant, el seu disseny i desenvolupament comporten certs riscos que s'han de preveure durant les etapes prèvies a la seva execució. Per tant, s'han de predir possibles punts de fallada del sistema o elements que puguin degradar-se amb el pas del temps, de manera que la seva substitució no impliqui la paralització del sistema complet i no pugui perjudicar ni els *stakeholders* ni els usuaris.

A més, atès que el transport és un àmbit en què les administracions públiques tenen un paper molt important, tal com vèiem en la figura 1, durant la fase de disseny s'ha de mantenir una comunicació fluïda amb els estaments públics relacionats amb el SIT en estudi. D'aquesta manera, es poden minimitzar els riscos operatius o de gestió que puguin sorgir durant l'operativa normal dels sistemes definits.

1.5.2. Requisits funcionals d'usuaris i parts interessades

Com dèiem, el primer pas en el disseny d'una arquitectura per a un SIT consisteix a involucrar a tots els possibles usuaris i *stakeholders* en la definició, selecció i priorització dels serveis que l'arquitectura haurà d'oferir durant el seu funcionament. Com a resultat, s'ha d'arribar a un consens en què es triïn tant els proveïdors com els usuaris que rebran els serveis prestats pel SIT.

La definició de requisits pot ser un camí llarg i costós, en què els tècnics han de ser capaços de recopilar la màxima informació possible d'usuaris i *stakeholders*, de manera que l'arquitectura resultant satisfaci en gran manera les necessitats

de tots. A més, s'ha de tenir en compte el context en què es desplegaran els serveis proposats, ja que el seu disseny i desenvolupament en dependran en gran manera, i seran diferents si es despleguen a àrees rurals o urbanes, per exemple.

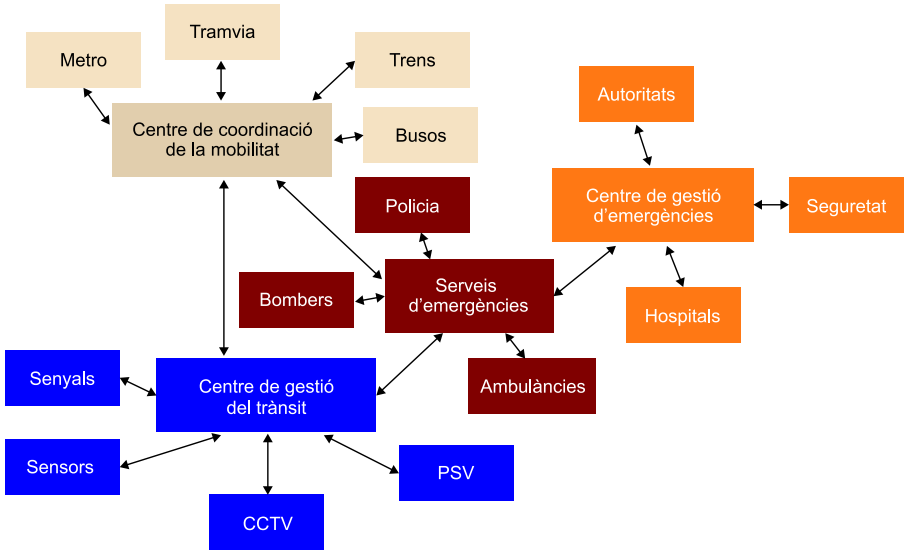
En aquesta fase, hi ha agents que poden exercir un paper fonamental i que solen estar organitzats en àrees de domini (com, per exemple, gestors d'infraestructures, proveïdors de transport públic, operadors logístics, etc.). Així, cada grup d'interès defensarà les pròpies prioritats a més de les generals relatives a seguretat, eficiència o qualitat comunes a qualsevol SIT.

Una vegada que totes les parts interessades i usuaris coincideixen en els requisits i els serveis que ha de proporcionar el SIT, s'ha de treballar en la definició de les especificacions funcionals que faran possible el desplegament d'aquests serveis. Per a això, s'establiran les sinergies entre tots els subsistemes i proveïdors com, per exemple, en el cas d'un gestor/explotador de transport públic, els sistemes de gestió de flotes emprats, els mitjans d'informació al passatger o la integració en nous sistemes de pagament (com els que fan servir la tecnologia NFC al mòbil).

Un altre exemple en què s'ha de definir *a priori* la interacció entre subsistemes el podem trobar quan es produeix un accident en una autopista. En aquesta situació, el centre de gestió de trànsit és l'encarregat d'activar el protocol necessari per a auxiliar les possibles víctimes i fer els ajustos necessaris en el trànsit. Per a això, podrà recollir informació dels diferents sensors repartits per la via per a redirigir el trànsit segons convingui mitjançant els panells de senyalització variable. Al mateix temps, s'ha de posar en contacte amb el centre de gestió d'emergències, encarregat de coordinar els serveis d'emergències, hospitals, autoritats i altres forces de seguretat els serveis de les quals es necessitin. A més, en cas que l'accident influeixi en el transport públic, haurà de notificar-ho al centre de gestió de mobilitat, el qual decidirà les accions que calgui dur a terme pel que fa a possibles reordenacions del serveis.

En aquest escenari, és fàcil comprendre com l'intercanvi d'informació entre els diferents subsistemes ha de ser el més fluït, ràpid i fiable possible, per la qual cosa les etapes de definició de requisits, funcionalitats i serveis prèvies a la construcció d'aquest SIT són fonamentals per a aconseguir un grau elevat de satisfacció.

Figura 11. Exemple d'integració de subsistemes



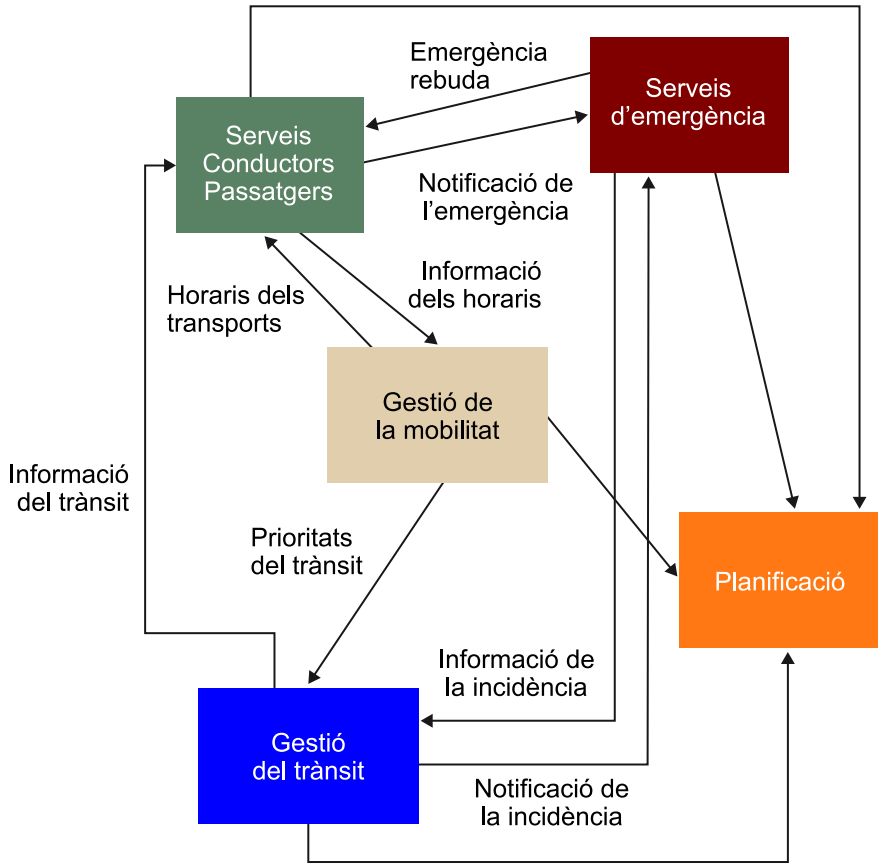
1.5.3. Arquitectura lògica o funcional d'un SIT

L'arquitectura funcional o lògica és l'encarregada de definir els processos i fluxos de dades entre els diferents subsistemes que són necessaris per a aconseguir els requisits operatius i funcionals del disseny del SIT.

Seguint amb l'exemple analitzat en l'apartat anterior i representat en la figura 11, la figura 12 representa un possible model d'arquitectura funcional de flux de dades, en què les fletxes indiquen la direcció del flux de dades necessari per a dur a terme tots els serveis que intervenen durant una emergència en una autopista. Els cercles no representen una localització determinada o una institució, sinó els processos que són necessaris, com per exemple un sistema automàtic de planificació d'emergències que rebi informació de tots els subsistemes integrats en el SIT i prengui les decisions oportunes.

Anteriorment, quan descrivíem els requisits d'una arquitectura de SIT, posàvem l'accent en què és necessari identificar i preveure els riscos i problemes que poden aparèixer durant l'operativa del SIT. És en la definició de l'arquitectura lògica on cal fer aquesta previsió, perquè el model estigui preparat per a afrontar situacions anòmales, i fer-ho de manera que no s'alteri el funcionament normal del SIT.

Figura 12. Exemple d'arquitectura lògica d'un SIT



1.5.4. Arquitectura física d'un SIT

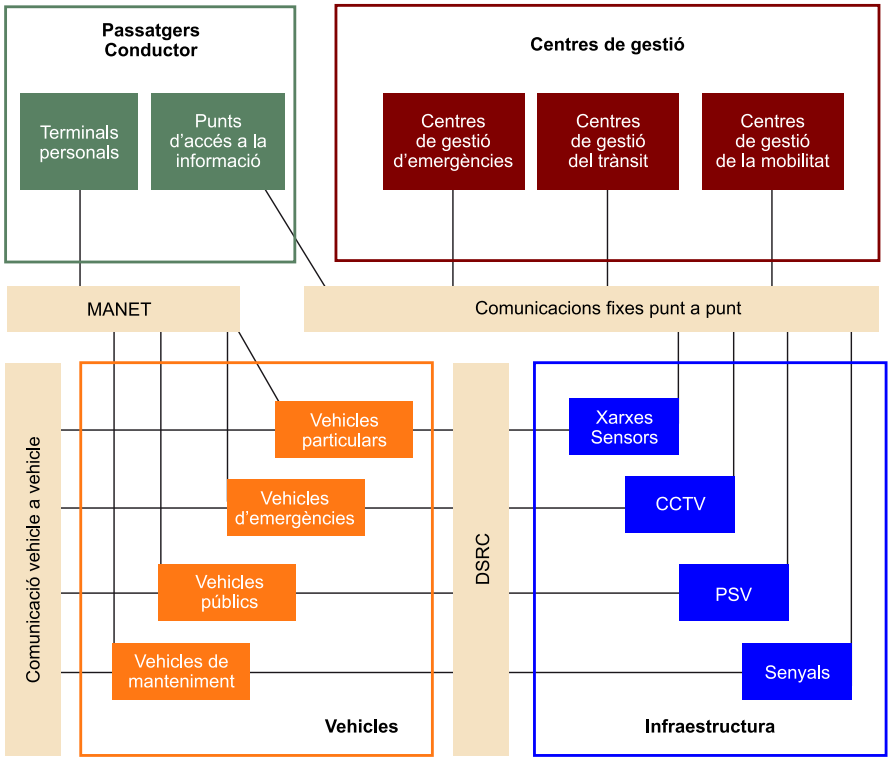
L'arquitectura física d'un sistema estableix com s'implementen en subsistemes físics els processos definits en l'arquitectura lògica. Per tant, especifica el programari i el maquinari necessaris per a això. Igual que en la fase de disseny de l'arquitectura lògica, el disseny de l'estructura física d'un SIT ha de tenir en compte els requisits funcionals, les especificacions del processos ja definits i les interrelacions entre subsistemes, les quals han d'establir les necessitats de comunicació i intercanvi d'informació entre els diferents processos i subsistemes de l'arquitectura.

Seguint l'exemple d'arquitectura lògica descrit en la figura 12, una possible implementació de la seva arquitectura física es mostra en la figura 13[3], en què veiem que ja hi ha enllaços de comunicacions específics com poden ser les MANET (acrònim de *mobile ad hoc network*) o DSRC (acrònim de *dedicated short-range communications*), i que analitzarem en unitats posteriors. Aquests enllaços han d'estar dissenyats i planificats per a garantir el flux de dades entre subsistemes amb una qualitat de servei determinada, de manera que, tornant al començament d'aquest apartat, es garanteixin les necessitats i els requisits definits tant per usuaris com pels *stakeholders* participants en la definició del

(3) Exemple que pren com a model l'arquitectura física americana http://www.its.dot.gov/arch/.

SIT. Per tant, podem establir que en el disseny de l'arquitectura física també s'estableix l'arquitectura de comunicacions que cal desplegar en el SIT en estudi.

Figura 13. Exemple d'arquitectura física d'un SIT



1.6. Exemples d'arquitectures de referència per a SIT

Tal com dèiem al començament de l'apartat anterior, els organismes públics o governs tenen un paper fonamental en el disseny i el desenvolupament dels SIT, ja que en la majoria de casos aquestes arquitectures fan ús d'infraestructures o serveis públics. Per aquesta raó, cada govern, en un àmbit local, nacional o internacional (com en el cas de la Unió Europea), estableix un marc comú per al disseny i desenvolupament de SIT, de manera que tots els usuaris i *stakeholders* tinguin eines comunes de treball en què els seus interessos es puguin veure reflectits.

D'aquesta manera, podem trobar SIT com per exemple els dissenyats a Mèxic o al Canadà, o els SIT proposats a Europa i a l'Estat espanyol i que analitzarem en els apartats següents.

1.6.1. Arquitectura de referència per a SIT a la Unió Europea

L'arquitectura FRAME (denominada originalment *european ITS framework architecture*) ha estat desenvolupada com a resultat de les recomanacions llançades pel grup d'interès High Level Group en telemàtica aplicada al transport (http://cordis.europa.eu/telematics/tap_transport/home.html), i ha rebut el suport del Consell de Ministres de la UE. La seva primera publicació és de

l'octubre de l'any 2000, com a resultat del projecte europeu KAREN (*keystone architecture required for european networks*), l'objectiu principal del qual va ser promoure el desenvolupament dels SIT a Europa i, per a això, proporcionar un marc que en facilités el disseny i planificació, i la integració en sistemes previs amb l'objectiu d'assegurar-ne la interoperabilitat mitjançant les fronteres dels estats membres. Entre els mesos d'abril del 1998 i setembre del 2000, KAREN va definir la primera versió de la denominada *european ITS framework architecture*, la qual tenia com a objectiu definir la base per al disseny i el desenvolupament de SIT complexos. Aquest projecte va ser promogut pel denominat High Level Group on Road Transport Telematics de la Unió Europea, i va ser aprovat com a part del IV programa marc.

Els principis més importants seguits en el disseny de KAREN van ser els següents:

- L'arquitectura proposada ha de basar-se en l'experiència ja disponible a Europa i en el treball efectuat per les moltes iniciatives europees.

- A més, s'ha d'establir un nivell d'abstracció tal que sigui prou alt per a evitar restriccions en el disseny i en els plans d'implementació desenvolupats per cada país, regió o fabricant.

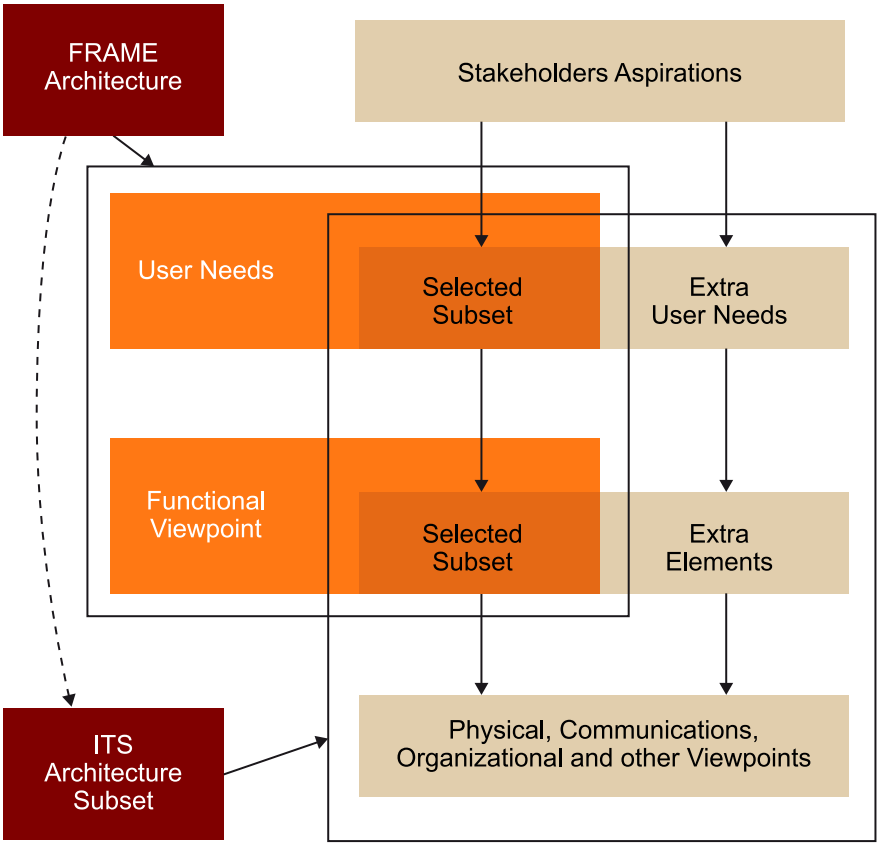
Amb la publicació dels resultats de KAREN l'any 2000, es va establir la base del projecte FRAME, en el qual es van definir els punts de vista funcionals, físics i de comunicacions de l'*european ITS framework architecture*.

Una de les característiques principals de l'arquitectura FRAME és que ha estat dissenyada perquè a partir d'ella es puguin desenvolupar subsistemes que siguin totalment funcionals i operatius (figura 14). A més, descriu diferents maneres d'implementar un mateix servei, perquè sigui l'usuari el que seleccioni les funcionalitats que s'adaptin millor a l'escenari en què es desplegarà l'arquitectura. Per tant, no és tant un model que descriu com es pot integrar SIT, sinó que més aviat és un marc que especifica diferents estratègies per a integrar SIT d'una manera sistemàtica i comuna en tots aquests.

Lectura recomanada

A l'aula teniu el document IntroductionFRAME.pdf, en el qual trobareu la presentació extreta del seminari The European FRAME Architecture and the ITS Directive.

Figura 14. Creació d'un subsistema de SIT



Actualment, l'arquitectura FRAME cobreix les àrees següents d'aplicació dels SIT (algunes de les quals s'han descrit amb més detall en els apartats anteriors):

- Cobrament electrònic per servei (peatges).
- Notificació i resposta davant d'emergències, tant en un àmbit d'infraestructura com en el vehicle. L'exemple més conegut és el del servei e-Call, ja desplegat en alguns turismes.
- Gestió del trànsit: urbà, interurbà, aparcaments, túnels, ponts, etc.
- Gestió del transport públic: planificació, tarifes, serveis a demanda, gestió de flotes i conductors.
- Sistemes al vehicle, entre aquests alguns sistemes col·laboratius.
- Assistència al viatger: previ al viatge i durant el viatge.
- Aplicació de la legislació vigent.
- Gestió de mercaderies i flotes.
- Suport per a sistemes col·laboratius. Plataformes multimodals.

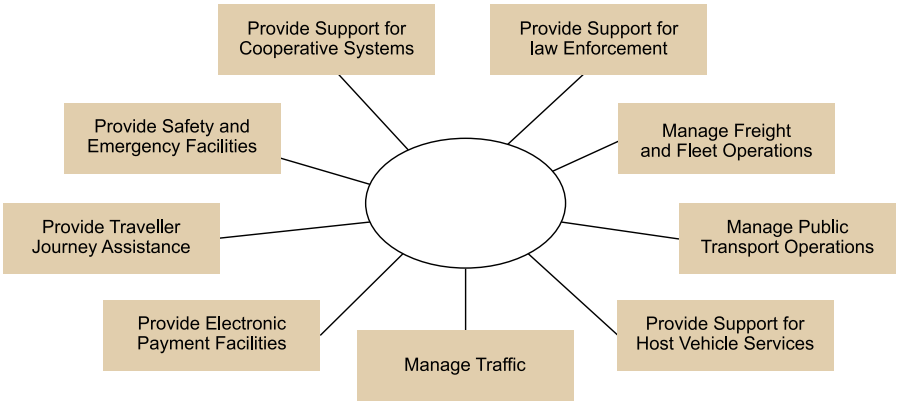
Per tant, per a crear una arquitectura per a un SIT partint del marc de referència FRAME, es disposa de dues eines.

1) ***Browsing tool***: fa possible que el desenvolupador de l'arquitectura analitzi en detall cadascun dels nivells de l'estructura de referència, per obtenir una descripció de cadascun dels seus elements.

2) ***Selection tool***: proporciona suport a l'usuari per a seleccionar un subconjunt d'elements de l'arquitectura FRAME (des del punt de vista funcional) per a, a partir d'aquests, crear una o més estructures físiques.

Fent ús d'aquestes dues aplicacions, el desenvolupador té la possibilitat de dissenyar aplicacions de transport intel·ligent com les enumerades anteriorment i abraçar les necessitats de totes les parts involucrades en el procés de desenvolupament i explotació d'aquest tipus d'aplicacions.

Figura 15. Àrees d'aplicació de l'arquitectura de referència FRAME



1.6.2. Arquitectura de referència per a SIT a l'Estat espanyol

En un àmbit nacional, es recull en el BOE del dissabte 14 d'abril del 2012 el Reial decret 662/2012, de 13 d'abril, pel qual s'estableix el marc per a la implantació dels sistemes intel·ligents de transport (SIT) en el sector del transport per carretera i per a les interfícies amb altres formes de transport.

Aquest reial decret segueix allò establert pel Parlament Europeu i el Consell el 7 de juliol del 2010, en la Directiva 2010/40/UE, per la qual s'estableix el marc per a la implantació dels sistemes intel·ligents de transport en el sector del transport per carretera i per a les interfícies amb altres formes de transport. L'objectiu principal és disposar d'una normativa comuna que asseguri una implantació coordinada i eficaç en conjunt de les tecnologies de la informació i les comunicacions que es puguin implementar en el sector del transport per carretera a tot el territori comunitari.

Segons el BOE, els **sistemes intel·ligents de transport (SIT)** basats en l'electrònica, la informàtica i les telecomunicacions són totes les aplicacions avançades que, sense incloure la intel·ligència com a tal, proporcionen serveis innovadors en relació amb les diferents formes de transport i la gestió del trànsit i permeten als diferents usuaris estar millor informats i fer un ús més segur, més coordinat i més "intel·ligent" de les xarxes de transport. Els SIT s'han de fonamentar en sistemes interoperables basats en normes obertes i públiques i que estiguin disponibles sense cap mena de discriminació per a tots els proveïdors i usuaris d'aplicacions i serveis.

En línies generals, els àmbits prioritaris que des del Govern s'estableixen per a la implantació dels SIT són els següents:

1) Utilització òptima de les dades sobre la xarxa viària, el trànsit i els desplaçaments.

2) Continuïtat dels serveis de sistemes intel·ligents de transport (SIT) per a la gestió del trànsit i del transport de mercaderies.

3) Aplicacions de sistemes intel·ligents de transport (SIT) per a la seguretat i protecció del transport per carretera.

4) Connexió del vehicle a la infraestructura de transport.

Com vèiem anteriorment, tant els usuaris com els *stakeholders* i els estaments públics estableixen els seus requisits de disseny. En el cas de l'Estat espanyol, són els següents:

a) Eficàcia: contribuir de manera tangible a superar els reptes principals amb què es troba el transport per carretera.

b) Rendibilitat: optimitzar la relació entre els costos i els resultats obtinguts respecte a l'assoliment d'objectius.

c) Proporcionalitat: fixar, si s'escau, diferents nivells assolibles de qualitat i d'implantació dels serveis, tenint en compte les especificitats regionals, nacionals i europees.

d) Donar suport a la continuïtat dels serveis: assegurar uns serveis ininterromputs, en particular a la xarxa transeuropea i, quan sigui possible, a les seves fronteres exteriors. La continuïtat s'ha de garantir en un nivell adaptat a les característiques de les xarxes de transport que connecten països, i ciutats amb zones rurals.

e) Facilitar la interoperabilitat: garantir que els sistemes i els processos empresarials en què aquests es basen tinguin la capacitat d'intercanviar dades i compartir informació, comportaments i coneixements per a fer possible una prestació efectiva dels serveis dels sistemes intel·ligents de transport (SIT).

f) Donar suport a la retrocompatibilitat: garantir, quan calgui, la capacitat dels sistemes intel·ligents de transport (SIT) de funcionar amb els sistemes que comparteixen les mateixes funcions, sense obstaculitzar el desenvolupament de les noves tecnologies.

g) Respectar les característiques de la infraestructura i la xarxa nacional: tenir en compte les diferències inherents a les característiques de les xarxes de transport, en particular la dimensió dels volums de trànsit i les condicions meteorològiques de la xarxa viària.

h) Fomentar la igualtat d'accés: no posar obstacles ni fer discriminacions en l'accés dels usuaris vulnerables de la xarxa viària a les aplicacions i els serveis dels sistemes intel·ligents de transport (SIT).

i) Fomentar la maduresa: demostrar, amb l'avaluació prèvia i oportuna del risc, la solidesa dels sistemes intel·ligents de transport (SIT) innovadors, mitjançant un nivell suficient de desenvolupament tècnic i d'explotació operatiu.

j) Proporcionar horaris i posicionament de qualitat: utilitzar infraestructures basades en satèl·lits o una altra tecnologia que proporcioni un nivell equivalent de precisió, per a l'ús d'aplicacions i serveis dels sistemes intel·ligents de transport (SIT) que requereixen serveis horaris i de posicionament a tot el món, continuats, fiables i garantits.

k) Facilitar la intermodalitat: tenir en compte la coordinació de les diverses formes de transport, quan calgui, en implantar els sistemes intel·ligents de transport (SIT).

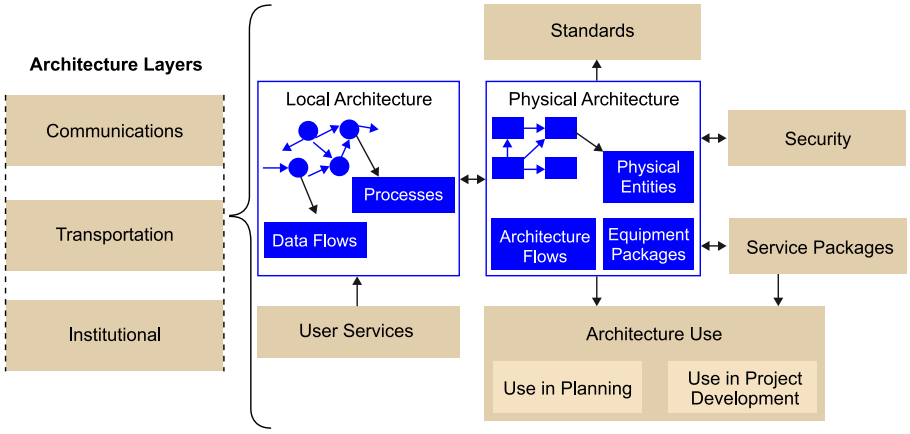
l) Respectar la coherència: tenir en compte les normes, polítiques i actuacions de la Unió Europea que guarden relació amb l'àmbit dels sistemes intel·ligents de transport (SIT), en particular en matèria de normalització.

1.6.3. Arquitectura de referència per a SIT als Estats Units

La *national ITS architecture* proposada per l'US Department of Transportation està formada per tres capes principals, tal com es pot veure en la figura 16. La primera capa, denominada *institutional layer*, inclou les institucions, autoritats, organismes i processos de finançament necessaris per a una implementació, operació i manteniment efectius d'un sistema de transport intel·ligent. Aquesta capa es representa en la base de l'arquitectura, ja que, des del punt de vista de l'US Department of Transportation, per a dur a terme qualsevol SIT efectiu és necessari disposar d'un suport institucional sòlid. Per a això, ha de

determinar els rols de tots els agents implicats en el desenvolupament i la implementació del SIT, i establir d'aquesta manera les responsabilitats de cadascun d'aquests. Aquests agents es poden agrupar en governs federals, governs estatals/locals, assessors sense ànim de lucre, sector privat i públic en general.

Figura 16. Arquitectura de referència de l'US Department of Transportation



Així doncs, aquesta primera capa és l'encarregada de determinar els objectius i requisits del SIT, incloent-hi els serveis i requisits dels usuaris, i les polítiques i els processos destinats a donar suport a una planificació estructurada del transport durant el desenvolupament del projecte.

National ITS Architecture 7.0

En la pàgina web http://www.iteris.com/itsarch es pot trobar més informació detallada de cadascuna d'aquestes capes i subsistemes.

La segona capa es denomina *transportation layer*, i aquí es defineixen els serveis de transport que ha de proporcionar el SIT en termes de subsistemes i interfícies. S'especifiquen la funcionalitat de cadascun i les dades necessàries perquè aquests serveis compleixin amb els requisits i funcionalitats definits en la *institutional layer*. Aquesta capa es considera el cor de la *national ITS architecture*, ja que proporciona un marc comú a tots els desenvolupadors per a aplicar la tecnologia d'una manera efectiva, consistent i progressiva, de manera que representi una millora dels sistemes de transport.

Al seu torn, aquesta capa es divideix en tres subcapes, les quals defineixen l'arquitectura física (especifica els subsistemes i les interfícies del SIT), l'arquitectura lògica (estableix les funcions que cal dur a terme i les dades intercanviades entre aquestes funcions) i els paquets de serveis (proporcionen un menú dels serveis disponibles del SIT).

A més dels subsistemes dels quals està formada la *transportation layer*, aquesta capa també introdueix els sistemes, persones i entorns físics amb els quals ha d'interactuar el SIT en desenvolupament; és a dir, el context en el qual s'ha de desplegar. El conjunt dels subsistemes que formen part del SIT i els inclosos en l'entorn es denominen *entitats*.

Finalment, la tercera capa de l'arquitectura és la denominada *communications layer*, que engloba els serveis de comunicacions i tecnologies que ha de suportar el SIT. Es tracta d'una capa que aporta al desenvolupador flexibilitat en

la selecció de les tecnologies, de manera que satisfaci les necessitats de comunicacions en un àmbit local, regional o nacional. La capa de comunicacions pertany a l'arquitectura física i identifica quatre grans grups de sistemes de comunicacions destinats a donar suport a totes les entitats previstes en el SIT: comunicacions fixes punt a punt, xarxes sense fils d'àrea extensa (WWAN), comunicacions vehicle-vehicle i comunicacions vehicle-infraestructura.

De la mateixa manera que a Europa FRAME proporciona una eina als desenvolupadors per a crear SIT basats en aquesta arquitectura de referència, l'US Department of Transportation proporciona l'aplicació de programari denominada *Turbo Architecture*, que facilita el desenvolupament de projectes de SIT basats en l'arquitectura de referència descrita anteriorment. Actualment, aquest paquet de programari és compatible amb la *national ITS architecture version 7.0*.

Bibliografia

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

E-Frame project (2011). Lliurables del projecte E-FRAME i informació dels seus seminaris i *workshops*. <http://www.frame-online.net>.

ERTICO. Xarxa d'interès europea en sistemes intel·ligents de transport. Material de seminaris i *workshops*. <http://www.ertico.com>.

Liu, R.; Tate, J. (2004). *"Network effects of intelligent speed adaptation systems"*. *Transportation Journal* (núm. 3, vol. 31, pàg. 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* [article en línia]. <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, pàg. 29524).

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

Pàgines web consultades (març de 2014)

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://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.