

---

# Entorns d'aplicació dels sistemes intel·ligents de transport

---

PID\_00266201

Unai Hernández Jayo

---

Temps mínim de dedicació recomanat: 4 hores

---



**Unai Hernández Jayo**

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats pel professor: José Antonio Morán Moreno (2019)

Primera edició: setembre de 2019  
© Unai Hernández Jayo  
Tots els drets reservats  
© d'aquesta edició, FUOC, 2019  
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona  
Realització editorial: FUOC

*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 dels drets.*

# Índex

<b>Introducció</b> .....	5
<b>Objectius</b> .....	6
<b>1. Sistemes de transport intel·ligent en el transport de mercaderies</b> .....	7
1.1. Monitoratge del vehicle i de la càrrega .....	11
1.2. Gestió de flotes .....	11
1.3. Control de la velocitat dels vehicles .....	12
<b>2. Intermodalitat</b> .....	14
<b>3. Sistemes de transport intel·ligent en el sector ferroviari</b> .....	16
3.1. Situació actual del transport ferroviari de mercaderies a Espanya .....	16
3.2. Comunicacions sense fil i sistemes embarcats .....	20
3.3. Comunicacions T2I/I2T: tren-terra .....	21
3.4. Senyalització ferroviària ERMTS / GSM-R .....	23
3.5. Comunicacions a l'interior del mateix tren .....	24
<b>4. Sistemes intel·ligents de transport en carreteres</b> .....	28
4.1. Necessitats dels agents implicats .....	28
4.2. Sistemes d'adquisició de dades en carreteres .....	30
4.2.1. Sensors de trànsit autònoms .....	30
4.2.2. Sensors de trànsit dependents .....	32
4.2.3. Sensors embarcats en els vehicles .....	32
4.2.4. Sensors meteorològics i ambientals .....	33
4.3. Sistemes de processament de dades en carreteres .....	34
4.4. Sistemes d'informació de trànsit .....	36
4.4.1. Sistemes de navegació .....	36
4.4.2. Control de les condicions de trànsit .....	40
4.4.3. Sistemes de diagnosi remota i assistència .....	41
4.4.4. Diagnosi interna del vehicle .....	42
<b>5. Sistemes intel·ligents de transport en ciutats intel·ligents</b> ....	43
5.1. Sistemes intel·ligents de tarifació .....	44
5.1.1. Tecnologia NFC .....	46
<b>Bibliografia</b> .....	51



## **Introducció**

Una vegada que hem analitzat en el mòdul 1 diferents tipus de tecnologies que es poden emprar en el desplegament de sistemes de transport intel·ligent, n'introduïrem alguns dels àmbits principals d'aplicació: transport de mercaderies, sistemes de transport intermodals, sistemes d'informació en carretera i sistemes de transport ferroviari. Si bé hi ha moltes altres àrees d'aplicació dels STI, és en aquestes en les quals s'estan invertint més esforços tant des del punt de vista econòmic com de desenvolupament de noves idees i iniciatives.

## Objectius

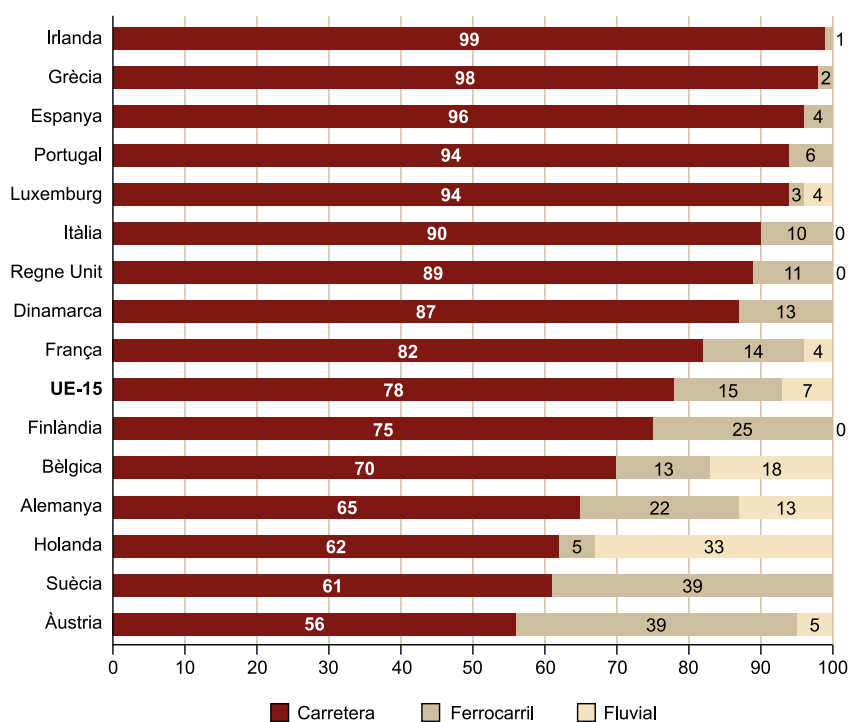
Els continguts d'aquest mòdul han de permetre als alumnes assolir els objectius següents:

1. Identificar les diferents àrees d'actuació dins del context dels sistemes intel·ligents de transport en els quals les telecomunicacions tenen un paper rellevant.
2. Conceptualitzar solucions a problemes reals en el sector del transport prenent com a exemple i referència els casos d'ús i aplicacions que s'analitzaran al llarg d'aquest material.

## 1. Sistemes de transport intel·ligent en el transport de mercaderies

Tal com es mostra en la figura 1 amb dades de l'any 2010, a la UE-15, la majoria de les mercaderies es transporten per carretera (78%). El ferrocarril representa el 15% en el repartiment, i el 7% restant es transporta per via fluvial. A Espanya, el domini de la carretera és gairebé absolut i arriba al 96% de les mercaderies, i tan sols el 4% de la demanda de llarga distància s'envia per ferrocarril.

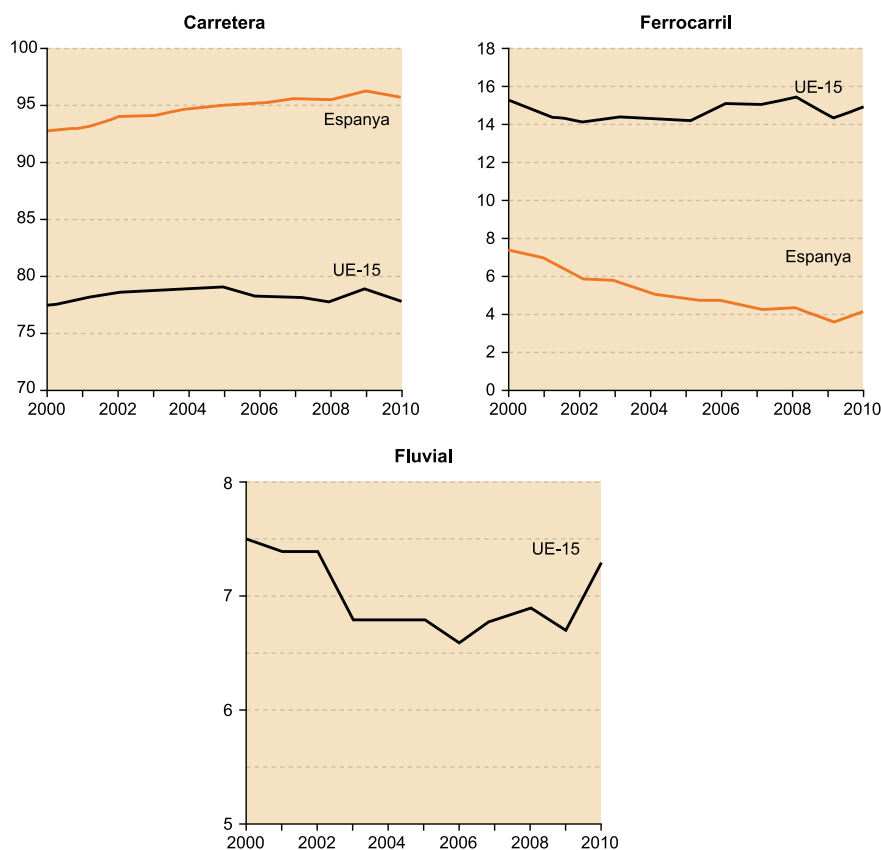
Figura 1. Distribució del transport terrestre de llarga distància de mercaderies



Font: Fundació Encuentro a partir de dades d'Eurostat

Segons aquestes dades, el repartiment modal de mercaderies entre els diferents països europeus és molt heterogeni, amb diferències molt més notables que en el repartiment de passatgers. Per carretera es transporten, depenent dels països, entre el 99% i el 56% de les mercaderies, per ferrocarril entre l'1% i el 39%, i per vies navegables entre el 0% i el 33%.

Figura 2. Evolució del transport terrestre de llarga distància de mercaderies (2000-2010)



Com veiem, el transport de mercaderies per carretera és el responsable de la majoria del transport de mercaderies a Europa (i tal com recull la figura 2, va augmentar progressivament entre l'any 2000 i el 2010). No obstant això, a Espanya, aquesta evolució es va interrompre l'any 2012 a causa de la situació econòmica actual, que ha fet patir al transport per carretera una reculada d'un 2,8% respecte a l'any anterior.

En conjunt, el volum de negoci en el mercat ibèric baixarà l'any 2013 un 1%, enfront del 3,5% que va baixar el 2012, segons un informe elaborat per la consultora DBK.

Segons l'estudi, en els exercicis 2010 i 2011 es van registrar creixements del mercat ibèric de transport de mercaderies per carretera situats entorn del 2% anual, sustentats en l'augment dels preus del servei, en un context de fort encariment dels combustibles. El descens de la demanda i la intensificació de la competència entre els operadors del sector estan provocant, en un context d'alts preus dels carburants, un estrenyiment dels marges de rendibilitat.

L'excés de capacitat de transport ha originat una reducció del nombre d'operadors en els últims anys. El 2011 operaven en el conjunt del mercat ibèric 113.500 empreses, de les quals 105.000 se situaven a Espanya i les 8.500 restants a Portugal. En aquell exercici, el nombre total d'empreses va disminuir un 0,5% respecte a l'any 2010. Per la seva banda, el parc de vehicles de



transport públic de mercaderies va ascendir a 373.913 unitats (excloent a Portugal els vehicles lleugers), la qual cosa dona una mitjana de 3,3 vehicles per empresa (EuropaPress, 8 de gener de 2013).

Per tant, podem veure com és el transport per carretera el que aglutina un volum més gran de negoci, tant en l'àmbit nacional com en l'europeu, amb els problemes consegüents que això comporta: alta densitat d'ocupació de les vies de comunicació, i augment de les emissions contaminants.

Respecte a això, i amb l'objectiu de pal·liar aquests problemes, les línies de treball des de les TIC s'orienten a la gestió flexible i dinàmica de carrils i corredors per al transport de mercaderies, i a l'ús de sistemes de posicionament amb informació en temps real per mitjà de comunicacions vehicle-a-infraestructura, la qual cosa permetrà la gestió de la infraestructura i el trànsit com un sistema complet per a optimitzar la capacitat aprofitada. Un altre aspecte rellevant tractat és la gestió avançada de la logística.

Els reptes als quals es feia front fins ara consistien principalment a aconseguir el *just in time*, així com a oferir serveis addicionals al client com seguiment de càrregues, etc. Aquest seguiment de mercaderies i vehicles també resulta de gran utilitat per a les mateixes empreses de transport per a optimitzar-ne l'operació i trobar anomalies per corregir. Així, es planteja que és possible redirigir els vehicles per a evitar o reduir els temps d'espera i fer un lliurament més ràpid i eficient, sense retards.

***Just in time*** és una metodologia de producció de caràcter innovador que tendeix a eliminar ineficiències en tot el procés industrial, des del proveïment fins a la distribució. El seu impacte en les activitats logístiques és transcendent perquè ha modificat pràctiques establertes en transports, dipòsits, nivells d'inventaris i mètodes de producció.

Malgrat les millores en el sistema logístic, encara es presenten els punts negatius següents:

- Gran nombre d'operacions sense coordinació dutes a terme per flotes de petita grandària.
- Gran part de la capacitat de transport és infrautilitzada (pels recorreguts de retorn en buit).
- Pèrdues de temps per diferents causes.

En aquest escenari, la telemàtica pot aportar solucions en els àmbits d'aplicació següents:

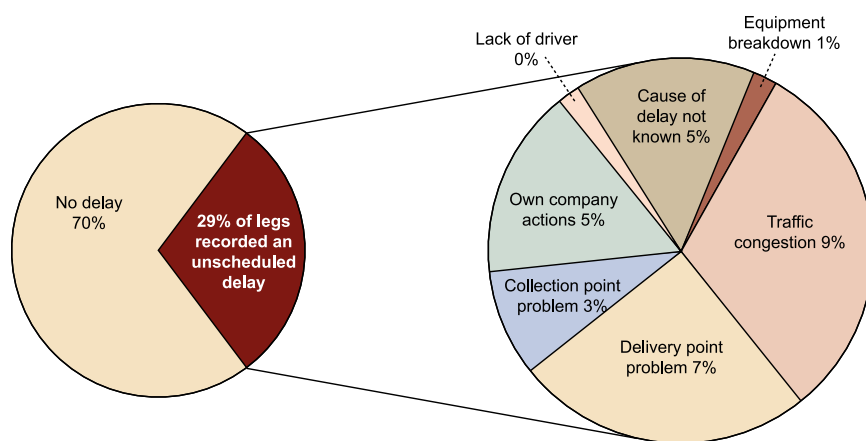
- Càlcul d'una seqüència millor de repartiment amb l'estalvi consegüent de temps i de combustible.
- Posicionament de vehicles per a la planificació de transports i elaboració d'estadístiques.
- Comunicació entre el conductor i la central per mitjà de dispositius portàtils, com una PDA, que permeten intercanviar missatges i automatitzar processos administratius com la confirmació de lliurament. Això representa un servei que aporta valor afegit (*infomobility*).

D'aquesta manera, la gestió de flotes té com a objectiu principal millorar en eficiència i possibilitar un ús millor de la capacitat dels vehicles. Entre altres opcions, el seguiment continu i la comunicació amb el centre de control poden permetre reorganitzacions i adaptar-se a requisits canviants. Un avantatge addicional que es preveu cada vegada amb més intensitat és l'accés a informació en temps real sobre el trànsit, l'estat de la carretera i el temps meteorològic.

En el cas de l'àmbit urbà, es presenten algunes particularitats respecte al transport de mitjà o llarg recorregut. Entre altres, es poden destacar les següents:

- Necessitat de control d'accés a zones d'accés limitat.
- Hi ha una gran quantitat de petits repartidors que operen de manera bastant independent.
- Per als objectius marcats, hi ha un ús limitat de la telemàtica per part de les autoritats per a controlar el repartiment urbà.
- Falta de comunicació entre els gestors de les flotes i les agències de trànsit

Figura 3. Causes de retard en el repartiment de productes alimentaris



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

## 1.1. Monitoratge del vehicle i de la càrrega

La proliferació de sistemes electrònics en el vehicle permet disposar d'un gran nombre de variables relacionades amb el vehicle, el conductor i la càrrega transportada. En general, les dades següents es poden prendre dels busos de comunicacions internes del vehicle, entre altres:

- temperatura del refrigerant
- temperatura del combustible
- temperatura de l'oli del motor i el turbocompressor
- pressió de l'oli
- nivell del dipòsit de combustible i consums instantanis i mitjans
- nivell d'aigua
- nivell d'oli
- règim de gir del motor
- grau de càrrega
- posició de l'accelerador
- utilització de la caixa de canvis
- estat i posada en funcionament de l'ABS i altres sistemes electrònics

A més, en el cas de vehicles comercials, hi ha altres variables que proporcionen informació sobre el comportament del conductor i que procedeixen del tacògraf. D'altra banda, és possible instal·lar una sèrie de sensors externs, que controlen una sèrie de paràmetres d'interès en les operacions de transport de mercaderies. Alguns exemples són:

- obertura de portes i temperatura de la càrrega
- temperatura i humitat a l'espai de càrrega
- sensor de presència del remolc
- presència de càrrega
- pes de la càrrega
- identificació de càrregues, conductors i vehicles

Aquestes mesures es poden emprar amb diferents finalitats, entre les quals es poden destacar el diagnòstic del funcionament del vehicle, la supervisió de conductors, aplicacions de *security* i gestió de flotes. En l'actualitat, diversos fabricants comercialitzen sistemes integrats que combinen dos o més dels sensors esmentats. Alguns exemples són l'SmartFleet System de Safefreight o el GlobalWave de TransCore. D'altra banda, cal destacar l'augment de l'interès pel registre d'esdeveniments i incidències que es puguin produir durant la circulació, amb la finalitat de detectar conductes insegures, cansament, etc.

## 1.2. Gestió de flotes

Els serveis principals que presten els sistemes de gestió de flotes són:

- seguiment de vehicles i de càrregues

- programació i canvis de la ruta
- gestió d'incidents

El problema fonamental de la gestió de flotes és l'elecció i l'enviament en temps real dels vehicles que han d'encarregar-se de les diferents operacions de recollida i lliurament. A més, aquest objectiu està relacionat, entre d'altres, amb les funcionalitats següents:

- algorismes de gestió dinàmica
- localització del vehicle
- estimació de retards previstos, mitjançant la comparació entre el temps de desplaçament previst i una estimació dinàmica del temps real
- enviament d'informació del vehicle i del conductor
- diagnosi del vehicle i gestió d'avaries

Encara que, en molts casos, la quantificació precisa dels beneficis d'utilitzar els sistemes de gestió de flotes no està disponible, algunes de les millores que se n'esperen són les següents: reducció del temps de viatge, millora de la visibilitat i dels serveis que s'ofereixen al client, augment del control sobre les operacions, reducció del temps de lliurament, millora de les decisions estratègiques a mitjà i a llarg termini i reducció de costos administratius.

Algunes funcionalitats típiques dels sistemes de gestió de flotes són el seguiment del vehicle, la localització del vehicle més proper a un punt determinat i la planificació de rutes. Altres funcionalitats de suport són:

- identificació i autorització de conductors
- registre de rutes recorregudes, amb velocitats mitjanes i màximes
- recordatoris de manteniment
- interfície a Internet
- registre i anàlisi de mesures embarcades
- enviament de missatges d'alerta

### **1.3. Control de la velocitat dels vehicles**

Finalment, i amb l'objectiu de millorar l'eficiència energètica i el respecte pel medi ambient, les TIC tenen molt a aportar quant als sistemes de control de velocitat dels vehicles de qualsevol tipus. El fonament d'aquesta mesura és semblant al control dinàmic de la velocitat amb finalitats de millora de la seguretat (de fet, en general, es tracten conjuntament), si bé en aquest cas l'actualització a les condicions dinàmiques és molt més crítica.

Partint de la base que la manera de conduir condiciona notablement el consum, la idea principal per a la minimització del consum mitjançant sistemes intel·ligents consisteix a utilitzar un «horitzó electrònic» més extens que l'«horitzó visual», és a dir, a aprofitar informacions dels trams següents de carretera que no són visibles per al conductor amb la finalitat d'adequar la velocitat. D'aquesta manera, a més d'afavorir la seguretat i l'estalvi de combustible, es potencia la conducció sense acceleracions i desacceleracions brusques ni canvis freqüents de marxa o velocitat, la qual cosa redunda en més confort. L'horitzó electrònic es pot obtenir de sensors (radar, làser, processament d'imatges, etc.) o de telecomunicacions, i el posicionament mitjançant satèl·lits i sistemes de navegació.

Els estats de conducció comuns són acceleració, velocitat constant, desacceleració i ralenti. D'aquests, la desacceleració és el que presenta més possibilitats d'estalvi de combustible. Una desacceleració molt suau seria la situació òptima per a aprofitar millor la potència proporcionada. No obstant això, presenta els inconvenients d'una gran distància de reacció i una baixa acceptació per part dels usuaris.

Amb la finalitat de prendre decisions, el sistema ha d'identificar i classificar les diferents situacions que es presenten en el trànsit. Aquestes situacions poden ser de posició fixa (senyals) o variable (retencions), i implicar límits constants (senyals fixos convencionals) o variables (senyals variables). Cadascuna d'aquestes categories implica unes tecnologies de reconeixement diferents i planteja dificultats diferents per a estendre l'horitzó de visió.

Les mesures que se solen emprar per a reduir els nivells actuals estan més en línia amb l'enginyeria i la gestió del trànsit i amb les millores tecnològiques en els motors i el sistema de fuita que amb el fet d'incidir sobre la velocitat de circulació i el comportament del conductor, encara que, en l'actualitat, cada vegada més podem trobar ofertes de cursos destinats a aprendre a conduir d'una manera més eficient.

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

Tècnica que consisteix a reduir al màxim l'energia que es perd en la frenada en forma de calor aturant l'acceleració en el moment just en funció de limitacions de velocitat properes i de l'estat del trànsit.

#### **INVENT**

Aquesta iniciativa va plantejar l'estimació de la circulació adequada sobre la base de sensors embarcats i comunicacions amb la finalitat d'adaptar-se al trànsit, reduir les ones de xoc que es produeixen pels canvis de velocitat i tenir una gestió més ràpida de les retencions.

## 2. Intermodalitat

El transport intermodal es considera un dels pilars bàsics en la sostenibilitat del transport de mercaderies. No obstant això, aquest transport intermodal solament comença a ser econòmic i competitiu a partir d'una certa distància. Es fomenta la intermodalitat quan la documentació passa del vehicle al centre abans d'arribar als punts de canvi de mode, i als centres logístics es duu a terme una gestió automàtica de la càrrega. Els sistemes ITS afavoreixen la intermodalitat en tenir la càrrega i els vehicles ubicats en tot moment, amb la qual cosa incideixen en els aspectes següents:

- Millorar l'eficiència en les operacions.
- Millorar la qualitat dels serveis que s'ofereixen.
- Afavorir als petits operadors l'entrada en el transport intermodal.
- Proporcionar una estimació més ajustada del temps d'arribada.

Molts dels aspectes considerats en els apartats anteriors contribueixen en alguna mesura a millorar l'eficiència de les operacions de transport intermodal. Es poden destacar els aspectes fonamentals següents:

- Seguiment de contenidors i vehicles, que permeten gestionar el flux de materials i productes des del centre de producció fins a l'usuari final. Es busca optimitzar la visibilitat, la seguretat i el control de la mercaderia mitjançant el sistema logístic.
- Integració de la cadena logística. Es tendeix a un sistema integrat que englobi els subministradors, els productors, els operadors de transport, els distribuïdors i els venedors. En la millora de la gestió del transport intermodal, l'intercanvi electrònic de dades (*electronic data interchange*, EDI) haurà de tenir un paper fonamental. Encara que es tracta d'una tecnologia madura amb un nombre creixent de productes i serveis, encara hi ha alguns impediments, com per exemple: falta d'interoperabilitat i compatibilitat de maquinari i programari, costos d'inversió relativament alts, falta d'accés per part dels operadors petits, possibilitat que un ús generalitzat comporti una reducció de llocs de treball.
- Optimització de les operacions de càrrega i descàrrega en ports, centres logístics, etc., mitjançant el seguiment de vehicles i contenidors, la identificació de les propietats de la càrrega i l'estimació en temps real dels temps d'arribada.

### Electronic data interchange

L'intercanvi electrònic de dades és la transmissió estructurada de dades entre organitzacions per mitjans electrònics. S'usa per a transferir documents electrònics o dades de negocis d'un sistema computacional a un altre. L'intercanvi electrònic de dades es pot fer en diferents formats: EDIFACT, XML, ANSASC X12, TXT, etc.

- Millora de la seguretat enfront de robatoris i actes de vandalisme de vehicles, contenidors i mercaderies, durant les operacions d'embarcament i emmagatzematge.
- Sistemes de gestió d'inventaris i estocs, basats en la localització de contenidors i remolcs en ports, terminals i centres logístics. Aquests sistemes permeten optimitzar l'ús de l'espai en terminals, la gestió de l'apilament de contenidors de diferents longituds, l'ús eficient de la mà d'obra i els equips de manipulació i la programació de les operacions de reparació i manteniment.
- Gestió electrònica de comandes i operacions de pagament.
- Gestió d'operacions internacionals, mitjançant l'automatització de la gestió de documentació per a la importació i exportació de mercaderies.
- Automatització del procés d'identificació de vehicles, càrregues i conductors, mitjançant tecnologies com GPS, RFID o reconeixement òptic.

### **3. Sistemes de transport intel·ligent en el sector ferroviari**

#### **3.1. Situació actual del transport ferroviari de mercaderies a Espanya**

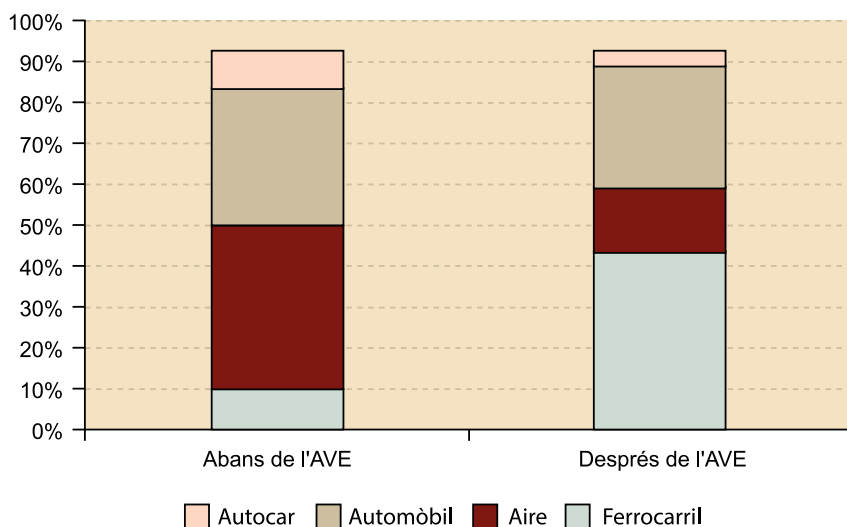
Tradicionalment, i no solament a Espanya, l'explotació del ferrocarril s'ha caracteritzat per una explotació conjunta de la infraestructura i dels serveis propis del transport ferroviari, de manera que la mateixa entitat, pública a més, gestionava, despleguava i mantenia tant la xarxa viària (incloent estacions i infraestructura associada) com el material rodant. El marc legal sancionava aquest model d'explotació vertical: la Llei 16/1987 d'ordenació dels transports terrestres considerava que, en els transports per ferrocarril, el conjunt camí-vehicle constituïa una unitat d'explotació, i atribuïa l'explotació unitària de les línies i dels serveis de la denominada Xarxa Nacional integrada a RENFE.

Models d'explotació similars, en règim de monopoli, eren comuns en tot l'àmbit europeu. Aquesta falta d'obertura i competència interna ha provocat una pèrdua progressiva de competitivitat del transport ferroviari enfront d'altres modalitats, especialment, la de carretera. Aquesta pèrdua d'atractiu es veu encara més agreujada en països amb una xarxa ferroviària antiquada i poc mallada, com és el cas d'Espanya, on les inversions públiques en infraestructures s'han destinat en un altíssim percentatge a la carretera.

El segment del mercat ferroviari més competitiu enfront de les altres formes de transport és el d'alta velocitat. La gràfica següent, extreta també del *Llibre blanc del transport de la UE*, mostra l'impacte que va tenir l'engegada de l'AVE Madrid-Sevilla. La quota de mercat de l'avió va passar del 40% al 13%. L'entrada en servei del Thalys entre París i Brussel·les va comportar una reducció del trànsit per carretera del 15%.



Figura 4. Impacte de l'AVE Madrid-Sevilla sobre el transport intermodal



Font: Llibre blanc. La política europea de transports amb vista al 2010: l'hora de la veritat

No obstant aquests èxits puntuals, la UE reconeix que el transport ferroviari es troba en un franc declivi, i en el llibre blanc proposa una sèrie de mesures per a millorar-ne la competitivitat. L'augment espectacular del transport per carretera s'ha traduït en costos socials, econòmics i mediambientals per tots coneguts, la qual cosa ha portat la UE a intervenir i propiciar un impuls de la modalitat ferroviària mitjançant múltiples mesures, entre altres:

- Foment de l'aplicació de polítiques de peatge en funció de la distància recorreguda, categoria per emissions contaminants i pes i nombre d'eixos, especialment al transport pesant de mercaderies per carretera. Bon exemple d'això són el sistema de telepeatge GNSS/CN alemany Toll Collect i, fora de la UE, l'equivalent suís LSV, complementat per corredors ferroviaris per al transport de camions pesants que travessen el país d'un extrem a l'altre.
- Inversió en la millora i l'extensió de la xarxa ferroviària d'alta velocitat i capacitat.
- Liberalització i obertura a la competència del sector del transport ferroviari, començant pel de mercaderies, tema en el qual ens aturarem a continuació.

A fi d'impulsar el transport ferroviari, dinamitzar-lo i fer-lo més competitiu enfront del de carretera, la UE va aprovar una sèrie de mesures legislatives. Així, la Directiva 91/440/CEE, de 29 de juliol de 1991, sobre el desenvolupament dels ferrocarrils comunitaris, modificada per la Directiva 2001/12/CE, de 26 de febrer de 2001, estableix la necessitat de separar, almenys comptablement, l'explotació dels serveis de transport ferroviari i l'administració de la infraestructura. La Directiva exigeix als estats membres l'obertura de les seves xarxes

ferroviàries de titularitat pública a les empreses i a les agrupacions empresarials internacionals que prestin determinats serveis de transport internacional, principalment de mercaderies.

D'altra banda, la Directiva 95/18/CE, de 19 de juny de 1995, sobre concessió de llicències a les empreses ferroviàries, va establir la necessitat de llicència per a les empreses que prestin els serveis als quals es refereix la Directiva 91/440/CEE. Ja que determinats estats membres van ampliar els drets d'accés més enllà del que preveu la Directiva 91/440/CEE, la Directiva 2001/13/CE, de 26 de febrer de 2001, va modificar la Directiva 95/18/CE per generalitzar els principis de concessió de llicències a totes les empreses actives en el sector a fi de garantir a aquestes un tracte just, transparent i no discriminatori. La Directiva 2001/14/CE, de 26 de febrer de 2001, relativa a l'adjudicació de capacitat d'infraestructures ferroviàries, aplicació de cànon per la seva utilització i certificació de la seguretat, cerca per la seva banda assegurar a les empreses ferroviàries l'accés a la infraestructura en condicions objectives, transparents i no discriminatòries i garantir la seguretat en la prestació dels serveis de transport ferroviari.

Finalment, la Directiva 2001/16/CE, de 19 de març de 2001, relativa a la interoperabilitat del sistema ferroviari transeuropeu convencional, fixa les condicions que han de complir-se per aconseguir, en tot el territori comú, la interoperabilitat del sistema ferroviari transeuropeu convencional. En resum, els eixos entorn dels quals ha girat la reforma europea han estat, d'una banda, la separació de les activitats de gestió de la infraestructura (que ja no inclou el material rodant) i d'exploració de serveis, i d'una altra, l'obertura del transport ferroviari a la competència i, en conseqüència, a l'entrada de nous actors privats en un sector dominat fins avui per grans ens públics.

Com no podia ser altrament, la reforma del sector ferroviari espanyol ha seguit aquestes pautes en la transposició de la normativa europea al marc legislatiu nacional, però, a més, ha aprofitat per a iniciar una reforma seriosa del sector que garanteixi eficaçment l'entrada de competidors.

La Llei 39/2003 del sector ferroviari (LSF) ha introduït una reorganització substancial del sector ferroviari espanyol, especialment en els aspectes següents:

- L'entitat pública empresarial RENFE va passar a denominar-se ADIF, assumint tots els drets i obligacions, així com la titularitat de tots els béns de domini públic o patrimonial adscrits en el denominat Gestor d'Infraestructures Ferroviàries (GIF), entitat pública empresarial que es va extingir. ADIF podrà construir, d'acord amb el que determini el Ministeri de Foment, les infraestructures ferroviàries amb càrrec als seus propis recursos o a recursos aliens. Així mateix, administrerà les infraestructures de la seva titularitat (cas de la línia d'alta velocitat Madrid-Sevilla) i aquelles l'administració de les quals se li encomani mitjançant el conveni oportú.

- Paral·lelament a ADIF, es va crear l'entitat pública empresarial RENFE Operadora, amb l'objecte de prestar serveis de transport ferroviari i ocupar-se del manteniment del material rodant (de la xarxa viària se n'encarrega ADIF). Des de RENFE es van transferir a la nova entitat tots els elements propis de la prestació de serveis.
- Així mateix, es crea el denominat Comitè de Regulació Ferroviària, que, davant l'eventual aparició de multitud de nous actors en el mercat ferroviari, és l'encarregat de resoldre els conflictes que es plantegin entre ells i de garantir el funcionament correcte del sistema.

És a dir, la liberalització propugnada per la Llei del sector ferroviari (LSF) va dissociar les activitats d'administració de la infraestructura i d'explotació dels serveis que es presten sobre ella, obrint el mercat del transport ferroviari a nous operadors que poguessin competir entre ells. El règim de monopoli de què gaudia RENFE va finalitzar l'1 de gener de 2005 amb la seva divisió en ADIF i RENFE Operadora.

Com en altres serveis prestats mitjançant infraestructures de xarxa (telecomunicacions, transport per carretera, etc.), la liberalització del transport ferroviari es basa en la distinció clara entre la construcció, el manteniment i l'administració de les infraestructures, d'una banda, i la prestació dels serveis, d'una altra. En el cas concret de RENFE Operadora, per exemple, mentre que en l'àmbit del transport de mercaderies ha d'afrontar la competència d'altres operadors, en el del transport de viatgers treballa en règim de monopoli. RENFE Operadora ha heretat el model de gestió en unitats de negoci propi de RENFE, i s'estructura entorn de quatre àrees operatives:

- **Direcció General de Serveis Públics de Rodalies i Mitjana Distància.** S'encarrega de la gestió dels trens de rodalies i de mitjana distància (regionals i llançadores d'alta velocitat).
- **Direcció General de Serveis de Llarga Distància.** S'encarrega de la gestió dels trens que abans pertanyien a les unitats de negoci de l'antiga RENFE de grans línies i alta velocitat (excepte llançadores i AV mitjana distància, que passen a la unitat anteriorment citada de mitjana distància).
- **Direcció General de Serveis de Mercaderies i Logística.** És la responsable dels serveis de mercaderies.
- **Direcció General de Fabricació i Manteniment.** S'encarrega de la fabricació i el manteniment del material ferroviari, amb el nom comercial d'Integria: Fabricació i Manteniment.

Altres operadors segueixen altres estructures de negoci, però amb vista a la definició dels escenaris d'aplicació, poden distingir-se els tres rols principals que ja hem apuntat: gestor d'infraestructures, operador de transport de passatgers i operador de càrrega.

La mateixa situació experimentada per la fragmentació de RENFE a ADIF i RENFE Operadora s'ha viscut a escala autonòmica, i ha donat lloc a un complex mapa d'operadors que competeixen per oferir serveis millors als viatgers: Eusko Trenbideak o Metro Bilbao al País Basc, FGV (Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana), FGC (Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya), FEVE, SFM (Serveis Ferroviaris de Mallorca), Ferrocarril Metropolità de Barcelona, etc.

La separació entre gestors i operadors no solament ha afectat l'estructura organitzativa de les noves entitats, sinó que ha portat grans canvis en la infraestructura tecnològica, ja que totes les aplicacions que tradicionalment compartien informació de la infraestructura i del tren ara pertanyen a entitats diferents. La liberalització del sector, profitosa des del punt de vista de la competència, de la qualitat dels serveis i de l'eficiència econòmica, ha introduït no obstant això nous reptes tècnics, en quedar la infraestructura del gestor separada de la de l'operador de manera, no poques vegades, mal coordinada, amb la qual cosa operacions tan bàsiques com el coneixement de la posició dels trens o la comunicació amb aquests s'han convertit per a l'operador de transport en problemes encara no resolts de manera satisfactòria. Aquest projecte vol dotar, tant a gestors de xarxa com a operadors de transport, de la plataforma adequada per a la provisió de serveis avançats tant en l'operació com en l'explotació i manteniment de línies i material rodant.

### 3.2. Comunicacions sense fil i sistemes embarcats

La taula 1 recull una llista de les tecnologies principals sense fil emprades actualment en el sector ferroviari, incloent el tipus de servei i aplicacions en les quals s'empren, així com el grau de criticitat per al servei ferroviari.

Taula 1. Tecnologies sense fil emprades en el sector ferroviari

<b>Tecnologia</b>	<b>Serveis i aplicacions</b>	<b>Criticitat</b>
<b>Satèl·lit</b>	Posicionament (GPS, EGNOS, en el futur GALILEU)	Crític explotació
	Accés a Internet en banda ampla	Servei a passatgers
	Connexió a xarxes de dades (i PMC)	Complementari explotació
<b>UMTS</b>	Veú i dades passatgers	Servei a passatgers
<b>*GSM/GPRS</b>	Veú i dades passatgers	Servei a passatgers
	Veú i dades amb PMC (redundant a tren terra)	Crític (localització) / complementari explotació (consums, compta passatgers...)
<b>*GSM-R</b>	Senyalització control ERTMS	Crític explotació

<b>Tecnologia</b>	<b>Serveis i aplicacions</b>	<b>Criticitat</b>
	Comunicacions de veu	Complementari explotació / crític (emergència)
	Transmissió de dades (no senyalització)	Complementari explotació
<b>*WLAN/WiMAX</b>	Transmissió vídeo embarcat des de cabina i cap a cabina en estacions	Crític explotació
	Telefonia, megafonia i interfonia	Complementari explotació
	Veu i dades (redundant a tren-terra)	Complementari explotació
	Accés a serveis de dades des de cabina	Complementari explotació
	Accés a Internet per a passatgers	Servei a passatgers
	Sistemes de protecció i control automàtic del tren	Crític explotació
<b>*TETRA</b>	Comunicacions veu	Complementari explotació
	Dades sobre missatges curts i precodificats	Complementari explotació
	Senyalització i control (fora UE)	Crític explotació
<b>Altres PMR</b>	Comunicacions veu	Complementari explotació
<b>Tren-terra analògic</b>	Veu i dades	Crític explotació

S'observa que les tecnologies sense fil presten bàsicament dos tipus de funcions: localització i comunicacions.

Els sistemes de localització permeten al gestor de la infraestructura conèixer l'ocupació de la via i gestionar-la de manera que se'n maximitzi la capacitat sense posar en risc la seguretat. L'operador de transport es beneficia d'aquest tipus de sistemes de per a organitzar el servei i prestar serveis als passatgers i als clients, com el temps d'arribada del seu tren, la recepció d'un determinat enviament, incidències, etc.

Els sistemes de comunicacions embarcats permeten l'intercanvi d'informació i ordres entre el lloc de comandament i control (LCC) i la cabina. En menor mesura, també permeten la connectivitat per als usuaris, encara que la majoria de trens no ofereixin aquest servei als passatgers, tant per limitacions d'amplada de banda com per cost de les solucions que sí que disposen de capacitat suficient, com el satèl·lit.

### **3.3. Comunicacions T2I/I2T: tren-terra**

L'aplicació ferroviària més representativa de les comunicacions mòbils entre tren i infraestructura, i una de les més crítiques des del punt de vista de la seguretat, és la comunicació tren-terra, és a dir, el sistema de comunicacions

entre la cabina i l'LCC. Aquesta comunicació s'estableix bé per veu, bé mitjançant l'emissió i recepció d'ordres concretes sobre consola (missatges preconfigurats), i també per tots dos mecanismes simultàniament: els missatges preconfigurats permeten reforçar les ordres orals, resoldre ambigüitats i reduir així la probabilitat d'interpretacions errònies.

En qualsevol cas, cal assenyalar que la necessitat d'amplada de banda per a l'estricta operació del sistema (senyalització ferroviària) és relativament baixa. No obstant això, cada vegada es requereix més amplada de banda per a sub-sistemes que no són vitals però que també estan relacionats amb l'explotació (seguretat i videovigilància, transmissió d'imatges entre la cabina i l'LCC, entre estacions i cabina, sistemes d'informació als viatgers, etc.), i cada vegada s'instal·len més xarxes wifi per a proporcionar la comunicació tren-terra-tren.

La implementació pràctica del tren-terra és pròpia de cada gestor d'infraestructures (ADIF, MTS, etc.), encara que en les implementacions consten de diversos sistemes redundants per raons de seguretat. Els sistemes més habituals són:

- **Ràdio analògica VHF/UHF** (la nota d'utilització nacional UN 78 del CNAF assigna a aquest ús la banda de 447 (Tx) – 457 (Rx) MHz). Amb «pals» sobre la via i que proporcionen cobertura en un àrea limitada. Cobertura propera al 100% del trajecte només en xarxes regionals. En el cas de xarxes nacionals i de llarga distància, com la d'ADIF, no tota la xarxa té cobertura, encara que tampoc no hi ha dades concretes de disponibilitat pública.
- **PMR analògic (emissora embarcada)**. Amb estacions base (BTS) sobre muntanyes que donen cobertura a un àrea extensa (diverses estacions). Mecanisme redundat per al cas que l'anterior de pals a peu de via falli. En general, l'àrea de trajecte coberta és més petita que amb el sistema anterior, i depèn lògicament de l'orografia per la qual discorre el traçat de la via.
- **GSM**. També resulta habitual la utilització de telefonia mòbil convencional (no l'estàndard específicament ferroviari GSM-R) com a canal redundat per si fallen els anteriors. La cobertura sol ser més petita que la del sistema primari en les xarxes regionals.
- **GSM-R**. Estàndard desenvolupat a partir de GSM convencional però adaptat a les necessitats específiques de l'entorn ferroviari per a aplicacions crítiques segures, com és el cas de la senyalització ferroviària. S'analitza en l'apartat següent ERMTS/GSM-R.
- **Wifi**. Per a la provisió de banda ampla en l'entorn immediat d'estacions i amb el tren generalment parat. No obstant això, cada vegada són més les experiències en les quals es desplega una xarxa wifi a tot el llarg de la línia per a la transmissió d'imatges en temps real. Exemples d'aplicació: transmissió de dades per a la comunicació a cabina d'imatges de l'andana

on s'aproxima el tren, descàrrega des del tren d'informació de telemetria i estat, enregistraments de seguretat, etc. És l'alternativa de menys abast i la de més amplada de banda. Per la seva limitada cobertura, i a diferència dels anteriors, no s'empra per a l'aplicació principal del tren-terra: la comunicació entre LCC i cabina per al trànsit segur.

Cada gestor té el seu propi sistema tren-terra implantat, i en tractar-se de sistemes propietaris i de seguretat ferroviària, no se'n proporciona informació: freqüències concretes, protocols, xifratge, etc. A diferència de la pràctica habitual en sistemes de navegació aèria i altres àrees relacionades amb la seguretat (criptografia, comerç electrònic, etc.), en les quals es fan públics els algorismes i procediments de seguretat amb la finalitat, precisament, que gràcies a aquesta política de transparència es detectin a temps possibles fallades, el sector ferroviari aplica l'estratègia justament inversa, la de l'opacitat. En resum, les limitacions principals de les solucions tren-terra que operen en el mercat ferroviari actual són:

- Prestacions tècniques pobres, especialment quant a l'amplada de banda.
- Poca capacitat per a donar suport als serveis multimèdia.
- Solucions propietàries, amb problemes de compatibilitat i escalabilitat i cares.
- No accessibles als passatgers. Solucions exclusives per als usuaris professionals, especialment el gestor d'infraestructures.

### **3.4. Senyalització ferroviària ERMTS / GSM-R**

L'european *rail traffic management system* (ERMTS) és el sistema paneuropeu de senyalització ferroviària. Es tracta de l'esforç d'estandardització més important realitzat fins avui en l'àmbit de la senyalització ferroviària i té per objecte la plena interoperabilitat dels ferrocarrils europeus. Encara en l'actualitat, s'empren a Europa un gran nombre de sistemes diferents per al control automàtic de trens, com l'ASFA / LZB 80 a Espanya.

El sistema global de comunicacions mòbils per a ferrocarrils GSM-Railway (GSM-R) és un sistema de comunicacions per a l'explotació ferroviària basat en l'estàndard GSM de telefonia mòbil d'accés públic de l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI), que inclou funcions característiques operacionals definides per a l'entorn ferroviari per les especificacions *european integrated railway radio enhanced network* (EIRENE) i *mobile radio for railways network in Europe* (MORANE).

Abans del GSM-R no hi havia un únic estàndard o sistema de comunicacions que fos capaç d'atendre tots els serveis sense fil i escenaris propis de l'entorn ferroviari, sinó que una plèiade de diferents tecnologies (tren-terra analògic, PMR analògic i digital, GSM, etc.) no interrelacionades s'encarregaven, i encara s'encarreguen, d'atendre'ls. Des de la irrupció del GSM-R, aquests escenaris tradicionals han quedat raonablement coberts quant a prestacions tècniques

(excepte els serveis de banda ampla, de demanda creixent i relativament moderns), encara que a un cost econòmic certament elevat, raó per la qual, de moment, el desplegament d'aquesta tecnologia es limita a les línies de llarga distància.

El GSM-R substitueix el sistema analògic tren-terra, ja obsolet tècnicament, amb costos de manteniment més elevats i amb escassetat de recanvis (la majoria, sistemes analògics tecnològicament amortitzats). Però, a més de possibilitar totes les funcionalitats del tren-terra, com ja s'ha vist, el GSM-R permet implementar nous serveis de senyalització i control ferroviaris que permeten un ús més eficient i segur de les línies, i tot això a freqüències de pas (capacitat) i velocitats de circulació més altes. El GSM-R té molta més capacitat, ja que el tren-terra convencional solament disposa d'un canal i d'un pla de freqüències limitat (banda 450-460 MHz), sense possibilitats d'ampliació. El GSM-R gaudeix, a més d'una capacitat més gran per a integrar nous serveis com l'ERTMS, d'un alt nivell de fiabilitat i qualitat (com a sistema digital que és) amb velocitats de circulació de fins a 500 km/h i la possibilitat d'integrar tots els serveis de telecomunicacions en una mateixa xarxa de comunicacions fixes i mòbils amb una gestió centralitzada.

A més, el GSM-R permet l'encaminament funcional segons la localització del tren, possibilita prioritzar les trucades en diferents nivells i els dona més seguretat i protecció. També ofereix la possibilitat de creixement (escalabilitat) segons les necessitats implantant la xarxa gradualment i amb facilitat per a la seva reconfiguració, i permet utilitzar els mateixos mòbils en la xarxa dels operadors públics, amb l'acord previ amb l'operadora, com un terminal GSM convencional.

### **3.5. Comunicacions a l'interior del mateix tren**

La intercomunicació de tots els dispositius del tren involucrats en les diferents tasques de control, manteniment, serveis de valor afegit i seguretat és un dels objectius fonamentals a garantir en el disseny de qualsevol desplegament ferroviari. D'altra banda, des que la Unió Europea va aprovar la Directiva 96/48/EC, el juliol de 1996, relativa al marc europeu de trens d'alta velocitat, el sector ferroviari va optar per prendre les mesures necessàries per a certificar la interoperabilitat dels trens a escala internacional.

Per tant, en els últims anys s'han succeït nombrosos projectes per a la definició d'una plataforma estàndard de comunicació ferroviària, projectes com Train-Com, ModTrain o InteGRail. L'objectiu principal de tots aquests projectes ha estat identificar les necessitats del sector ferroviari en el futur proper i proposar, allà on era possible, les solucions més adequades sobre aquest tema. Cal assenyalar com a conclusió comuna d'aquests projectes que les millors solucions tècniques no ho eren des del punt de vista del sector si no anaven acompanyades de dues característiques singulars molt poc habituals en el sector de TIC: ser tecnologies molt provades, que hagin passat amb èxit la prova del mercat



en altres sectors, i malgrat això amb llarg recorregut, a causa dels dilatats terminis d'amortització del material rodant. El cicle de vida de les tecnologies de comunicacions és generalment breu, especialment en el cas de les sense fil.

Respecte a les comunicacions embarcades del tren, InteGRail destaca entre tots aquests projectes per disposar d'un subprojecte específic relatiu a les comunicacions del tren: *SP3D: Advanced System Communication*. El seu objectiu és garantir el flux eficient i fluït de la informació en l'entorn ferroviari per mitjà de xarxes avançades de comunicació. Avui dia, el punt de partida de les comunicacions embarcades ferroviàries es troba en l'estàndard IEC 61375 «Train Communication Network». TCN va ser adoptat com a estàndard internacional el 1999 i actualment té el suport de la International Union of Railways (UIC) i la International Union of Public Transport (UITP). Per tot això, la seva implantació en el sector és total i tots els fabricants de vehicles i dispositius ferroviaris hi treballen.

TCN és un estàndard que garanteix la interoperabilitat dels equips ferroviaris de dues maneres: primer, entre dispositius a bord d'un mateix vehicle i, segon, entre vehicles d'un o diversos trens. Per complir amb tots dos objectius, TCN defineix un esquema amb dos busos: *wire train bus* (WTB) i *multifunction vehicle bus* (MVB). Els busos s'uneixen per mitjà d'uns nodes especials que actuen com a *gateway* entre tots dos.

Entre les característiques de TCN destaquen les garanties de seguretat i la resistència davant fallades, a més que certifica el determinisme i el lliurament en temps real de la informació entre equips del tren. A més, el protocol ofereix capacitat per a l'autoinauguració del tren: descobriment de la topologia (nombre i ordre de vehicles) i autoconfiguració dels dispositius. El seu disseny determinista, basat en l'assignació de rols als dispositius (mestre i esclau) i la seva execució cíclica, va ser especialment dissenyada per a les aplicacions de control i manteniment ferroviaris.

No obstant això, tal com s'apunta entre les conclusions del projecte InteGRail, els trens del futur requereixen infraestructures de comunicacions més avançades que permetin integrar serveis tant de control i manteniment (actualment executats sobre TCN), com altres de valor afegit com els serveis de videovigilància o els serveis a passatgers (videoentreteniment o accés a Internet, per exemple). No obstant això, les característiques de TCN són massa limitades per a aquestes funcions. D'una banda, per les seves limitacions d'amplada de banda (1.5 Mbps, aproximadament) i, d'altra banda, per les peculiaritats del paradigma de comunicació emprat: càrrega útil per *frame* disponible de 256 bits, nombre de nodes adreçables limitat a 4096, jerarquia de mestre i esclau obligatòria, model d'execució cíclic i determinista, etc.

Per això, en les implantacions ferroviàries actuals s'està optant per un disseny segmentat, en què cada servei disposa de la pròpia xarxa de comunicacions embarcada particular. Així, en els trens actuals, es disposa de la xarxa TCN per

a les tasques de control, gestió i manteniment dels dispositius crítics d'una banda i, de l'altra, d'una xarxa Ethernet embarcada dedicada a altres funcions (i fins i tot múltiples xarxes Ethernet, una per a cada servei afegit).

Evidentment, aquest model és extremadament ineficient, ja que comporta la replicació de la infraestructura de comunicacions per cada servei ofert, amb les implicacions corresponents: increment exponencial dels costos, dificultat per a afegir nous serveis, conflictes d'instal·lació i manteniment, etc. Partint d'aquest escenari, i dels aspectes positius de TCN, en el qual la interoperabilitat entre dispositius i el funcionament global del tren està garantit, a Europa s'està fent un esforç per definir un nou marc relatiu a les comunicacions ferroviàries embarcades: IEC Working Group TC9/WG43. L'objectiu d'aquest grup de treball és estandarditzar un nou model de comunicació embarcat basat en Ethernet.

El treball que està duent a terme l'IEC Working Group TC9/WG43 apunta a un escenari en què una única xarxa avançada, basada en Ethernet (sobre cable o fibra òptica) i altres protocols IP, permeti garantir la comunicació entre tots els dispositius ferroviaris.

La disponibilitat d'una xarxa de comunicacions basada en Ethernet estàndard presenta nombrosos avantatges: per exemple, els costos dels dispositius involucrats en les comunicacions es redueixen de manera dràstica, a causa de la maduresa de la tecnologia. L'únic que cal aconseguir és garantir que aquests dispositius Ethernet compleixin les directives de seguretat i condicions electromagnètiques del tren. D'altra banda, el nombre i la varietat de funcionalitats que cal implementar sobre una xarxa Ethernet-IP es disparen, a causa del gran ventall de solucions àmpliament implantades en altres sectors.

Aquest nou escenari ferroviari, en què una única xarxa avançada de comunicacions ha de ser suport de tots els serveis que cal implementar al tren, és altament atractiu per a tots els agents involucrats. D'una banda, un nou paradigma de comunicacions més ràpides i flexibles (amplades de banda més grans, diferents models de comunicació, etc.) permetrà desenvolupar i optimitzar totes les operacions relatives al control i la gestió del tren: control de la tracció, l'acceleració i la frenada; control avançat de portes internes i externes; control d'equilibri i balanceig del tren, etc. D'una altra banda, els operadors poden implementar nous sistemes de monitoratge i manteniment sobre aquestes xarxes, la qual cosa permetrà disposar d'un tren intel·ligent (per exemple, hi ha el cas dels trens regionals d'Alemanya amb xarxa Ethernet embarcada).

Adicionalment, els operadors podran oferir serveis de videovigilància de gran qualitat sobre aquesta xarxa de gran amplada de banda, basant-se en els nombrosos desenvolupaments multimèdia disponibles i portant-los a les condicions específiques del tren. Finalment, els usuaris del tren del futur també es veuran beneficiats, ja que els serveis de videoentreteniment seran de més qualitat i, a més, en un futur proper es podran implantar nous paradigmes de ser-

veis al passatger (com els que ofereixen tecnologies sense fil recollits en les successives conferències TrainComms): accés a Internet de banda ampla, serveis de vídeo a la carta, etc.

## 4. Sistemes intel·ligents de transport en carreteres

Si s'analitzen els sistemes intel·ligents de transport des del punt de vista de l'aplicació a la carretera, podríem definir-los com un conjunt d'elements localitzats a l'interior o a l'exterior del vehicle que tenen com a objectiu ajudar el conductor en diferents situacions informant-lo sobre la situació de la carretera, o facilitar la gestió i seguretat de les infraestructures de transport. Per tant, la majoria dels serveis o aplicacions englobades sota el concepte de SIT aplicades al transport per carretera poden classificar-se atenent a les tres dimensions d'impacte més rellevants:

- 1) Seguretat a la carretera, amb l'objectiu de reduir el nombre total i la gravetat dels accidents de trànsit.
- 2) Eficiència en la mobilitat, que cerca reduir les congestions, el consum de combustible i les emissions al medi ambient.
- 3) Confort de l'usuari, que inclou tot un conjunt de serveis que proporcionen més comoditat per almenys un dels agents implicats, per exemple els viatgers, el conductor del vehicle, l'operador de trànsit, etc.

### 4.1. Necessitats dels agents implicats

Partint de les àrees anteriors d'actuació dels SIT a la carretera, els grups d'usuaris implicats són els conductors, els gestors del trànsit, els operadors de manteniment i els serveis d'emergència, tenint en compte que sovint els gestors del trànsit i els operadors de manteniment poden ser les mateixes organitzacions o no.

1) **Conductors o usuaris.** Podríem dir que l'interès principal dels conductors és arribar a la seva destinació en el mínim temps possible, evitant situacions que els impedeixin circular normalment, com per exemple embussos o accidents. És obvi, a més, que no es tracta solament de desitjar arribar a la destinació en el mínim temps possible, sinó també de fer-ho de manera segura, per la qual cosa el conductor també necessita informació o avisos sobre la localització de punts negres o perillosos de la carretera, i de possibles condicions meteorològiques adverses.

Per tant, els SIT que es podrien oferir a aquest grup d'usuaris per a cobrir les seves necessitats estan orientats a la provisió d'informació, per exemple sobre rutes òptimes o alternatives en cas d'incidències a la via per la qual circulen, fins i tot de situacions que en posin en risc la conducció.

D'altra banda, serveis que analitzin les característiques de la conducció de cada usuari per a, posteriorment, oferir-los recomanacions podrien servir tant en l'àmbit particular, de manera que l'usuari condueixi estalviant combustible i perfeccionant les tècniques de conducció, com en l'àmbit ciutadà, millorant l'impacte que representa el transport sobre el medi ambient.

Els considerats **usuaris vulnerables** són els ciclistes, motociclistes, viants en general i els nens, la joventut, els ancians i els discapacitats en particular. Són usuaris que solen estar menys protegits i, normalment, circulen a menys velocitat que la resta d'usuaris de la via. En alguns casos pateixen una pèrdua significativa de les habilitats psicomotores, la qual cosa influeix directament en el temps de reacció; les seves habilitats de conducció són pitjors o pateixen un deteriorament de la capacitat mental d'analitzar i de reaccionar adequadament en situacions de trànsit complexes.

**2) Gestors de trànsit.** La seva funció principal és gestionar el trànsit de la manera més eficient possible perquè el trànsit a les carreteres sigui més fluït i millori així la percepció que la resta dels usuaris tenen sobre la xarxa viària. Els SIT que s'adaptin a les seves necessitats són els que estan orientats a millorar la seguretat, evitant situacions de risc com la presència d'obstacles o imperfeccions a la calçada, els xocs secundaris durant la resolució d'una incidència, etc.; i d'altra banda, els que permeten distribuir o redirigir el trànsit en funció dels nivells de congestió que s'esperen, com per exemple un servei que gestioni el trànsit de manera dinàmica proporcionant permisos o no, per a circular per determinades vies.

**3) Gestors/operadors de manteniment.** La necessitat principal dels operadors de manteniment és detectar anomalies o imperfeccions a la via que s'hagin de reparar, amb la finalitat d'incrementar la seguretat de la resta d'usuaris. D'aquesta manera, els SIT que demanen són serveis que els permetin conèixer en tot moment tant la situació del trànsit com l'estat de la infraestructura que gestionen, i funcionalitats d'ajuda a l'explotació que els facilitin la tasca de gestió del trànsit.

**4) Serveis d'emergència.** Entre les seves necessitats hi ha millorar la seguretat, atenent les emergències amb la màxima rapidesa possible i, d'altra banda, millorar la fluïdesa com a conseqüència de la resolució ràpida dels accidents. Els serveis que s'adaptarien a les seves necessitats i les seves funcionalitats són els que els proporcionessin la informació necessària (localització, ruta òptima, tipus i gravetat de l'accident, nombre d'usuaris involucrats, condició de la zona, etc.) per a establir els seus plans d'actuació abans d'aconseguir la posició en la qual s'ha produït la incidència.

## 4.2. Sistemes d'adquisició de dades en carreteres

L'etapa d'adquisició es basa en la recollida de variables físiques o paràmetres tant de la carretera com del vehicle. Hi ha una gran varietat de tipus de sensorització específics per a obtenir una informació determinada, per la qual cosa la seva aplicació és també molt diversa: des de la detecció d'incidents o la identificació de vehicles fins al monitoratge de les condicions atmosfèriques o ambientals a la carretera. Totes les possibles aplicacions dels sensors dins dels SIT es poden incloure en un dels dos grups següents:

- Detecció i monitoratge de vehicles, mitjançant **sensors de trànsit**.
- Mesurament de condicions meteorològiques i ambientals, les quals es monitoren mitjançant **sensors meteorològics i ambientals**.

Dins dels sensors de trànsit es pot establir una nova classificació en funció de la col·locació dels sensors i de la necessitat, o no, de dispositius embarcats en els vehicles. D'aquesta manera, es poden trobar:

- Sensors de trànsit autònoms, que no requereixen un dispositiu embarcat en els vehicles, sinó que l'element sensor està situat en la infraestructura.
- Sensors de trànsit dependents: poden donar-se dos casos, que l'element sensor estigui instal·lat en la infraestructura i requereixi la presència d'un dispositiu embarcat en el vehicle o que l'element o elements sensors estiguin directament al vehicle.

### 4.2.1. Sensors de trànsit autònoms

Aquests sensors s'empren per a detectar i monitorar vehicles, i es classifiquen en funció de si són tecnologies intrusives, és a dir, instal·lades al paviment o al llarg d'aquest, o tecnologies no intrusives, les quals es troben per damunt o als costats de la carretera.

1) **Sensors intrusius**. Hi ha multitud de tipus de sensors intrusius: com l'espira magnètica, el tub pneumàtic, els sensors piezoelèctrics, els sensors de fibra òptica i els sensors geomagnètics. El mecanisme fonamental és similar en tots, és a dir, detecten el pas d'un vehicle sobre els sensors i poden proporcionar informació sobre el volum de trànsit, detectar i classificar vehicles i, fins i tot, proporcionar informació sobre la seva velocitat. Els més usats a les carreteres són les espiras magnètiques i els tubs pneumàtics. La taula 2 mostra els paràmetres que aquest tipus de sensors són capaços de mesurar .

#### Tecnologies de sensors intrusius

Les tecnologies més comunes per al desenvolupament de sensors intrusius són les següents: espiras inductives, tubs pneumàtics, sensors piezoelèctrics, sensors de fibra òptica o sensors geomagnètics.

Taula 2: Sensors de trànsit autònoms intrusius

Tipus de sensor	Paràmetres de mesurament
Espires magnètiques	Volum de trànsit Presència Velocitat Classificació del vehicle

Tipus de sensor	Paràmetres de mesurament
Tub pneumàtic	Volum de trànsit Velocitat (emprant el tub doble) Classificació (sobre la base del nombre i espai entre eixos)
Sensors piezoelèctrics	Volum de trànsit Pes del vehicle Tipus de vehicle (sobre la base del nombre i espai entre eixos)
Sensors de fibra òptica	Nombre de vehicles Pes del vehicle Tipus de vehicle (sobre la base del nombre i espai entre eixos)
Sensors geomagnètics	Presència Volum de trànsit

2) **Sensors no intrusius.** A diferència dels sensors intrusius, aquest tipus de detectors no interfereixen directament en el trànsit durant el seu funcionament, ja que se situen sobre la calçada o al seu lateral.

Els sensors no intrusius poden dividir-se en sensors actius, que emeten un senyal i en capten la resposta reflectida sobre el vehicle (per exemple, els radars de microones, els radars làser o els sensors ultrasònics), i passius, que capten les variacions produïdes en certs paràmetres pel pas d'un vehicle (per exemple, els sensors infrarojos, els sensors acústics i les càmeres de vídeo).

Taula 3: Sensors de trànsit autònoms no intrusius

Tipus de sensor	Paràmetres de mesurament
Radars de microones	Velocitat Classificació (per la longitud del vehicle) Els radars FMCW (de freqüència modulada) també detecten la presència d'un vehicle, és a dir, detecten vehicles parats
Sensors làser (LIDAR)	Classificació fiable de vehicles (sobre la base de la seva longitud i volum)
Sensors ultrasònics	Detecció de vehicles en moviment o parats Velocitat
Sensors infrarojos passius	Velocitat Volum de trànsit Classificació del vehicle
Sensors acústics	Detecció de vehicles Velocitat
Càmeres de vídeo	Vigilància Detecció de vehicles Comptatge de vehicles Identificació de vehicles (sobre la base de l'extracció automàtica de la matrícula)

#### Tecnologies de sensors no intrusius

Les tecnologies més comunes per al desenvolupament de sensors no intrusius són les següents: radar microones, radar làser, sensor ultrasònic, sensor infraroig passiu, sensor acústic i càmeres de vídeo.

### 4.2.2. Sensors de trànsit dependents

A diferència dels anteriors sensors de trànsit autònoms o independents, els dependents requereixen la instal·lació o presència d'un equip embarcat dins dels vehicles.

Els sensors situats en la infraestructura són capaços de controlar la posició de cada vehicle detectant algun dels equips embarcats, sobre la base de diverses tecnologies. D'altra banda, els sensors embarcats en els vehicles permeten detectar situacions a les zones properes dels vehicles (obstacles, situació meteorològica, estat de la via, etc.).

### 4.2.3. Sensors embarcats en els vehicles

Al costat de la classificació anterior de sensors autònoms o dependents, també hem de conèixer i reconèixer un altre conjunt de sensors que no es troben desplegats directament en la infraestructura i la informació dels quals, gràcies als sistemes cooperatius, pot ser combinada amb els sensors descrits anteriorment i així enriquir la qualitat de la informació proporcionada als SIT.

Tradicionalment, els sensors embarcats al vehicle s'empraven de manera aïllada, de manera que, una vegada detectaven la situació de l'entorn, els dispositius intel·ligents instal·lats a bord del vehicle actuaven en conseqüència, avisant el conductor o actuant en el vehicle, com en el cas de l'encesa automàtica dels fars. Actualment, gràcies als sistemes de comunicacions vehiculars, aquesta situació està canviant, de manera que la informació que recull un vehicle pot ser compartida amb la resta de vehicles a la carretera.

#### Sistemes cooperatius

Aquests sistemes són els denominats C-ITS, i estan destinats a revolucionar el transport per carretera en els propers anys, ja que permetran que els cotxes es comuniquin entre ells (comunicacions V2V) i amb la infraestructura (V2I- I2V).

Les tecnologies desplegades en els vehicles per a dur a terme aquesta sensorització són diverses i inclouen tècniques de visió artificial, sensors radar i sensors LIDAR. La informació que proporcionen aquests sensors és usada per sistemes que es poden agrupar en sistemes de confort o d'assistència a la conducció o sistemes de seguretat.

#### 1) Sistemes de confort o d'assistència a la conducció, amb l'objectiu de facilitar la conducció dels usuaris

- Assistència a l'aparcament.
- Control de distància de seguretat.
- Reconeixement de senyals.
- Control adaptatiu de la velocitat.
- Assistència en el manteniment del carril.
- Control automàtic del vehicle o autopilot.

#### 2) Sistemes de seguretat que busquen prevenir els accidents o almenys minimitzar-ne els efectes



- Assistència a la percepció del conductor: exemples d'aquest tipus de sistemes són els fars adaptatius, avisos de presència d'obstacles, etc.
- Prevenció de xocs: avís i prevenció de sortida de carril, de xocs frontals, control del punt cec, etc.
- Detecció de fatiga del conductor.
- Prexoc: aquests sistemes minimitzen els efectes d'un xoc en cas de produir-se, controlant els coixins de seguretat o la tensió dels cinturons de seguretat. El control de la frenada es pot incloure com un sistema d'aquest tipus.

#### **4.2.4. Sensors meteorològics i ambientals**

L'objectiu dels sensors meteorològics és quantificar les variables meteorològiques, com la boira, el vent, la neu, el gel o la pluja. Els sensors ambientals proporcionen informació sobre els nivells d'emissions, com per exemple de CO<sub>2</sub> o d'altres contaminants, com els NOx.

Normalment, aquests sensors es troben instal·lats en punts de les carreteres on les incidències meteorològiques o la concentració de trànsit són més freqüents, encara que també hi ha sensors que poden anar embarcats als vehicles i els seus mesuraments es poden emprar de manera cooperativa gràcies als sistemes cooperatius que hem introduït breument més amunt.

Amb aquests sensors es poden captar una gran varietat de dades, com la temperatura i humitat de l'aire, la velocitat i direcció del vent, el tipus i taxa de precipitació, la visibilitat i la temperatura de la carretera; totes, variables que poden afectar en més o menys mesura les condicions del trànsit i poden provocar congestió o accidents.

Els paràmetres relacionats amb la contaminació acústica també poden ser importants per a la gestió de la mobilitat, ja que, a més de servir per a analitzar l'impacte mediambiental, també poden ser indicadors d'un trànsit molt intens.

Actualment, tant l'ecomobilitat com l'impacte mediambiental estan cobrant un pes fonamental en l'estudi dels sistemes cooperatius. És per això, que cada vegada tenen més importància els sensors mediambientals i les variables que capten de l'entorn en el qual es troben instal·lats.

Com hem pogut comprovar, la informació que proporcionen els diferents tipus de sensors comentats són de gran utilitat per a conèixer l'estat general de la via i del seu trànsit. No obstant això, el tractament de la informació provinent de multitud de sensors situats tant en la infraestructura com en els vehicles pot proporcionar un nivell més elevat d'enteniment de la situació de la via.

### 4.3. Sistemes de processament de dades en carreteres

És lògic pensar que la informació que proporcionen els sensors, per si mateixa, no és útil, sinó que necessita ser integrada en sistemes encarregats de recollir aquesta informació, processar-la i proporcionar-la de manera adequada per mitjà de les interfícies dissenyades a aquest efecte per als usuaris, gestors, operadors i serveis d'emergència que operen a les carreteres. De manera resumida, a continuació introduïrem alguns dels exemples principals d'aquests sistemes.

**1) Sistemes de circuit tancat de televisió (CTTV).** Formats per càmeres de televisió i tots els seus elements de transmissió, recepció, multiplexació, control, gestió i enregistrament des de la zona de camp fins al centre de gestió passant pels diferents nodes de control autònoms (NCA), a través de la infraestructura de comunicacions (essent fibra òptica la interfície física més emprada). Les càmeres són del tipus «domo» o fixes amb un posicionador que els permet fer un gir de 360°, i s'instal·len sobre columnes metàl·liques de 15 m o 20 m d'altura, la qual cosa permet una bona visió de la carretera.

**2) Sistema de control i gestió o estació remota universal (ERU).** És el sistema de control local encarregat de gestionar els diferents tipus d'equipament vial com plafons de missatges variables (PMV), sistemes de presa de dades (ETD), sistema de sensors de variables atmosfèriques en carretera (SEVAC), etc. Disposa de l'equipament local de comunicacions, que en permet l'enllaç amb els nodes de control autònoms (NCA) que permeten la seva comunicació amb el centre de gestió de trànsit.

**3) Sistema de sensors de variables atmosfèriques en carretera (SEVAC).** Compost per diferents sensors de variables atmosfèriques, que detecten paràmetres que poden afectar a les condicions de la circulació com poden ser visibilitats, anemòmetres, pluviòmetres, sensors de calçada intrusius i no intrusius, etc.

**4) Estació de presa de dades (EPD).** Composta per detectors i sensors físics tipus espines o sensors no intrusius basats en l'efecte Doppler o visió artificial. El sistema pot subministrar dades de trànsit relatives a la intensitat, longitud mitjana de vehicles, distància entre vehicles, ocupació, sentit de la circulació, classificació de vehicles per longitud i velocitat; i alarmes d'operació de tipus congestió de carril, vehicle en sentit contrari i canvi de sentit del carril.

**5) Sistema control de velocitat.** Encarregat del control i identificació de velocitats prohibides tant en una secció determinada com en un tram definit. Dependent del tipus de presa de velocitat que es vulgui fer, el sistema pot estar compost per un o diversos elements de mesura coordinats i emplaçats de manera específica perquè la mesura sigui vàlida i exacta. Aquests sistemes inclouen elements per al reconeixement de matrícules dels infractors.

**6) Sistema de comunicacions.** Permet la captació de dades i que la comunicació de l'equipament de camp es transmeti al centre de gestió de trànsit, la qual cosa permet l'anàlisi de les dades o la modificació de la informació que els PMV transmeten als usuaris. Està compost per la infraestructura de xarxa que uneix els equips de camp mitjançant fibra òptica amb els nodes de control autònoms (NCA), així com pels equips de comunicacions (SDH/PDH). Actualment, molts nodes estan basats en tecnologia gigabit i inclouen sistemes de vídeo IP.

**7) Sistema de senyalització variable (PMV).** Format per plafons de missatge variable (PMV) de diferents tipologies sustentats per estructures metàl·liques de tipus banderola o pòrtic. Els plafons de missatge variable estan compostos per una o diverses zones gràfiques de 32x32 o 64x64 píxels i zona alfanumèrica amb possibilitats de 12 o 16 caràcters de 160 mm, 220 mm, 320 mm o 400 mm d'altura. Aquest sistema s'utilitza per a comunicar als usuaris les situacions conflictives o alternatives davant imprevistos, de manera que informen sobre l'estat de la via per a prevenir situacions adverses per als usuaris.

**8) Sistemes de peatge tradicionals.** Estan basats en vies canalitzades, amb barrera o sense, que disposen d'estacions de peatge on el vehicle es monitora i s'efectua el pagament, i d'un centre de control per a la gestió centralitzada del cobrament correcte del peatge i la informació relacionada amb aquest. Aquests sistemes complexos inclouen la gestió dels diversos mitjans de pagament admesos en les concessionàries, com també l'ús de sistemes de preclassificació o postclassificació de vehicles mitjançant sensors com els introduïts anteriorment, la incorporació de telepeatge en modes de funcionament dedicat (ràpid) o mixt/combinat, o l'ús de CCTV.

**9) Sistemes de peatge *freeflow*.** Permeten cobrar als usuaris d'una via sense obligar-los a parar, ni a reduir la velocitat, i sense elements que obstaculitzin la via. El seu funcionament es basa en una sèrie de pòrtics instal·lats al llarg de la via on es troben els equips electrònics que permeten al sistema detectar els vehicles, prendre fotografies de les matrícules, calcular el tipus de vehicle per a aplicar-li la tarifa que li correspon i, a més, «llegir» els petits dispositius que poden portar els vehicles per a fer més econòmic i fiable el pagament del peatge, els denominats *tags* (a Espanya són els coneguts com a *vía T* o *telepeaje*)

Figura 5. Exemple de sistema de peatge *freeflow*

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

#### 4.4. Sistemes d'informació de trànsit

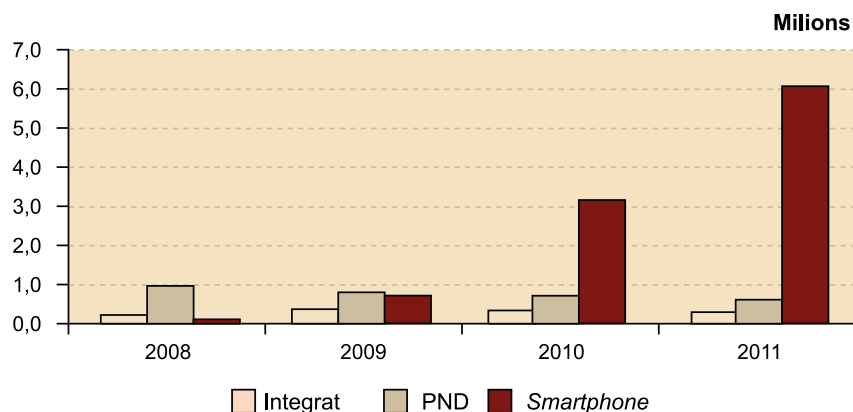
El concepte de sistemes d'informació de trànsit engloba els sistemes que permeten que el transport per carretera sigui més confortable, la qual cosa, al seu torn, redunda en més seguretat i eficàcia. Encara més, si atenem a la idea bàsica de seguretat integrada, molts dels sistemes inclosos en aquest concepte tenen cabuda dins de la fase de circulació normal.

##### 4.4.1. Sistemes de navegació

1) **Sistemes de comercials d'elecció de ruta.** L'objectiu d'un sistema de navegació i guiat és indicar el camí més ràpid, simple o curt per a anar d'un punt a un altre, basant-se, inicialment, en el tipus i geometria de les carreteres, encara que el temps meteorològic o el trànsit poden condicionar la ruta calculada si es disposa d'un dispositiu sincronitzat amb una font que proporcioni aquestes dades. El concepte de navegació en carretera ha variat notablement des que es van implantar els primers sistemes a Europa en la dècada dels noranta. L'evolució, des d'un punt de vista conceptual, ha estat encaminada cap a una cobertura més àmplia dels sistemes, més contingut i més precisió i càlcul de posicionament.

La incorporació de sistemes de navegació als vehicles automòbils ha estat notable en els últims anys, com es pot apreciar en la figura 6.

Figura 6. Evolució de la venda de vehicles equipats amb sistemes de navegació a Espanya



Espanya	2008	2009	2010	2011
Integrat	173.439	192.710	204.240	228.749
PND	926.930	751.430	687.489	516.304
Smartphone	46.380	731.340	3.106.524	3.057.722
Total	1.146.749	1.675.480	3.998.253	6.802.775
Variació anual		46,1%	138,6%	70,1%

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

Respecte a les vendes de GPS, podem recollir les citacions següents:

- El 44% dels compradors de vehicles nous inclouran el 2013 el dispositiu de navegació integrat (ABI Research).
- La integració a escala mundial dels dispositius GPS en els mòbils creixerà a un ritme anual de gairebé el 40% durant els propers cinc anys, i s'aconseguiran els 834 milions d'unitats el 2012 (Park Associates).
- El mercat mundial de la navegació mòbil sorgeix amb 50 milions d'unitats el 2007 per a passar a superar els 500 milions d'unitats abans que acabi el 2015 (grup de recerca Telematics).
- Els navegadors integrats nous augmentaran la seva penetració un 1,6% anual des de 2007 fins a 2012, que el 24% dels vehicles nous sortiran equipats des del concessionari (Agència SBD, 2007).
- La navegació per satèl·lit s'ha descobert com una funció inherent a la telefonia mòbil. Som conscients del context i creiem que serà tan important com ho va ser la veu fa vint anys (Olli-Pekka Kallasvuo, president de NOKIA de 2005 a 2010).

El posicionament dins del mapa electrònic es fa, generalment, per mitjà del senyal rebut per un receptor GPS, de manera que l'error es redueix notablement sense aquest tipus de diferencial (DGPS). No obstant això, en zones d'ombres (túnel, proximitat a edificis alts o zones boscoses), aquest senyal se sol perdre.

Per a solucionar aquesta circumstància, es pot recórrer al posicionament relatiu respecte a un origen, el qual s'obté per mitjà d'altres sensors com ara sensors de gir de les rodes (d'on es dedueix la distància recorreguda i els girs per la diferència de gir entre rodes interiors i exteriors), sondes del camp magnètic o giroscopis. L'inconvenient principal d'aquests sistemes és l'acumulació d'error que obliga a correccions periòdiques emprant altres sistemes.

Aquest augment de càlcul comporta que les exigències sobre el processador de càlcul de rutes siguin cada vegada més grans, ja que es necessita que proporcionin la ruta òptima segons els paràmetres fixats i que la recalculi amb gran celeritat en cas que el conductor no segueixi alguna de les indicacions.

La unitat de presentació d'avisos ha evolucionat notablement i a una gran velocitat en els últims anys, i ha arribat a dispositius que representen el mapa electrònic de la zona en qüestió, a una escala seleccionable, mostren les maniobres que s'han de fer i les reproduïxen en missatges parlats per a reduir les distraccions del conductor.

Les característiques més valorades inclouen el càlcul de rutes, la rapidesa del sistema, la facilitat d'ús i les informacions que proporciona per pantalla i per veu. Així doncs, actualment en el mercat es poden trobar equips amb les característiques següents a preus relativament assequibles (per això han proliferat):

- Pantalles que aconseguen més qualitat en la informació visual, més definició i colors, i permetent una interacció més fàcil per mitjà de pantalles tàctils.
- Ergonomia i seguretat en integrar el sistema d'una manera més funcional a l'abast del conductor i minimitzar així el temps de manipulació.
- Visualització i reproducció de missatges amb menús més intuïtius, utilitzant elements visuals o representacions simbòliques per a representar certes situacions complexes.
- Utilització de bases de dades fonètiques per a millorar els missatges al conductor.
- El desenvolupament dels sistemes de navegació ha estat tal que, en l'actualitat, la integració d'aquesta funcionalitat en una agenda electrònica resulta senzilla.

Per la seva banda, els sistemes d'elecció de ruta es poden classificar de la manera següent:

- Sistemes basats en algorismes estàtics, que trien la ruta amb el criteri de distància mínima o temps mínim (en aquest últim cas, generalment a partir de les velocitats màximes permeses a les vies).
- Sistemes basats en una estimació del temps de desplaçament real en les diferents rutes, a partir de dades històriques d'intensitats de trànsit.

- Sistemes basats en una estimació en temps real del temps de desplaçament, a partir de la recepció de dades de trànsit procedents d'un centre d'informació. La informació recollida pel centre pot procedir de detectors convencionals, com bucles magnètics, o de vehicles que estiguin utilitzant les diferents rutes, la qual cosa s'aproxima al mètode d'emprar els vehicles com a sensors flotants. Aquests sistemes també inclouen una predicció de les condicions de trànsit a curt termini i estimacions dels possibles impactes d'incidents de trànsit. El desenvolupament dels algorismes de càlcul de les rutes òptimes està essent un camp molt actiu de recerca durant els últims anys.

**2) Sistemes de navegació dinàmica.** Si bé les aplicacions més simples comprenen el guiatge des d'un punt d'origen fins a un de destinació seleccionada pel conductor, l'augment de la informació que es pot proporcionar al vehicle de manera dinàmica fa que el càlcul de la ruta òptima pugui estar condicionat per més variables que millorin els resultats d'un navegador estàndard. Així, la navegació dinàmica fa referència a un tipus de navegació que recalcula la ruta per a aconseguir un determinat objectiu prefixat en funció d'incidències transitòries, com retencions, talls de la via, etc., que es van detectant (abans d'arribar-hi) per mitjà de comunicacions amb els centres de distribució d'informació.

El càlcul dels beneficis esperats per la generalització d'aquests sistemes presenta diverses incerteses importants. La primera es refereix als algorismes d'assignació dinàmica de trànsit i a l'estabilitat de les prediccions de temps de viatge. A més, el desenvolupament continu d'aquests algorismes fa difícil establir els avantatges dels mètodes dinàmics enfront dels estàtics. La segona concerneix la qualitat de les dades rebudes al centre d'informació. En l'actualitat, i atès que el percentatge de vehicles equipats amb aquest sistema encara és petit, les dades d'intensitats de trànsit i velocitats en diferents punts de la xarxa es recullen gairebé exclusivament per mitjà de detectors en la infraestructura, com es presentarà en l'epígraf següent, la qual cosa fa que les velocitats de desplaçament en diferents trams siguin estimades de manera indirecta. En principi, l'augment del nombre de vehicles equipats ha d'augmentar l'exactitud de les dades i, amb això, de les prediccions.

El projecte SISCOGA, engegat per la Direcció General de Trànsit i el Centre Tecnològic d'Automoció de Galícia, planteja la creació d'infraestructures intel·ligents que subministrin en temps real informació adaptada a cada vehicle, la qual cosa ha de millorar la seguretat vial en els desplaçaments.

En el projecte **SISCOGA**, per al desenvolupament de les proves i prototips, han equipat vint vehicles amb dispositius informàtics creats a mida (unitats de comunicació a bord, sistemes HMI i GPS amb mapes específics), i han triat una zona d'autovia a l'entorn de Vigo (AP9, A55 i A52) al llarg de la qual desplegaran un anell de fibra òptica, trenta unitats de comunicació vehicle-carretera, vint-i-una càmeres, dinou plafons informatius i deu estacions meteorològiques.

Tota aquesta infraestructura tecnològica subministrarà la informació, que una vegada tractada pels sistemes tecnològics, podrà mostrar en un plafó informatiu col·locat en cada vehicle informació diversa d'interès per als conductors: incorporacions de cotxes en interseccions, velocitat òptima en apropar-se a un semàfor, límits de velocitat variable, aproximació de vehicles d'emergències, o qualsevol avís relacionat amb retencions i condicions meteorològiques.

#### **4.4.2. Control de les condicions de trànsit**

Les noves aplicacions dinàmiques impliquen una actualització contínua de les dades. Per exemple, els sistemes de control de la velocitat de caràcter dinàmic empenen variables com les condicions atmosfèriques o les condicions físiques de la calçada (sots, esquerdes, tolls, etc.) per a establir la velocitat segura. Aquests efectes transitoris s'han de captar i processar en temps real de manera que es pugui proporcionar una resposta d'acord amb la situació generada. En la gestió del trànsit, la localització de retencions o incidents resulta vital, i les demores en la transmissió d'aquesta informació poden fer que aquesta perdi gran part del valor. Per a aquests usos i fins i tot per a un sistema de navegació eficient de característiques dinàmiques com el que s'ha presentat en l'apartat anterior, no són suficients actualitzacions mensuals o semestrals. Resulta de gran importància identificar quin grau d'actualització requereix cada aplicació i quina tecnologia s'ha de desplegar per a aconseguir aquest objectiu.

Per a adequar-se a les exigències anteriors, es plantegen dues solucions fonamentals:

- Distribució de sensors en la infraestructura que transmetin la informació als centres de control. Exemples d'aquests sensors poden ser els detectors d'intensitat i velocitat, com també les càmeres de vídeo.
- Incorporació de vehicles dotats de sensors que transmetin la informació a un centre de control que s'encarregui, després del processament adequat d'aquesta, de la seva distribució a la resta d'usuaris.

En la primera solució s'estan desenvolupant grans esforços per a l'estimació de variables a partir d'altres mesures per al processament automàtic de les imatges captades, intentant localitzar, per exemple, incidents o retencions. En la



segona, els vehicles estan dotats de GPS i d'alguna tecnologia de comunicació, i periòdicament envien informació. Aquesta informació és centralitzada i tractada, i reexpedida a altres usuaris. Noteu que la informació necessària que ha de ser convenientment codificada per a la transmissió és en el bus de comunicacions dels vehicles actuals:

- trajectòria del vehicle
- velocitat del vehicle
- actuació de l'eixugaparabrises o el senyal del sensor de pluja
- temperatura del motor
- activació dels llums del vehicle (fre, emergència, antiboira, etc.)
- indicacions dels sensors que controlen la dinàmica del vehicle
- estat dels sistemes d'assistència al conductor

Una vegada recollida la informació als centres de control, cal analitzar-la, eliminar la que no sigui correcta o redundant, prendre decisions en cas de tenir dades contradictòries i combinar-les amb dades que provenen de fonts externes.

L'ús de vehicles flotants és una solució eficient per a determinar el temps de trajecte quan es compara amb altres solucions d'instruments estàtics en la infraestructura, si bé hi ha problemes quant al retard de la informació i al possible baix nivell de vehicles d'aquestes característiques en un tram de carretera. Així com un dels reptes és mantenir un equilibri entre cost i detecció d'incidents al més aviat possible, amb la finalitat d'obtenir una informació fiable i útil, s'ha establert que és necessària una penetració d'unitats sensoritzades en el parc de vehicles de l'1% al 5%.

També cal tenir en compte que, si hi ha diversos centres receptors d'informació o de gestió d'aquesta, les comunicacions entre aquests centres poden millorar les dades subministrades als usuaris.

Com a avantatge d'aquest tipus de sistema d'actualització, es pot destacar que un alt percentatge dels vehicles actuals ja tenen molts dels sensors i equips necessaris per a desenvolupar aquesta tasca, i només és necessari establir el protocol de comunicació amb un centre de recollida i processament de la informació dels diferents «vehicles flotants». A més, la independència entre el vehicle i la infraestructura possibilita l'ús del sistema en qualsevol tipus de via.

#### **4.4.3. Sistemes de diagnosi remota i assistència**

La introducció de noves funcionalitats dins del vehicle, moltes recolzades, en major o menor mesura, en desenvolupaments electrònics, ha permès augmentar les prestacions de tot tipus. Tanmateix, això ha fet que, si no es vol perjudicar els objectius de fiabilitat i disponibilitat, sigui necessària l'aplicació de tècniques de comprovació de bon funcionament de manera més assídua.

Antigament, fins a la dècada dels setanta, el manteniment i la diagnosi els feien els propietaris dels vehicles i petits tallers, on es comprovava què funcionava i què no. En l'actualitat, això no és necessari i s'ha de recórrer a noves tecnologies d'assaig i lectura dels sensors repartits en el vehicle durant aquestes tasques de comprovació. És a dir, les tècniques de diagnosi han evolucionat en paral·lel amb els avenços del vehicle. La diagnosi electrònica en el vehicle, tal com es coneix avui, es va començar a difondre en la dècada dels vuitanta a partir de les exigències de reducció de contaminació.

#### **4.4.4. Diagnosi interna del vehicle**

Així, al vehicle, l'electrònica embarcada pot fer un primer «autodiagnòstic» dels sistemes i registrar les possibles anomalies de funcionament detectades. És el que es denomina *diagnosi a bord* o *on-board diagnosis* (OBD). Les unitats de control electrònic s'han dissenyat per a poder intercanviar informació per mitjà d'un bus de comunicacions amb la resta d'unitats i amb la unitat central, la qual permetrà al seu torn la connexió als equips externs que llegiran la informació emmagatzemada. A més, la diagnosi interna ofereix una informació al conductor per mitjà dels indicadors lluminosos pertinents (seguint una simbologia normalitzada) i, en l'actualitat, mitjançant missatges curts o missatges de veu de les fallades detectades, si bé, no de la seva causa.

La diagnosi interna implica la comprovació contínua de punts del sistema predefinit, la detecció de fallades i el seu corresponent emmagatzematge i informació al conductor, i la realització de diagnòstics de les causes de la fallada, la qual cosa està d'acord amb les capacitats de «raonament» de les unitats de control electròniques del vehicle. D'altra banda, la decisió final de diagnosi de fallada ha implicat la utilització de diverses eines com models estadístics, intel·ligència artificial, proves successives amb instrumentació addicional, etc. Una solució és elaborar arbres de decisió sobre els quals treballi el sistema expert de diagnòstic.

Això implica un estudi detallat del sistema, dels subsistemes i de les relacions entre aquests amb la finalitat de tenir identificades les fallades i les seves causes. Una altra alternativa és recórrer a xarxes neuronals, les quals necessiten un temps d'entrenament que permeti que s'ajusti al sistema concret analitzat. Com que amb aquesta eina s'aconsegueix un alt grau de fidelitat amb el sistema, aquestes xarxes es poden emprar en l'estimació de sortides i en funcions de control. Finalment, cal indicar que la lògica borrosa aporta solucions en un entorn complex, en el qual molts dels paràmetres no són coneguts i és difícil modelitzar físicament el conjunt íntegrament. Aquesta possibilitat, a més, condueix a l'obtenció de respostes en un temps més curt, atesa la naturalesa de les lleis lògiques.

## 5. Sistemes intel·ligents de transport en ciutats intel·ligents

Actualment, és un fet que hi ha més persones vivint a les zones urbanes que a les rurals. El 2018 es va arribar al 54,9% de la població mundial per primera vegada en la història. S'espera que aquesta tendència continuï, ja que, segons les Nacions Unides, el màxim creixement de la població mundial tindrà lloc a les zones urbanes durant les properes quatre dècades. Aquesta realitat planteja nous reptes a les autoritats per a garantir l'ús eficient dels recursos d'aquestes zones urbanes i la qualitat de vida dels seus habitants mitjançant una gestió millor dels serveis, la qual cosa requereix canvis significatius en la governança, la presa de decisions, la gestió dels serveis i el desenvolupament de plans d'acció específics.

Per a això, i des de fa anys, s'està impulsant una revolució tecnològica que està propiciant el canvi sota el concepte o paradigma de les noves ciutats intel·ligents (*smart cities*). No obstant això, la transformació de qualsevol ciutat en una ciutat intel·ligent és un procés llarg i complex, en el qual s'han d'aprofitar la majoria de les experiències i les millors pràctiques de les iniciatives ja desenvolupades anteriorment.

El propòsit final d'una **ciutat intel·ligent** és aconseguir una gestió eficient en totes les àrees de la ciutat (urbanisme, infraestructures, transport, serveis, educació, sanitat, seguretat pública, energia, etc.), satisfent alhora les necessitats de la urbs i dels seus ciutadans. Tot això s'ha d'aconseguir d'acord amb els principis de desenvolupament sostenible exposats en el Programa 21, promogut per les Nacions Unides, i prenent la innovació tecnològica i la cooperació entre agents econòmics i socials com els motors principals del canvi.

El concepte de mobilitat en una ciutat intel·ligent es refereix a la millora de la sostenibilitat, la seguretat i l'eficiència en els sistemes de transport i d'infraestructures. Per tant, el transport públic representa un eix fonamental per a vertebrar l'estratègia de mobilitat d'una ciutat intel·ligent, ja que en els seus diferents vessants (autobús, suburbà/metro, tren) avantatja clarament en termes de sostenibilitat i eficiència energètica el transport privat.

En aquest context, els SIT poden contribuir i han de contribuir a la democratització i ús extensiu del transport públic, per a això es poden dissenyar i desenvolupar múltiples estratègies. En aquest cas, ens centrarem en la implementació de plataformes que permetin la interoperabilitat i intermobilitat dels

### Enllaç d'interès

Consulteu aquest enllaç per a més informació: [http://www.innopro.es/pdfs/libro\\_blanco\\_smart\\_cities.pdf](http://www.innopro.es/pdfs/libro_blanco_smart_cities.pdf).

ciutadans emprant un únic bitllet de transport, àmbit conegut com a *ticketing*, que té com a objectiu obtenir un sistema de pagament obert, segur, escalable i compatible amb múltiples plataformes tecnològiques.

El document de referència en aquest àmbit és el recentment presentat *White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area*, que avança el full de ruta previst des de Brussel·les per a la concreció d'un espai comú europeu del transport. Encara que l'agenda pràctica d'accions s'atura el 2020, inclou una visió del que serà el transport europeu el 2050. La visió europea de l'escenari global de transport es resumeix en la taula 4.

Taula 4. Visió europea del futur espai únic europeu del transport

	<b>Persones</b>	<b>Mercaderies</b>
<b>Transport de llarga distància i intercontinental</b>	Adequada capacitat i millora de l'experiència de viatjar (connexions eficients, esperes mínimes, molèsties mínimes associades a les mesures de seguretat, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estàndards internacionals de transport marítim</li> <li>• Connexions en <i>els hinterlands</i> dels ports més eficients</li> <li>• Vaixells més moderns i combustibles menys contaminants</li> </ul>
<b>Intercity</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport multimodal amb transició contínua de serveis (informació multimodal en línia, <i>hubs</i> multimodals, proposta òptima de combinació de mitjans, etc.)</li> <li>• QOS i més drets per als usuaris</li> <li>• Zero víctimes d'accidents en carretera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logística sense papers</li> <li>• Corredors multimodals per al transport de mercaderies</li> <li>• Zero barreres per al transport marítim</li> <li>• Camions menys contaminants i recorreguts més curts</li> </ul>
<b>Transport urbà</b>	Mobilitat no basada en combustibles fòssils (cotxes de zero emissions i eficients, més utilització del transport públic, sistemes de propulsió alternatius per a autobusos i taxis, infraestructures millors per a vianants i ciclistes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Connexions millors entre el transport de llarga distància i l'última milla</li> <li>• Centres logístics i àrees de lliurament</li> <li>• Desplegament generalitzat de SIT</li> <li>• Camions baixos en emissions i soroll</li> </ul>

## 5.1. Sistemes intel·ligents de tarifació

La tarifació intel·ligent es considera cada vegada més un mètode efectiu de gestió de la demanda: «En el transport públic, l'ús d'ITS facilita una gestió millor de les operacions i dels nous serveis (gestió de les flotes, sistemes d'informació al viatger, sistemes de taquillatge, etc.). Perquè aquestes aplicacions puguin compartir dades, ha d'haver-hi protocols d'intercanvi de dades. Les parts interessades han assenyalat que les normes han de ser interoperatives i estar obertes a la innovació; els sistemes intel·ligents de transport haurien d'utilitzar targetes intel·ligents que puguin funcionar en diversos tipus de transport, fer funcions diverses (pagaments relacionats amb el transport, serveis diferents del transport, estacionament i règims de fidelització) i valer per a zones i, a més llarg termini, països diferents. Podria haver-hi tarifes diferenciades segons l'hora o els destinataris (per exemple, hores punta o vall) que formessin part del sistema».

### Àrea única comuna europea

L'objectiu fonamental d'Europa en l'àmbit del transport per a la propera dècada és l'articulació d'un àrea única comuna europea del transport en la qual totes les barreres entre tipus de transport i fronteres quedin eliminades.

En aquest sentit, una de les necessitats no resoltes dins de l'estat de l'art detectades per la Comissió Europea és la de sistemes adequats per a la recollida i interpretació de la informació de mobilitat. Les consultes i les iniciatives ante-

riors de recollida de dades han revelat apreciables llacunes en les estadístiques de mobilitat urbana a la UE. Aquestes llacunes han d'omplir-se a fi de facilitar la informació necessària per als responsables polítics i els professionals a tots els nivells.

Els mètodes d'expedició de bitllets en el sector del transport, o el que es coneix com a **transport ticketing** han anat canviant al llarg dels anys i hi ha diferents aproximacions a l'hora d'oferir aquest tipus de serveis. Es revisaran en primer lloc els que empenen canals de comunicació convencionals, per a passar posteriorment als que presenten una interfície web. Finalment, es descriuran els serveis de pagament de transport públic de caràcter més innovador, introduint dispositius mòbils.

1) **Solucions fixes.** La manera més tradicional d'adquirir el títol de transport necessari per a viatjar és interactuant personalment amb un empleat de l'operador de transport, que expedeix un bitllet imprès, a l'estació o al mateix vehicle a l'hora d'accedir-hi. El pagament es fa en aquest moment, i es pot abonar l'import en metàl·lic o mitjançant targetes de crèdit. No obstant això, amb el pas del temps i amb l'objectiu d'optimitzar els costos, s'ha tendit a reemplaçar aquests mètodes de caràcter manual per altres d'automàtics, compostos per màquines d'autovenda, controls automàtics d'accés a les estacions, cancel·ladores de títols i altres infraestructures informàtiques necessàries.

A més d'aquests serveis de pagament convencionals als mateixos mitjans de transport (vehicles o estacions), n'hi ha uns altres que ofereixen una interfície web, generalment pensats per a ser usats amb suficient antelació respecte a l'inici del viatge. Aquesta venda de bitllets directament al consumidor per Internet representa un pas més, de manera que aquest pugui imprimir a casa els bitllets amb els codis de barres que els identifiquen. Aquest mètode és molt popular i cada vegada és més impulsat pels venedors, ja que els usuaris eviten haver de desplaçar-se als punts de venda i els mateixos venedors eliminen els costos d'impressió i de distribució.

Un salt qualitatiu fonamental en el procés d'introduir «intel·ligència» en els sistemes de *ticketing* és la utilització de les targetes conegudes com a *smart cards*, les quals inclouen un petit microprocessador que permet l'execució de certa lògica programada. Aquestes targetes es comporten com un sistema de recàrrega i poden funcionar amb contacte o sense. En el primer cas, és necessari introduir la targeta en un terminal intel·ligent per a dur a terme l'operació, i, en el segon, això no és necessari, ja que funcionen amb diferents protocols de transmissió en la capa física, transmissió que té lloc través de l'aire.

2) **Mobile ticketing.** Pot dir-se que la situació actual del *ticketing*, en termes generals, es basa a allotjar els títols de transport en targetes, amb contacte o sense, més o menys intel·ligents. El pas següent en l'evolució del *ticketing* és fer que aquests títols s'allotgin en el dispositiu mòbil més habitual per a la població en general: el telèfon mòbil, la qual cosa es coneix com a *mobile ticketing*,

en lloc d'utilitzar targetes especials pertanyents als operadors de transport. Així, un bitllet electrònic és enviat a un dispositiu mòbil per a permetre que l'usuari pugui accedir al servei contractat mitjançant el seu propi telèfon. Habitualment, aquest bitllet electrònic o *m-ticket*, consisteix en un codi de barres, transmès per MMS, que es pot llegir i validar directament des de la pantalla del dispositiu mòbil.

Els avantatges d'aquest sistema són nombrosos. En primer lloc, gairebé tothom sol portar un telèfon mòbil. Integrant el títol de transport en aquest dispositiu, deixa de ser necessari portar al damunt un suport físic addicional. A més, les capacitats presents en el telèfon mòbil (de posicionament, intel·ligència, comunicacions i emmagatzematge) permeten integrar el sistema de pagaments amb la resta de sistemes en mobilitat disponibles per a usuaris del transport públic, com ara la planificació de trajectes (informació general i de guiatge), la navegació o els sistemes de gestió de demanda.

El més nou en aquest camp és l'ús de *near field communication* (NFC), una tecnologia de comunicacions sense fil de curt abast que permet l'intercanvi de dades entre dispositius a pocs centímetres de distància. En aquest cas, el bitllet electrònic es troba igualment en el dispositiu, però és per mitjà de l'NFC com es transmeten les dades del bitllet en el moment de la validació. Aquesta evolució dels mètodes de *ticketing* es deu a la necessitat de convertir el procés en un de més eficient i barat, que proporcioni a l'usuari un servei flexible i adequat a la mobilitat.

### 5.1.1. Tecnologia NFC

*Near field communication* (NFC) és un protocol basat en una interfície sense fil que permet la comunicació entre dues entitats (*peer-to-peer*) properes. Aquest protocol estableix connexió sense fil entre les aplicacions de la xarxa i els dispositius electrònics, concretament treballa en una banda de 13,56 MHz. Això provoca que no s'apliqui cap restricció i que no requereixi cap llicència per al seu ús, però en limita l'abast de funcionament a menys de 20 cm, per la qual cosa les dues entitats que es comuniquen han d'estar a prop. En les comunicacions mitjançant el protocol NFC, una de les entitats és l'encarregada d'iniciar i monitorar la comunicació, podent prendre aquest rol qualsevol de les dues entitats implicades.

Suporta dos modes de funcionament, tots els dispositius de l'estàndard NFCIP-1 han de suportar tots dos modes:

1) **Actiu.** Tots dos dispositius generen el seu propi camp electromagnètic, que utilitzen per a transmetre les seves dades.

2) **Passiu.** Solament un dispositiu genera el camp electromagnètic i l'altre s'aprofita de la modulació de la càrrega per a poder transferir les dades. L'iniciador de la comunicació és l'encarregat de generar el camp electromagnètic.

El protocol NFCIP-1 pot funcionar a diverses velocitats 106 Kbit/s, 212 Kbit/s o 424 Kbit/s. Segons l'entorn en el qual es treballi, les dues parts poden posar-se d'acord sobre a quina velocitat treballaran i reajustar el paràmetre en qualsevol moment de la comunicació.

La tecnologia NFC aplicada al transport públic de passatgers significa la integració en el terminal mòbil del servei de *ticketing* del transport públic, integració entesa com un nou suport per al bo de transport, molt atractiu per a usuaris habituals, però que haurà de conviure amb solucions hàbils per a l'atenció al viatger ocasional. Ha d'incloure funcions de validació complementàries per a l'accés al transport públic o la compra de bitllets o recàrrega del saldo del bo de transport embegut, és a dir, per a qualsevol funció que impliqui una transacció econòmica.

L'arquitectura NFC definida per l'NFC Forum defineix tres modes de comportament:

1) **Reader/writer.** En aquest mode, el dispositiu NFC es pot usar tant per a llegir com per a escriure dades en *tags* o altres dispositius.

2) **Card emulation.** En aquest mode, el dispositiu NFC actua com una targeta de proximitat i permet ser llegit per lectors externs. En aquest cas, l'emulador apareixeria davant el lector del mode *reader/write* com un *tag* passiu, podent de fet ser actiu, ja que el telèfon es pot encendre i proporcionar energia al xip NFC. Malgrat això, les funcions d'un emulador són les d'un *tag* passiu. Aquest mode és segur.

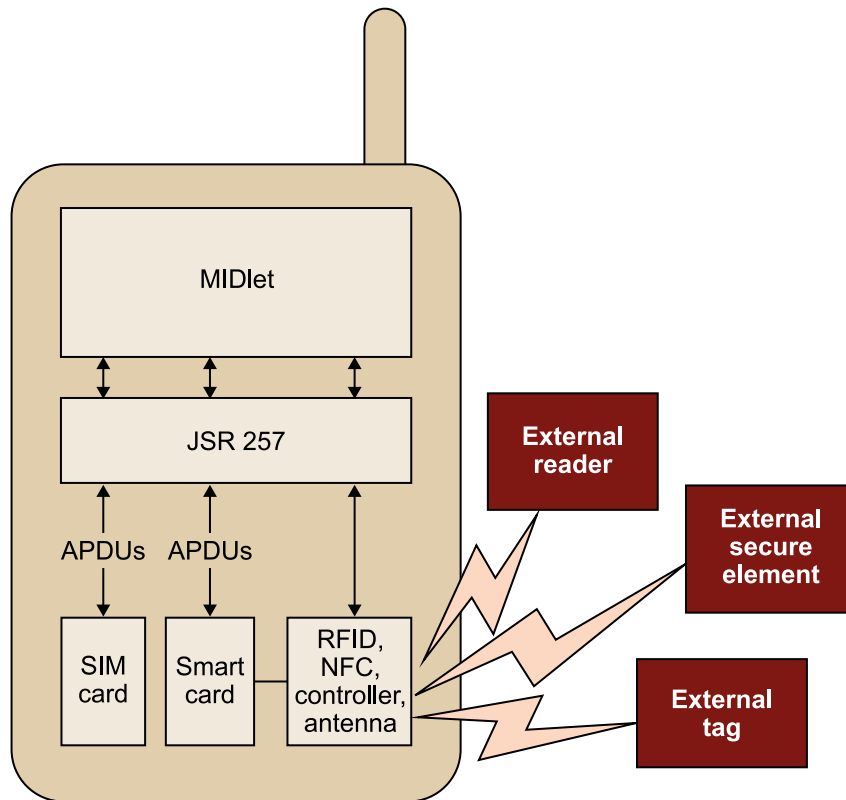
3) **Peer-to-peer.** Aquest mode permet a dos dispositius transferir-se dades mútuament.

NFC Forum distingeix entre dispositius NFC i etiquetes NFC. Un dispositiu NFC és un dispositiu que implementa almenys les parts obligatòries de la pila de protocols de l'NFC Forum satisfent els requeriments d'interoperabilitat. Entre els diferents modes previstos, un dispositiu NFC ha de poder suportar el mode *peer-to-peer* i el mode *reader/writer*, mentre que el mode *card emulation* és opcional. Un telèfon mòbil, una PDA o un ordinador personal podrien ser dispositius NFC.

Entre els possibles modes de funcionament previstos, el mode *card emulation* seria el que tindria cabuda en el context de *mobile ticketing*. El fet que l'NFC sigui compatible amb els estàndards de targetes ISO 14443 A/MIFARE i FeliCa permet que aquesta tecnologia es pugui utilitzar en les infraestructures de transport actuals.

Per a aquest i altres escenaris en què la seguretat és important, el dispositiu mòbil ha de contenir un element que permeti l'emmagatzematge segur. Aquesta combinació de maquinari i programari embegut en el dispositiu es coneix com a *element segur* (*secure element*, ES). Aquest element proporciona un àrea de seguretat per a l'execució d'aplicacions que ho requereixin. Com a conseqüència, el sistema operatiu de l'element segur ha de poder instal·lar, personalitzar i gestionar múltiples aplicacions facilitades per diferents proveïdors via OTA. Hi ha moltes alternatives d'element segur; aquest pot ser, per exemple, una targeta de memòria segura o la targeta SIM (*subscriber identity module*) de l'usuari.

Figura 7. Estructura d'una aplicació NFC



Font: L. Tolsada Bris (2012). *Desenvolupament d'una aplicació de transferència de fitxers basada en NFC i Bluetooth*. Universitat Carlos III de Madrid.

A continuació s'esmenten els diferents elements que formen part de l'estructura resumida en el dibuix anterior:

- Entorn d'execució Java amb la implementació de JSR-257.
- Aplicació MIDlet instal·lada en el dispositiu.
- Xip NFC, que es podrà comunicar amb lectors externs, etiquetes NFC o altres dispositius NFC, depenent del mode d'operació.



- Targeta SIM.
- Targeta intel·ligent.

El mode de funcionament usat en els sistemes de *ticketing* és el conegut com a *card emulation*. En aquest mode, un element segur del dispositiu es comunica amb el lector extern. Cal destacar que la comunicació pot donar-se entre dos dispositius NFC, un en mode *card emulation* i l'altre en mode *reader/writer*, o fins i tot entre el dispositiu NFC en mode *card emulation* i un terminal lector, com els que es troben implantats en alguns sistemes de transport. L'aplicació que s'instal·la en el telèfon mòbil per a proveir d'una interfície gràfica a l'usuari és conscient de la comunicació entre l'element segur i el lector extern, però no hi ha de participar necessàriament.

Els avantatges principals que aporta aquesta tecnologia són els següents:

- **Reducció important de costos d'operació.** Per a l'operador, els costos de manteniment dels equips d'expedició i comprovació de bitllets es redueixen en gran manera respecte als sistemes de banda magnètica. Aquesta reducció es deu al fet que la tecnologia de targetes sense contacte elimina les parts mecàniques mòbils, que requereixen una neteja i ajust regular, com també la reposició de peces gastades.
- **Baix cost.** Actualment, les targetes xip sense contacte tenen un cost aproximat de 2 euros. En un futur proper, alguns dels tags sense contacte poden arribar a tenir un cost tan baix com 20 cèntims d'euro gràcies a les economies d'escala i les millores dels processos de fabricació.
- **Seguretat.** La seguretat enfront d'intrusions durant les transaccions en el cas de requisits baixos de seguretat es basa en la proximitat dels dispositius (10 cm), i es poden incloure mecanismes d'autenticació i encriptació per a aplicacions amb majors requisits de seguretat. A més, les targetes incorporen diferents sistemes de seguretat (protecció per PIN, encriptació, detecció de *tampering*) que asseguren la confidencialitat i integritat de les dades que contenen.
- **Rapidesa en la transacció.** Connexió instantània, fins a 424 kilobits per segon
- **Senzillesa.** L'usuari solament ha de passar la targeta o dispositiu perquè l'operació es dugui a terme.
- **Tecnologia provada.** La tecnologia es basa a la tecnologia RFID i de targetes intel·ligents, que ha estat provada per milions d'usuaris en usar els telèfons GSM o en el pagament de transport, especialment a Àsia. La indústria de les targetes intel·ligents té anys d'experiència i està molt desenvolupada.

- **Diferents formats.** Els dispositius sense contacte poden adoptar diferents formats com format de targeta de crèdit, SIM, incorporada en rellotges o en telèfons mòbils.
- **Un únic *token*.** Es pot utilitzar un únic *token* per a tasques molt diferents (pagament, accés, descàrrega d'informació, identificació). Per a això és necessari utilitzar targetes d'alta capacitat.

Les aplicacions més clares en l'àmbit del transport són:

**1) Telèfon com a targeta de transport.** Es pot «carregar» el telèfon mòbil amb una targeta de transport. En aquest mode d'operació, el mòbil es comporta externament igual que una targeta sense contacte de transport. Es pot gravar, recarregar, validar etc., la qual cosa permet les funcionalitats següents:

- estalvi en necessitat de suports i targetes
- consulta de l'estat i saldos de la targeta per part de l'usuari
- recàrrega remota de saldos de moneder o títols de transport en la targeta
- correccions i modificacions remotes sobre la targeta
- activació d'un control automàtic de saldos i sol·licitar de manera automàtica una recàrrega
- domiciliació per mitjà de l'operador d'aquestes operacions

## **2) Informació basada en localització (*location based systems, LBS*)**

En llocs específics d'una infraestructura de transport es pot activar la petició d'informació. Per exemple, es pot fixar una etiqueta (un xip passiu) en una parada i, en apropar el mòbil, activar una funció que informa dels autobusos i horaris de la parada, tant oficials com si es disposa d'un SAE, la informació en temps real de temps d'espera per als propers autobusos. En el cas d'un invident, l'aplicació en el mòbil pot generar missatges d'àudio en comptes de mostrar la informació en la pantalla. Si per alguna raó hi ha alguna incidència, pot informar-se d'aquella que l'afecti, com que la parada s'ha desplaçat temporalment a un altre lloc per les festes de la població. El pagament intel·ligent també pot aportar informació molt valuosa sobre la conducta i els models de mobilitat dels usuaris, que permeti generar i engegar serveis complementaris d'informació adaptats a la seva ubicació i a les seves necessitats.

## Bibliografia

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

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

**Comissió Europea** (2001). *Libro Blanco. La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad*. Setembre 2001. Comissió de les Comunitats Europees.

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

Directiva 91/440/CEE de 29 de juliol de 1991, sobre el desenvolupament dels ferrocarrils comunitaris.

Directiva 95/18/CE, de 19 de juny de 1995, sobre concessió de llicències a les empreses ferroviàries.

Directiva 2001/14/CE, de 26 de febrer de 2001, relativa a l'adjudicació de capacitat d'infraestructures ferroviàries, aplicació de cànons per la seva utilització i certificació de la seguretat.

*Elementos técnicos para la gestión de frecuencias en entornos complejos: Entornos Ferroviarios*. Col·legi Oficial d'Enginyers de Telecomunicació (COIT) – Grup de Noves Activitats Professionals.

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

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

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

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

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

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

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

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

**World** (Population 2015). United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/world\\_population\\_2015\\_wallchart.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/world_population_2015_wallchart.pdf)>

### Pàgines web (data de consulta: març de 2019)

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

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

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

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