



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Modelo de Prestación de Servicios ITS
de Valor Agregado

Aplicación a los Sistemas de Gestión de Aparcamiento

Luis Felipe Herrera Quintero



Tesis

Doctorales

www.eltallerdigital.com

UNIVERSIDAD de ALICANTE

TESIS DOCTORAL

**MODELO DE PRESTACIÓN DE
SERVICIOS ITS DE VALOR
AGREGADO**

**APLICACIÓN A LOS SISTEMAS DE GESTIÓN
DE APARCAMIENTO**

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

TESIS DOCTORAL

MODELO DE PRESTACIÓN DE
SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO
APLICACIÓN A LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE
APARCAMIENTO

Presentada por

LUIS FELIPE HERRERA QUINTERO

Dirigida por

DR. FRANCISCO MACIÁ PÉREZ

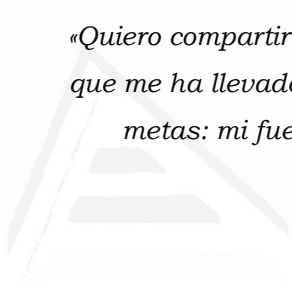
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA INFORMÁTICA Y COMPUTACIÓN

MARZO 2011

*Para mis padres con Amor
Gracias por apoyarme siempre*



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante



*«Quiero compartir con ustedes el secreto
que me ha llevado a alcanzar todas mis
metas: mi fuerza reside únicamente
en mi tenacidad.»*

Louis Pasteur

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Agradecimientos

En este apartado me gustaría expresar mi gratitud a todas aquellas personas que de una u otra forma me han apoyado directa o indirectamente para la realización de esta humilde investigación y que por su puesto han estado ahí en los momentos más difíciles.

En primer lugar me gustaría agradecer desde lo más profundo de mi corazón a mi familia por ello le digo a mi madre, a mi padre, a mi hermana y a Xavi, “Gracias” por ese apoyo constante, por su ayuda, por sus consejos y por siempre estar ahí cuando lo necesite, los quiero mucho a todos.

En segundo lugar me gustaría expresar mi gratitud hacia mi director de tesis. Gracias Paco por todos tus aportes, tus consejos, tu paciencia, tu ayuda, tu apoyo, por tu tiempo, tus críticas, gracias por todo Paco, sin ello aún no estaría escribiendo esta tesis.

Igualmente doy las gracias a mis compañeros del grupo de investigación por su ayuda, sus aportes, por su tiempo, sus comentarios y críticas. Gracias a Diego y a Virgilio los dos peras mayores del laboratorio y asimismo los dos pequeños Tolais, gracias chachos por todo. Gracias Héctor, Juan Carlos, José, Juan Antonio, a los Jorges, Adolfo, Zubi, y Antonio. De la misma forma agradezco a todos mis compañeros cubanos. También extiendo mi gratitud hacia los muchachos Alejandro, Jorge y Manuel por su aportación para la realización de este trabajo.

Este apartado lo dedico especialmente a mi amigo Felipe, mi compi de piso, mi llave, mi parce que desde que llego ha estado ahí siempre que lo necesitase “Parce muchas gracias por todo, a lo bien socio”, sabes que aquí tienes un amigo.

Agradezco también a Rafa que desde que iniciamos el doctorado hemos compartido grandes momentos, gracias Rafa por todo tu apoyo y aunque estés en Italia, estas palabras son para ti.

Agradezco también a todas las personas de los laboratorios de investigación por todos los momentos gratos y alegres que hemos pasado gracias a todos.

Doy las gracias de nuevo a todo el personal del departamento y por su puesto a su planta administrativa “gracias”.

Extiendo mi más sincera gratitud a la Unidad de Cooperación Internacional de la Universidad de Alicante y por su puesto a todo su equipo de trabajo ya que han sido el enlace internacional y logístico que me ha apoyado durante todo el proceso doctoral.

Alicante, Diciembre de 2010
Luis Felipe Herrera Quintero



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Resumen

La presente tesis propone un modelo para la prestación de servicios de valor agregado en el ámbito de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) y viene a enfrentar los problemas de integración, compatibilidad, interoperabilidad y escalabilidad que surgen por la gran cantidad de tecnologías que componen el escenario de los ITS. Esta situación provoca que los servicios de valor agregado puedan ser desplegados de forma sistemática y con unos costes asumibles tanto por fabricantes como por usuarios finales de los servicios.

Con el fin de cubrir el gran espectro de los ITS, la investigación sigue una metodología basada en diversas fases, la primera y la segunda, asociadas a la identificación y catalogación de las tecnologías y servicios ITS; la tercera, centrada en el desacoplamiento de tecnologías ITS y su posterior integración mediante nuestro modelo.

Para el desarrollo de las fases mencionadas han sido tomados en cuenta los principales estándares de los ITS con el fin de generar un modelo que de forma estandarizada contribuya a la prestación de servicios ITS de valor agregado. Por ello, para el desarrollo del modelo se aplican los nuevos paradigmas de computación orientados a la prestación de servicios, las normativas de ITS que conducen a la generación de un ambiente de servicios de forma normalizada, y las arquitecturas de ITS más relevantes que satisfacen las necesidades básicas del usuario de la red de transporte.

Al desarrollar el modelo se han identificado varios elementos que influyen de forma general en la prestación adecuada de servicios para los ITS tales como la Unidad de Carretera o RSU (Roadside Unit), las centrales de información de tráfico y los sistemas de usuario; de estos últimos destacamos, principalmente, los que poseen la cualidad de navegación satelital.

Con el fin de integrar, no sólo los elementos mencionados sino también la gran cantidad de sistemas ITS, es preciso resaltar que el modelo emplea soluciones altamente exitosas en el contexto de las tecnologías de la información y que en otros ámbitos han contribuido a la prestación de servicios. Por ello, el modelo toma de referencia las Arquitecturas Orientadas a Servicios (Services Oriented Architecture –SOA), con el fin alcanzar la compatibilidad, la interoperabilidad, la integración y la escalabilidad que necesitan los ITS para sus tecnologías y sus servicios.

De la misma forma, el modelo apunta hacia la especialización de los fabricantes de tecnologías ITS, entregando para ello las pautas más adecuadas que deben seguirse para alcanzar la prestación, el despliegue y la provisión de servicios dentro de la infraestructura de transporte.

Una de las grandes aportaciones de la investigación es la creación de un catálogo general de tecnologías y servicios ITS elaborado a partir del análisis de los estándares tecnológicos de los ITS. Por tanto, sirve de referencia para que los fabricantes de tecnologías empleen los elementos tecnológicos más apropiados para la creación de servicios ITS de valor agregado de forma estandarizada.

Del mismo modo, otra de las grandes aportaciones del modelo es la creación de un nuevo concepto para la unidad de carretera (RSU) el cual hemos llamado *Unidad de Carretera como Servicio* o *RSU_{AA}S* (RSU as a Service –RSU_{AA}S). Nuestra novedad es que la *RSU_{AA}S* incorpora el paradigma SOA, principalmente para generar un ambiente orientado a servicios para los sistemas de monitorización o vigilancia ubicados a lo largo de la carretera y, así, propiciar la creación de servicios ITS de valor agregado.

Para validar el modelo se ha propuesto un caso de estudio sobre la prestación de uno de los servicios ITS de gran relevancia para los usuarios de la infraestructura relacionado con los sistemas de aparcamiento. Para su desarrollo se han incorporado las tecnologías más apropiadas que permiten la generación y convergencia de servicios, logrando así avalar la capacidad de integración, interoperabilidad, compatibilidad y escalabilidad que posee el modelo.

Resum

La present tesi proposa un model per a la prestació de serveis de valor agregat en l'àmbit dels Sistemes Intel·ligents de Transport (Intelligent Transportation Systems —ITS) i ve a enfrontar els problemes d'integració, compatibilitat, interoperabilitat i escalabilitat que sorgeixen per la gran quantitat de tecnologies que componen l'escenari dels ITS. Aquesta situació provoca que els serveis de valor agregat puguin ser desplegats de forma sistemàtica i amb uns costos assumibles tant per fabricants com per usuaris finals dels serveis.

Amb la finalitat de cobrir el gran espectre dels ITS, la investigació segueix una metodologia basada en diverses fases, la primera i la segona, associades a la identificació i catalogació de les tecnologies i serveis ITS; la tercera, centrada en el desacoblament de tecnologies ITS i la seua posterior integració mitjançant el nostre model.

Per al desenvolupament de les fases esmentades han estat presos en compte els principals estàndards dels ITS amb la finalitat de generar un model que de forma estandarditzada contribuïska a la prestació de serveis ITS de valor agregat. Per això, per al desenvolupament del model s'apliquen els nous paradigmes de computació orientats a la prestació de serveis, les normatives de ITS que condueixen a la generació d'un ambient de serveis de forma normalitzada, i les arquitectures de ITS més rellevants que satisfan les necessitats bàsiques de l'usuari de la xarxa de transport.

AL desenvolupar el model s'han identificat diversos elements que influeixen de forma general en la prestació adequada de serveis per als ITS tals com la Unitat de Carretera o RSU (Roadside Unit), les centrals d'informació de tràfic i els sistemes d'usuari; d'aquests últims destaquem, principalment, els quals posseeixen la qualitat de navegació per satèl·lit.

Amb la finalitat d'integrar, no només, els elements esmentats sinó també la gran quantitat de sistemes ITS, cal ressaltar que el model empra solucions altament reeixides en el context de les tecnologies la informació i que en altres àmbits han contribuït a la prestació de serveis. Per això, el model pren de referència les Arquitectures Orientades a Serveis (Services Oriented Architecture —SOA), amb la fi arribar a la compatibilitat, la interoperabilitat, la integració i la escalabilitat que necessiten els ITS per a les seues tecnologies i els seus serveis.

De la mateixa forma, el model apunta cap a l'especialització dels fabricants de tecnologies ITS, lliurant per a això les pautes més adequades que han de seguir-se per a arribar a la prestació, el desplegament i la provisió de serveis dins de la infraestructura de transport.

Una de les grans aportacions de la investigació és la creació d'un catàleg general de tecnologies i serveis ITS elaborat a partir de l'anàlisi dels estàndards tecnològics dels ITS. Per tant, serveix de referència perquè els fabricants de tecnologies empen els elements tecnològics més apropiats per a la creació de serveis ITS de valor agregat de forma estandarditzada.

De la mateixa manera, altra de les grans aportacions del model és la creació d'un nou concepte per a la unitat de carretera (RSU) el qual hem cridat Unitat de Carretera com Servei o $RSU_{AA}S$ (RSU as a Service — $RSU_{AA}S$). La nostra novetat és que la $RSU_{AA}S$ incorpora el paradigma SOA, principalment per a generar un ambient orientat a serveis per als sistemes de monitoratge o vigilància situats al llarg de la carretera i, així, propiciar la creació de serveis ITS de valor agregat.

Per a validar el model s'ha proposat un cas d'estudi sobre la prestació d'un dels serveis ITS de gran rellevància per als usuaris de la infraestructura relacionat amb els sistemes d'aparcament. Per al seu desenvolupament s'han incorporat les tecnologies més apropiades que permeten la generació i convergència de serveis, assolint així avalar la capacitat d'integració, interoperabilitat, compatibilitat i escalabilitat que posseeix el model.

Abstract

The present thesis proposes a value added service delivery model focused on the field of Intelligent Transportation Systems (ITS) and comes to face the challenges of integration, compatibility, interoperability and scalability that arise ranging from the large number of component technologies belongs to the ITS scenario. This situation implies that in a systematic way the value-added services can be deployed with a reasonable cost either by manufactures or by the final users of the services

To cover the wide spectrum of ITS, research follows a methodology based on different phases, the first one and second one, associated with the identification and cataloguing of ITS technologies and its services, and the third one focused on the decoupling of the ITS technologies and its subsequent integration with our model.

In order to develop the phases mentioned above have been taken into account the main ITS standards to create a standardized model that contributes to the provision of value-added ITS services. In light of this, the model applies the most recent and advanced computing paradigms oriented towards the provision of services, the ITS standards that lead to the creation of an environment of services in a standardized way, and most important ITS architectures that satisfy the user needs. By developing the model, it has been identified several factors that influence in the adequate provision of services for ITS such as road side Unit (Roadside Unit), the central information traffic and the user systems, these latter, we emphasize mainly which have the satellite navigation features.

In order to integrate not only the elements above but also the large number of ITS systems is necessary to emphasize that the model employs highly successful solutions in the context of information technology and other areas have contributed to the

provision of services. Therefore, the reference model takes the Service-Oriented Architecture (SOA), to achieve compatibility, interoperability, integration and scalability needed by ITS for its technologies and services.

Likewise, the model focused towards the ITS technology manufacturers specialization in order to provide the most appropriate guidelines to be followed to achieve the provision, the deployment and the provision of services along the transport infrastructure.

One of the great contributions of the research is the creation of a general catalog of ITS technologies and services developed from analysis of ITS technology standards. Thus, it serves as a reference for manufacturers to employ technologies most appropriate technological elements to create value-added ITS services in a standardized way.

Similarly, another of the great contributions of the model is the creation of a new concept for the road side unit (RSU) which we call as a Road Side Unit as a Service (RSU – RSU_{aaS} as a Service). Our novelty is that this device incorporates the SOA paradigm primarily to generate a service-oriented environment for monitoring or surveillance systems located across the road and thus encourage the creation of value-added ITS services. To validate the model we have proposed a case study on the provision of one of the ITS services highly relevant to users of the infrastructure related to parking systems. To its development it has been incorporated the most appropriate technologies that allow the services generation and convergence, thus achieving the ability to endorse integration, interoperability, compatibility and scalability belonging to the model.

Contenido

CAPITULO PRIMERO	
<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
MOTIVACIÓN	1
ANTECEDENTES	5
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	9
HIPÓTESIS	11
OBJETIVOS	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
PROPUESTA DE SOLUCIÓN	12
NIVEL DE MONITORIZACIÓN	14
NIVEL DE NEGOCIO	14
NIVEL DE USUARIO	14
METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	16
CAPITULO SEGUNDO	
<u>ESTADO DEL ARTE</u>	19
EL TRANSPORTE	20
INTRODUCCIÓN	20
Tendencias mundiales de crecimiento del transporte	21
PANORAMA DE LAS TIC EN SUS INICIOS PARA EL SECTOR DEL TRANSPORTE	25

SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE (ITS)	28
SERVICIOS Y ARQUITECTURAS ITS	32
USUARIO ITS	37
SERVICIOS ITS	37
ARQUITECTURAS DE ITS	40
Arquitectura ITS de EEUU	41
Arquitectura ITS de Japón	43
Arquitectura Europea	46
TECNOLOGÍAS ITS	50
NORMALIZACIÓN DE LOS ITS	50
ISO	50
CEN	52
ETSI TC ITS	52
TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS DE A BORDO DEL VEHÍCULO	53
TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN EN RELACIÓN CON EL VEHÍCULO Y LA INFRAESTRUCTURA	56
TECNOLOGÍAS ITS DESTACADAS Y ESPECIALES	62
TECNOLOGÍAS DE NAVEGACIÓN Y SERVICIOS	63
Sistemas de Posicionamiento Global GPS	63
Sistema Europeo de Navegación Galileo	64
Sistema de Posicionamiento Ruso GLONASS	65
Sistema de Navegación CNSS COMPASS/Beidou	65
Limitaciones de los Sistemas de Navegación	66
Tecnologías de radio que apoyan a los sistemas de navegación para la provisión de servicios	67
TECNOLOGÍAS EMERGENTES	73
EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE SENSORES	75
Sensor Inteligente	77
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA REDES DE SENSORES	78
Tecnología Zigbee (IEEE 802.15.4) – Redes de Sensores	80
SISTEMAS OPERATIVOS (OS) PARA REDES DE SENSORES	82
TinyOS	82
Mantis OS	82
LiteOS	82
TECNOLOGÍAS ORIENTADAS A SERVICIOS	85
SERVICIOS EN LAS TI	88

Servicios Web	90
Servicios GRID	91
Servicios P2P	91
ARQUITECTURAS ORIENTADAS A SERVICIOS -SOA-	92
TECNOLOGÍAS ORIENTADAS A SERVICIOS Y SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE	93
CONCLUSIONES	98
CAPITULO TERCERO	
<u>METODOLOGÍA GENERAL DE INTEGRACIÓN DE TI EN LOS ITS</u>	101
NOMENCLATURA DE MODELADO PARA EL PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE LAS TI EN LOS ITS	103
Diagramas de proceso	104
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA Y SU METODOLOGÍA	106
FASE DE IDENTIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	110
FASE DE CATALOGACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	112
FASE DE DESACOPPLAMIENTO TECNOLÓGICO – MODELADO SOA	113
CONCLUSIONES	115
CAPITULO CUARTO	
<u>IDENTIFICACIÓN Y CATALOGACIÓN DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS</u>	117
ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS ITS	120
IDENTIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ITS	125
ARQUITECTURA ITS Y MODELADO	126
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO – BASES DE DATOS	126
SISTEMAS DE TARIFICACIÓN ELECTRÓNICA - PEAJES	126
GESTIÓN Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN DEL TRANSPORTE - COMPONENTE TRANSVERSAL RSU	127

SISTEMAS DE INFORMACIÓN AL VIAJERO – TECNOLOGÍAS RDS TMC, DAB Y DVB	128
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN, GPS Y GIS	128
COMUNICACIONES DEDICADAS DE CORTO ALCANCE O DSRC (DEDICATED SHORT-RANGE COMMUNICATIONS)	129
COMUNICACIONES DE ÁREA AMPLIA EN LOS ITS	131
CALM 2G: ISO 21212	131
CALM 3G: ISO 21213	132
3GPP LTE Long Term Evolution	132
CALM IR: ISO 21214	133
CALM M5: ISO 21215	133
IEEE 802.16- WiMAX	133
WAVE 802.11p	134
SISTEMAS DE USUARIO.	135
REDES DE SENSORES (WSN)	136
IDENTIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ITS	136
CORRELACIÓN ENTRE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS	141
ANÁLISIS DE LA PERSPECTIVA TECNOLÓGICA ITS PARA EL DESPLIEGUE DE SERVICIOS	149
CATALOGACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS ITS	151
CATALOGACIÓN DE LOS SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	155
CATÁLOGO GENERAL DE TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS	168
CONCLUSIONES	174
CAPITULO QUINTO	
<u>DESACOPLOAMIENTO TECNOLÓGICO Y MODELADO</u>	175
CAPA DE SERVICIOS	177
NIVEL DE MONITORIZACIÓN	178
NIVEL DE NEGOCIO	179
NIVEL DE USUARIO	180
CAPA DE COMUNICACIONES	181
NIVEL TRANSVERSAL DE COMUNICACIONES	182
PLANTEAMIENTO DEL MODELO VASITS_{DM}	184
PRIMERA INTERFAZ: NIVEL DE MONITORIZACIÓN Y EL NIVEL DE NEGOCIO	187

SEGUNDA INTERFAZ: CREACIÓN DE LOS SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	188
TERCERA INTERFAZ: NIVEL DE NEGOCIO Y NIVEL DEL USUARIO	190
CUARTA INTERFAZ: NIVELES DE MONITORIZACIÓN, NEGOCIO, USUARIO Y NIVEL TRANSVERSAL DE COMUNICACIONES	191
INTEGRACIÓN TECNOLÓGICA DE LOS ELEMENTOS ITS	192
Publicación	192
Descubrimiento	195
Consumo	196
CONCLUSIONES	200
CAPITULO SEXTO	
<u>ARQUITECTURA DEL SISTEMA</u>	203
ARQUITECTURA CONCEPTUAL	205
MÓDULO DE MONITORIZACIÓN - RSU _{AA} S	208
Capa de Servicios	209
Capa de Aplicaciones	211
MÓDULO DE GENERACIÓN DE SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO - CENTRALES DE INFORMACIÓN DE TRÁFICO	214
Capa de Servicios	216
Capa de aplicaciones	217
Contenedores de componentes para la RSU _{AA} S	220
Contenedores de componentes asociados al módulo de generación de servicios ITS de valor agregado	222
Despliegue de Componentes sobre el escenario ITS	226
CONCLUSIONES	227
CAPITULO SÉPTIMO	
<u>CASO DE ESTUDIO</u>	229
CAPA DE SERVICIOS	233
MÓDULO DE MONITORIZACIÓN	234

Plataforma de sensores	234
MÓDULO DE GENERACIÓN DE SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	246
CAPA DE COMUNICACIÓN	263
CONCLUSIONES	264
CAPITULO OCTAVO	
CONCLUSIONES	265
APORTACIONES	266
PUBLICACIONES	267
PROBLEMAS ABIERTOS	269
LÍNEAS FUTURAS	271
CONCLUSIÓN DEL PROCESO INVESTIGATIVO	273
REFERENCIAS	275
Universitat d'Alacant Universidad de Alicante	
APÉNDICES	303
LISTA DE ACRÓNIMOS	303

Figuras

Figura 1.	<i>Escenario ITS</i>	13
Figura 2	<i>Niveles Tecnológicos altamente acoplados en los ITS</i>	15
Figura 3.	<i>Propuesta solución para la prestación, integración y despliegue de servicios ITS de valor agregado</i>	16
Figura 4.	<i>Panorama de crecimiento del sector del transporte para el 2030 en la UE (European_Commission, 2008b)</i>	21
Figura 5.	<i>Tendencias de la actividad del transporte (personas-mercancías) según el modo de transporte en la UE.(European_Commission, 2008b)</i>	22
Figura 6.	<i>Crecimiento demográfico en EEUU y aumento de la cantidad de millas recorridas por los usuarios(US.DOT, 2008)</i>	23
Figura 7.	<i>Energía que será demandada por los medios de transporte (US.DOT, 2008)</i>	23
Figura 8.	<i>Evolución Histórica de los ITS a nivel Mundial (MLIT, 2004)</i>	27
Figura 9.	<i>Entorno de un sistema inteligente de transporte (ADVANTECH, 2009)</i>	28
Figura 10.	<i>Descripción general del COMeSafety (COMeSafety, 2006)</i>	31
Figura 11.	<i>Tendencia de crecimiento de los servicios de valor agregado con el impacto de los GNSS (Jenkins, B. & Boucher, 2007)</i>	34
Figura 12.	<i>Proyección de crecimiento de los servicios de valor agregado y su repercusión en los beneficios para el sector de los GNSS en el UK (Jenkins, B. & Boucher, 2007)</i>	35
Figura 13.	<i>Sistemas de Navegación vendidos en Japón desde 1997 (MLIT, 2010)</i>	36
Figura 14.	<i>Arquitectura ITS de EEUU (RITA, 2009b)</i>	42
Figura 15.	<i>Arquitectura ITS de Japón (ITS-JP, 1999)</i>	44
Figura 16.	<i>Arquitectura ITS Europea (Bossom, Richard. & Jesty,</i>	48

	2009a)	
Figura 17.	<i>Elementos tecnológicos a bordo del Vehículo que ofrecen servicios locales al usuario (Mecánica_Virtual, 2008)</i>	54
Figura 18.	<i>Central de información Tráfico</i>	60
Figura 19.	<i>Visión Global de CALM (Schalk, A. et al., 2007)</i>	61
Figura 20.	<i>Asignación de frecuencias en DSRC (Böhm M et al., 2008)</i>	62
Figura 21.	<i>Orientación a la navegación mediante Head Up display (Mancuso, 2009; Palmer, 2006)</i>	67
Figura 22.	<i>Cobertura del canal TMC en el mundo (Hendriks, 2009)</i>	68
Figura 23.	<i>DAB en el mundo (WorldDAB, 2010)</i>	70
Figura 24.	<i>Proyecciones de crecimiento de la tecnología HD radio (Brigdge_Rattings, 2007)</i>	72
Figura 25.	<i>Pronósticos de crecimiento de las WSN (ABI, 2009)</i>	75
Figura 26.	<i>Diagrama de un Sensor Inteligente</i>	77
Figura 27.	<i>Topologías utilizadas por las redes de sensores inteligentes (Baronti et al., 2007)</i>	81
Figura 28.	<i>Ranking de la penetración de las Tecnologías de la sociedad de la información y las comunicaciones en el mundo (WEF, 2009)</i>	86
Figura 29.	<i>Contexto Mundial del sector de software y servicios (Garbajosa et al., 2008)</i>	86
Figura 30.	<i>Usuarios de Internet en el mundo por regiones geográficas (IWS, 2010)</i>	87
Figura 31.	<i>Pronósticos del incremento del desarrollo de software orientado a servicios entre el año 2002 y 2015 (ITEA2, 2009)</i>	87
Figura 32.	<i>Escenario basado en Servicios (Huhns & Singh, 2005)</i>	89
Figura 33.	<i>Notación de Erickson y Penker para la diagramación de procesos</i>	106
Figura 34.	<i>Metodología general de integración de las TI en el ámbito de los ITS</i>	108
Figura 35.	<i>Metodología para el desarrollo la fase de identificación de tecnologías y servicios ITS</i>	111
Figura 36.	<i>Metodología para el desarrollo de la fase de catalogación de tecnologías y servicios ITS</i>	112
Figura 37.	<i>Metodología para el desarrollo de la fase de desacoplamiento tecnológico – Modelado SOA</i>	113
Figura 38.	<i>Análisis de las normativas en el espectro ITS</i>	120
Figura 39.	<i>Identificación de las tecnologías ITS</i>	125
Figura 40.	<i>Identificación de los servicios ITS</i>	137
Figura 41.	<i>Correlación entre tecnologías y servicios ITS</i>	142

Figura 42.	<i>Determinación de las formas de catalogación de las tecnologías ITS</i>	151
Figura 43.	<i>Taxonomía de Tecnologías ITS</i>	154
Figura 44.	<i>Determinación de las formas de catalogación de los servicios ITS</i>	155
Figura 45.	<i>Ámbitos de los Servicios: primario y secundario</i>	157
Figura 46.	<i>Taxonomía de los servicios ITS</i>	167
Figura 47.	<i>Catálogo general de las tecnologías y servicios ITS</i>	168
Figura 48.	<i>Desacoplamiento tecnológico</i>	176
Figura 49.	<i>Propuesta de desacoplamiento de las tecnologías ITS</i>	177
Figura 50.	<i>Planteamiento de la capa de servicios</i>	178
Figura 51.	<i>Planteamiento de la capa de comunicaciones</i>	182
Figura 52.	<i>Tecnologías ITS desacopladas por capas y niveles</i>	183
Figura 53.	<i>Planteamiento del modelo VASITS_{DM}</i>	184
Figura 54.	<i>Propuesta del modelo débilmente acoplado a través del paradigma SOA</i>	186
Figura 55.	<i>Diagrama de secuencia: fases de publicación, descubrimiento y consumo de servicios</i>	198
Figura 56.	<i>Arquitectura generalizada y compacta del modelo VASITS_{DM}</i>	206
Figura 57.	<i>Arquitectura conceptual generalizada para el modelo VASITS_{DM}</i>	208
Figura 58.	<i>Arquitectura conceptual para las RSU_{AA}S</i>	209
Figura 59.	<i>Arquitectura conceptual del módulo de generación de servicios ITS de valor agregado</i>	215
Figura 60.	<i>Arquitectura conceptual de componentes distribuidos para el cliente VANET</i>	221
Figura 61.	<i>Arquitectura conceptual de componentes distribuidos para el cliente web</i>	222
Figura 62.	<i>Arquitectura conceptual de componentes distribuidos para los sistemas de navegación</i>	223
Figura 63.	<i>Componente conceptual para el sistema de Navegación o OBU avanzada</i>	224
Figura 64.	<i>Componente conceptual para el intercambio de Servicios ITS de valor agregado con entidades ITS o sistemas corporativos</i>	224
Figura 65.	<i>Componente conceptual para los VMS</i>	225
Figura 66.	<i>Despliegue de Componentes distribuidos para el modelo VASITS</i>	226
Figura 67.	<i>Plataforma MICAz y placa de instrumentación MTS310</i>	235

Figura 68.	<i>Escenario de despliegue de la WSN en el aparcamiento de la Escuela Politécnica I, II y III de la Universidad de Alicante</i>	236
Figura 69.	<i>Herramienta Xsniffer empleada para adquirir el tráfico de la red de sensores</i>	239
Figura 70.	<i>Topología 1 de la red de sensores desplegada en el aparcamiento de la Politécnica I II y III empleando la herramienta Moteview</i>	239
Figura 71.	<i>Topología 2 de la red de sensores desplegada en el aparcamiento de la Politécnica I II y III</i>	240
Figura 72.	<i>Relación entre la radio de transmisión y la potencia usada por el nodo sensor</i>	240
Figura 73.	<i>Dispositivo MOXA como WSN-RSU_{AA}S</i>	243
Figura 74.	<i>Diagrama entidad relación del sistema de base de datos para el servicio sustentado por la RSU_{AA}S</i>	245
Figura 75.	<i>Diagrama UML del Servicio de consulta de plaza</i>	248
Figura 76.	<i>Servicio Web ofrecido desde la RSU_{AA}S</i>	249
Figura 77.	<i>Respuesta de la RSU_{AA}S para el servicio de Consulta de plazas de Aparcamiento</i>	250
Figura 78.	<i>Cliente de Servicios Web para evaluar la RSU_{AA}S</i>	251
Figura 79.	<i>Centro de Generación de Servicios ITS de Valor Agregado</i>	252
Figura 80.	<i>Entorno de la aplicación desarrollada para sustentar los Servicios ITS asociados a los sistemas de Aparcamiento</i>	253
Figura 81.	<i>Diagrama de clases de la aplicación</i>	254
Figura 82.	<i>Publicación de Servicios ITS de Valor agregado desde la Aplicación</i>	255
Figura 83.	<i>Inspección del registro UDDI para los servicios ITS de valor agregado</i>	256
Figura 84.	<i>Detalles del servicio ITS de valor agregado asociado al descubrimiento de plazas libres de aparcamientos</i>	256
Figura 85.	<i>Gestión para el sistema de monitorización empleado (WSN), configurando la potencia del nodo 442 a través de SOA</i>	257
Figura 86.	<i>Respuesta de la RSU_{AA}S ante los servicios de Gestión</i>	258
Figura 87.	<i>Entorno de la aplicación incluyendo Google Maps para desplegar los servicios ITS de valor agregado</i>	259
Figura 88.	<i>Entorno de la aplicación para los dispositivos móviles PDA, Consumir el Servicio ITS de valor agregado</i>	260
Figura 89.	<i>Diagrama de clases de la aplicación ITSParking</i>	261
Figura 90.	<i>Escenario Global de implementación</i>	263

Tablas

Tabla 1.	<i>Pronósticos de la construcción Ferroviaria en el Mundo en billones de dólares (OCDE, 2007)</i>	24
Tabla 2.	<i>Servicios ITS según la ISO-TC204 (ISO_14813, 2007a)</i>	38
Tabla 3.	<i>Servicios ITS según la Arquitectura Nacional ITS de los EEUU (ITERIS, 2008b)</i>	42
Tabla 4.	<i>Servicios ITS según ITS Japón(ITS-JP, 1999)</i>	45
Tabla 5.	<i>Áreas Funcionales y funciones – Arquitectura ITS Europea (E-FRAME, 2004a)</i>	47
Tabla 6.	<i>Grupos de trabajo del comité ISO TC204(ISO_TC204, 2009)</i>	51
Tabla 7.	<i>Grupos de trabajo del comité TC 278 del CEN</i>	52
Tabla 8.	<i>Grupos de trabajo del comité TC ITS de ETSI</i>	53
Tabla 9.	<i>Algunos sistemas de Abordo</i>	53
Tabla 10.	<i>Tecnologías Inalámbricas en WSN (Kuran & Tugcu, 2007) (Mannion, 2006) (IEEE, 2005) (Gungor & Lambert, 2006) Plataformas de Nodos Sensores(Can Basaran et al., 2007; Hill, 2000; Hollar, S. E.-A., 2000; Hollar, S. E. A., 2000; Nachman et al., 2008; Sikka et al., 2007)</i>	80
Tabla 11.	<i>Áreas del plan de acción Europeo para los ITS (European_Commission, 2008a)</i>	84
Tabla 12.	<i>Elementos utilizados en la representación de procesos propuesta por Ericksson y Penker.</i>	95
Tabla 13.	<i>Especificación TS 14813. MTPSITS</i>	105
Tabla 14.	<i>Equivalencias de los grupos de trabajo para los organismos de normalización ISO TC204 y CEN TC278</i>	118
Tabla 15.	<i>Comparativa e equivalencias de las normativas del WG1 y del WG13 enfocados a la Arquitectura ITS</i>	121
Tabla 16.	<i>Normativas y tecnologías IT, ISO TC 204</i>	123
Tabla 17.	<i>Áreas que contribuyen a la composición de servicios ITS (ITS-JP, 1999) (US.DOT, 2009) (E-FRAME, 2008)</i>	124
Tabla 18.	<i>Siglas del dominio del servicio</i>	137
Tabla 19.		138

Tabla 20.	<i>Servicios ITS específicos de valor agregado en cada área del transporte</i>	139
Tabla 21.	<i>Correlación entre Tecnologías y Servicios ITS</i>	143
Tabla 22.	<i>Catalogación Tecnológica según la PIARC</i>	152
Tabla 23.	<i>Catalogación Tecnológica según las Tecnologías de Comunicaciones</i>	153
Tabla 24.	<i>Catalogación de las Tecnologías ITS de comunicaciones y sus bondades</i>	154
Tabla 25.	<i>Catalogación de los servicios ITS de valor agregado según el ámbito del servicio</i>	159
Tabla 26.	<i>Catalogación de los Servicios de acuerdo a los parámetros fundamentales que persiguen los ITS</i>	163
Tabla 27.	<i>Servicios de Información al viajero (INFAV)</i>	165
Tabla 28.	<i>Catalogación de los servicios INFAV según el tiempo y lugar de utilización del servicio</i>	166
Tabla 29.	<i>Catálogo general de tecnologías y servicios ITS</i>	169
Tabla 30.	<i>Mecanismos de desacoplamiento para el nuestra propuesta VASITS_{DM}</i>	199
Tabla 31.	<i>Métrica de la red de sensores para determinar cuando el aparcamiento esta libre o ocupado empleando la topología 2.</i>	241

Capítulo Primero

Introducción

Motivación

Actualmente las Tecnologías de la Sociedad de la Información y Comunicaciones, también conocidas por sus siglas TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones), son, en esencia, una de las áreas investigativas que más apoyo tiene a nivel mundial debido a las transformaciones sociales que causan en todos los frentes económicos. Además, brindan a las sociedades un motor de competitividad y productividad tan efectivo que permiten llevar los mejores productos y servicios a todos los ámbitos de la escala social.

Uno de los ámbitos que más se beneficia con la incursión de las TIC es el sector del transporte; como tal, uno de los sectores más dinámicos para la sociedad dada su alta capacidad de crecimiento, transformación social e impacto económico.

Las TIC y el sector de transporte comenzaron su relación desde la década de los setenta y desde entonces, ha ido creciendo fuertemente, a tal punto que en el año de 1991 se consolidó una nueva área de investigación y desarrollo científico denominada Sistemas Inteligentes de Transporte o ITS (Intelligent Transport System), centrada en buscar, diseñar, implementar y desplegar soluciones tecnológicas que beneficien al sector de transporte y a sus usuarios (Courtney, 1997) (ITSA, 2009).

Los ITS tienen como objetivos principales: la protección del usuario a lo largo de la infraestructura de transporte, la solución a los problemas de movilidad, la disminución del impacto ambiental y el mejoramiento de la eficiencia (HIDO, 2004). Desde el punto de vista tecnológico, los ITS se refieren a un conjunto de herramientas basadas en software, hardware y tecnologías de comunicaciones que son combinadas para apoyar los distintos modos de transporte (carretera, aéreo, fluvial, férreo, etc.) y sus problemas asociados (Chowdhury & Sadek, 2003). Sin embargo, aunque el apoyo TIC ha permitido mejorar en gran parte los problemas mencionados, aún existen problemas abiertos que deberían ser resueltos o al menos mitigados en la menor brevedad.

En este sentido, los problemas asociados al transporte tales como la congestión, la eficiencia y la seguridad aún son altamente cuestionados, incluso empleando las TIC. Tal hecho es fácil de constatar si observamos las cifras asociadas a cada uno de los problemas mencionados por ejemplo, en el año 2009 más de 35.000 personas perdieron la vida mientras se desplazaban de un lugar a otro y más de 1.500.000 resultaron lesionadas causando costos económicos que ascendieron hasta los 130.000 millones de Euros (European Commission, 2010). Del mismo modo y cambiando de latitud, los problemas de congestión y eficiencia en Estados Unidos arrojan cifras alarmantes principalmente por los atascos de tráfico generados que representan hasta 4.200 millones de horas de retraso ocasionando que 29.000 millones de galones de combustible sean gastados y generando costos de hasta 80.000 millones de dólares (US.DOT, 2008)

En vista de tales cifras y demás problemas asociados, los gobiernos, los operadores de infraestructuras y las autoridades públicas a nivel mundial han ido proponiendo diversas soluciones. Desde la perspectiva Europea, recientemente ha sido planteado el plan de acción para el desarrollo de los ITS (European Commission, 2008a) junto con una gran propuesta tecnológica llamada E_FRAME (E-FRAME, 2008), actualmente en desarrollo, ambas, buscan disminuir los problemas de seguridad, movilidad y eficiencia. Desde la perspectiva Asiática, específicamente desde Japón, iniciativas tecnológicas tales como la arquitectura ITS japonesa (ITS-JP, 1999) y la reciente propuesta Smartway (Kanoshima & Hatakenaka, 2008), buscan de igual forma, soluciones a los problemas mencionados. Por último, desde la perspectiva Americana específicamente desde los Estados Unidos, se sigue trabajando y mejorando la Arquitectura

Nacional de los ITS (US.DOT, 2009) que atiende una gran cantidad de problemas asociados con el transporte.

No obstante, muchas de las soluciones propuestas han hecho uso de las TIC y han propiciado el desarrollo de multitud de soluciones tecnológicas, logrando disminuir los problemas mencionados. La cuestión es que todo este desarrollo ha ocasionado que la infraestructura de transporte albergue actualmente múltiples plataformas tecnológicas heterogéneas ITS que lastimosamente, no son compatibles entre sí, generando entonces, varios de los mayores problemas a los que se enfrenta el sector de los ITS y son: la baja interoperabilidad, la incompatibilidad, la poca escalabilidad y los bajos índices de integración que poseen sus sistemas tecnológicos ya que en su mayoría están compuestos por sistemas de propósito específico o por sistemas ad-hoc, altamente acoplados entre sí.

En este sentido, la integración, la compatibilidad, la interoperabilidad y la escalabilidad son aspectos clave para el desarrollo coherente de los ITS y por este motivo, los fabricantes de tecnologías se han visto obligados a crear diversas soluciones propietarias con el fin de integrar sus propios sistemas o algunos otros, con los sistemas desplegados a lo largo de la infraestructura ITS. Por lo tanto, tales aspectos de los ITS han sido lastrados, ocasionando que en la actualidad no sea posible integrar gran cantidad de los sistemas tecnológicos de forma coherente con los otros sistemas ITS.

Todo esto ha provocado que sea sumamente difícil crear una especialización por niveles de los fabricantes, que se puedan reutilizar fácilmente las propuestas y las tecnologías existentes, que sea muy complejo y costoso incorporar nuevas tecnologías a los servicios existentes a medida que estas van apareciendo y, por último, que los sistemas existentes tengan que ser rediseñados.

Lo anterior deja ver que el problema de cómo incorporar adecuadamente las TIC para proporcionar un soporte efectivo y sostenible en el tiempo a los ITS, es un problema al que ya se han tenido que enfrentar en un pasado reciente otros ámbitos de la sociedad. De esta forma, se reconocen ampliamente las grandes aportaciones que los modelos y arquitecturas e-Business han realizado en el mundo de los negocios y de la industria a lo largo de las últimas décadas.

En este sentido, las TIC deben apoyar de forma más general y coherente a los ITS y más, cuando uno de sus principales retos

está relacionado con la prestación de servicios a los usuarios, tan es así, que si se logrará, disminuirían notablemente las cifras mencionadas.

Por este motivo, los organismos de estandarización relacionados con los ITS han comenzado a desarrollar una gran cantidad de propuestas que tienen como fin el despliegue de servicios. Sin embargo, dichos organismos, se ven al mismo tiempo enfrentados a que los futuros estándares tecnológicos incorporen la flexibilidad necesaria para que sea posible la prestación de múltiples servicios a través de múltiples plataformas ITS que funcionaran en los distintos países (ITU-T, 2008).

Servicios importantes de los ITS tales como los que proporcionan información fiable sobre las condiciones del camino, atascos, trabajos sobre la vía, nivel de lluvia, intensidad de niebla, carreteras resbaladizas, conducciones en sentido contrario, derrumbes, adelantamiento de vehículos, prevención de accidentes, localización de aparcamientos y así sucesivamente, podrían ser desplegados al usuario, siempre y cuando, se aplicaran los modelos adecuados.

Según esta perspectiva y dada la complejidad añadida de todos los sistemas que conforman los ITS, se hace necesario decir, que el modelo tradicional de prestación de servicios de los ITS aún presenta eslabones bastante débiles para alcanzar la prestación de servicios de forma coherente y esto se debe a la gran diversidad tecnológica que compone la infraestructura ITS.

En este trabajo de Tesis doctoral, la motivación principal nace entonces de la ausencia clara de un modelo general que permita integrar las diversas plataformas tecnológicas que componen los ITS, más específicamente en la incorporación de nuevas plataformas tecnológicas emergentes y plataformas inteligentes de navegación que promuevan la prestación de servicios de forma adecuada.

Además, otra de las grandes motivaciones para la realización de esta investigación surge del impacto que están teniendo las nuevas soluciones en TIC enfocadas a la prestación de servicios y que tienden a aplicarse al sector ITS. Como lo argumenta la consultora Gartner, el 80% de las iniciativas en tecnologías de información o TI estarán orientadas a la prestación de servicios y las nuevas tecnologías emergentes supondrán un beneficio transformacional para la gestión de la información en las empresas y en los gobiernos (Hotle M *et al.*, 2009).

Por lo tanto, en la presente Tesis Doctoral, proponemos aplicar metodologías, en especial, las basadas en la Arquitectura Orientadas a Servicios, similares a las que en otros ámbitos han logrado soluciones exitosas para proponer, un modelo basado en servicios que permita la integración y el aprovechamiento de las TI en el ámbito de los ITS, con el fin de alcanzar la prestación de servicios de valor agregado y así, generar un escenario donde se propicie, la especialización de los fabricantes, la incorporación de nuevas tecnologías, su interoperabilidad, su compatibilidad, su integración, y por último, su expansión teniendo en cuenta las tecnologías actuales y los servicios existentes.

Antecedentes

En la actualidad las Naciones impulsan de manera dinámica la investigación y el desarrollo de los ITS ya que desde esta área se desprenden un gran número de beneficios y servicios que logran elevar, no sólo, la seguridad y calidad de vida de los usuarios, sino que también mejoran la movilidad y la economía nacional.

Todo esto puede constatararse al ver la cantidad de proyectos que, por ejemplo para el caso Europeo, están siendo apoyados a través de los programas marco. Proyectos como (COOPERS, 2006), (CVIS, 2006), (SAFESPOT, 2008), (SEVECOM, 2006), (GEONET, 2008), (E-FRAME, 2008), (PREDRIVE-2-C2X, 2008), (MARTA, 2007) y (OASIS, 2009) pretenden garantizar, la seguridad y la movilidad de los usuarios mediante el despliegue de servicios.

Es importante destacar que los proyectos mencionados están siendo integrados y consolidados a través de la iniciativa COMeSafety (COMeSafety, 2006), dedicada al estudio y al análisis de las diferentes soluciones ITS propuestas, con el fin de crear una arquitectura estándar para la elaboración y despliegue de los ITS y de sus servicios.

De la misma forma, el grupo directivo de los ITS (*Intelligent Transport Systems Steering Group* –ITSSG) (ITSSG, 2003), que tiene como función promover las directrices para la estandarización de tecnologías y el despliegue de servicios en todas las áreas involucradas en el transporte, sigue las mismas pautas que aboga el COMeSafety, por ello aboga por la elaboración de nuevos modelos y arquitecturas ITS que promuevan la prestación de servicios.

Es tal la importancia del ITSSG, que este organismo fue creado por la junta para la estandarización de las TIC (*Information and Communications Technologies Standard Board –ICTSB*)(ICTSB, 2001), formada por los más importantes organismos de estandarización ITS tales como: el Comité Europeo de Normalización (*European Committee for Standardization –CEN*), el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (*European Telecommunications Standards Institute –ETSI*), la Organización para la estandarización Internacional (*International Organization for Standardization –ISO*) y el Comité Europeo para la estandarización electrotécnica (*European Committee for Electrotechnical Standardization –CENELEC*), todos inclusive, miembros del COMeSafety.

A partir de esto se demuestra el interés depositado por las diferentes Naciones y Organismos de Normalización para contribuir mediante diversas soluciones a resolver los principales problemas de los ITS, lo cual, facilitará la prestación de servicios.

En este entorno, una de las áreas que más está impactando en el despliegue de tales servicios, de cara al usuario, son los sistemas de navegación, presentados actualmente como un equipamiento tecnológico orientado a proporcionar en su mayoría, información estática, pero que con la integración de las TIC, comienzan a ser capaces de ofrecer un valor agregado a los usuarios (COOPERS, 2006).

La penetración de los sistemas de navegación es tal, que actualmente hay más de 150 millones desplegados alrededor del mundo (Berg_Insight, 2009b), lo que significa que los usuarios cada vez se movilizan más y demandan servicios de localización cuando se desplazan de un lugar otro.

Además, analizando el crecimiento de tales sistemas, la Autoridad Europea de los sistemas de navegación (GSA, 2007), afirma que desde el año 2005 la venta de dispositivos de navegación personal (PND) se ha elevado a más de 20 millones y más de 180 millones de teléfonos móviles poseen capacidades de Sistema Global de Navegación por Satélite ó GNSS (Global Navigation Satelital System). Tal hecho hace que los sistemas de navegación comiencen a ser identificados como un elemento que puede ser empleado para la provisión de servicios mientras el usuario se desplaza a lo largo de la infraestructura de transporte.

Por si fuera poco, la consultora de mercado Berg Insight, afirma que el número de suscriptores de servicios de navegación crecerá

un 30% para el año 2015 tanto en Europa como en Norte América (Berg_Insight, 2009b) afianzando nuevamente que la provisión de servicios está por comenzar.

Paralelamente, si damos un vistazo al caso Japonés, los servicios de navegación están bastante avanzados ya que desde el año de 1997, los fabricantes de automóviles, en especial TOYOTA, decidieron implantar de forma masiva equipamientos de navegación en sus vehículos lo cual, contribuyó al mejoramiento de la calidad de vida, de la movilidad y de la seguridad de los usuarios. Concretamente para el caso japonés, en la actualidad hay instalados cerca de 40 millones de sistemas de navegación en los vehículos y operan mediante el Sistema de Información y Comunicación con el Vehículo llamado VICS (*Vehicle Information and Communication System –VICS*) (Takeuchi & Maeda, 2007) (MLIT, 2010) encargado este último, de desplegar servicios de navegación a los usuarios.

Por otra parte, la preocupación más grande para la prestación y el despliegue adecuado de servicios en el contexto ITS no únicamente ocurre del lado del usuario, sino también del lado de la infraestructura de transporte y de sus tecnologías, por lo que en este punto, la normalización tecnológica adquiere gran importancia para enfrentar de forma coherente la prestación adecuada de servicios (CVIS, 2006).

Por su parte, la expansión de las TIC ha producido nuevos enfoques tecnológicos emergentes para los sistemas desplegados a lo largo de la infraestructura, de forma que sean fácilmente integrables y compatibles sin tener que rediseñar los sistemas existentes. Una de estas soluciones pretende impactar fuertemente en los ITS y se trata de las redes de sensores inalámbricos (WSNs) que, según el comité internacional para estándares de las tecnologías de la información (INCITS) que trabaja conjuntamente con el comité técnico de ITS mas importante a nivel mundial es decir, el ISO/TC 204 (ISO_TC204, 2009), las ha establecido como una tecnología clave para el despliegue de servicios en el contexto general de los ITS.

En este sentido, paulatinamente dicha tecnología se ha ido incorporando a las soluciones ITS mediante proyectos tales como: (MESSAGE, 2006), (SAFESPOT, 2008), (TRACKSS, 2008), (EMMA, 2009), y (AWARE, 2009), pero aún es necesaria una más alta penetración y mayor capacidad de integración de las tecnologías involucradas y más, cuando se trata de ofrecer servicios al

usuario. El problema se enfoca entonces, en cómo integrar la gran cantidad de enfoques tecnológicos existentes y asimismo los enfoques tecnológicos emergentes para que sean adecuadamente explotados y aprovechados no sólo por los usuarios de la infraestructura sino por la infraestructura como tal lo cual, hasta ahora, no es posible.

En este sentido, la UE ha intentado abordar en varias ocasiones este problema mediante proyectos europeos tales como KAREN y E-FRAME (E-FRAME, 2008; KAREN_PROJECT, 1998) de los cuales se han obtenido muy buenos resultados pero aún sigue sin alcanzarse la integración tecnológica principalmente, porque muchos de los países miembro siguen optando por incorporar soluciones propietarias que no contribuyen a tal integración tecnológica ni a la prestación adecuada de servicios. Actualmente, la UE sigue intentando con el proyecto E-FRAME pero esta vez, mas centralizados en la prestación de servicios, concretamente en los servicios ofrecidos por los sistemas de navegación (Bossom, Richard. & Jesty, 2009a).

Lo anterior deja claro que los países buscan integrar sus propios servicios y tecnologías a base de sistemas propietarios que no contribuyen de forma adecuada a la integración general que demandan los ITS. Por lo tanto, esto debe ser revisado para que sus ITS no queden aislados de la red general de transporte y puedan atender a cualquier situación de forma simultánea (Tao *et al.*, 2005).

Partiendo de lo anterior, una de las propuestas que más ha comenzado a tener éxito en los contextos asociados a los ITS son las soluciones basadas en modelos e-Bussines, y por tal razón empiezan a ser considerados para su aplicación en los ITS (Shi *et al.*, 2007). En concreto, una de estas soluciones más exitosas es el paradigma de la arquitectura orientada a servicios (*Service Oriented Architecture –SOA*).

El paradigma SOA es una avanzada metodología que permite la construcción de sistemas tecnológicos distribuidos débilmente acoplados, basado en estándares y protocolos independientes de computación distribuida (Papazoglou *et al.*, 2007) por ello, se perfila como una gran alternativa que puede contribuir a la integración, la prestación y al despliegue de servicios a lo largo de las infraestructuras de transporte.

El paradigma SOA ha comenzado recientemente a ser incorporado paulatinamente al sector ITS, por ejemplo en

propuestas tales como las de (Sponziello, 2007) y (Zheng, 2007), se ha empleado para alcanzar la integración de diversas aplicaciones web que sustentan varios servicios ITS pero esto, sólo, es una de la pequeñas soluciones donde podría ser empleado.

Además, como manifiesta el plan de negocios de los ITS (ISO/TC_204, 2008), SOA es una alternativa para lograr la integración de los sistemas ITS por ello deben ser planteados nuevos estándares que lo incluyan para ver sus potencialidades.

En resumen, vemos que diversas soluciones ITS han sido planteadas para contribuir a la prestación de servicios y no pueden seguir realizándose de forma aislada sino que deben seguir parámetros de integración e estandarización para que de verdad, contribuyan a la prestación de servicios de forma generalizada. En este sentido, la UE es consciente de la importancia de la prestación de servicios en los sistemas de transporte ya que es un hecho que repercute directamente en el crecimiento de las economías de los países miembro y brinda beneficios transformacionales para la sociedad. Por lo tanto, para que el ofrecimiento de servicios sea sostenible en el tiempo, la UE ha comenzado a desarrollar recientemente el macro proyecto denominado Easyway (EasyWay, 2009) que de acuerdo a la literatura estará finalizado en el 2035 y apoyará el despliegue de servicios a lo largo de los países miembro.

De acuerdo a lo que ha sido expuesto en este apartado, se deja en claro que es necesario ofrecer aportaciones para integrar los diferentes escenarios de los ITS y más, si se busca la prestación y por consiguiente la convergencia de servicios, no sólo de cara al usuario sino también, de cara a las entidades ITS. Por lo tanto, se constata la ausencia de un modelo de prestación de servicios ITS de valor agregado que involucre de forma coherente la integración de las TI y la consideración de los aspectos clave anteriormente mencionados.

Identificación del Problema

De acuerdo con lo expuesto tanto en el apartado de motivación como en el apartado de antecedentes, puede deducirse que el ámbito general en el que se enmarca esta investigación es el de los ITS, concretamente en lo relacionado con la prestación, el

despliegue y la provisión de servicios de valor agregado a los usuarios de la infraestructura, entendiendo como servicios de valor agregado a todos aquellos servicios adicionales al posicionamiento, planificación de rutas, seguimiento y guiado para los que fueron concebidos y que suponen su razón de ser.

Los ITS al estar conformados por multitud de sistemas y tecnologías presentan una carencia general en diversos *aspectos clave* tales como su *interoperabilidad*, su *integración*, su *compatibilidad*, su *expansión* y su *escalabilidad* y esto se debe principalmente a que los fabricantes de tecnologías para este ámbito, han tenido que crear sus propios sistemas y protocolos para poder ofrecer soluciones más o menos acordes con los servicios demandados en cada país. Lo anterior ha llevado a que la integración de tales sistemas con otros, o incluso, con los mismos sea bastante compleja y aislada y más, cuando se trata de prestar servicios a los usuarios.

Por lo tanto, dichas soluciones han producido un escenario compuesto por multitud de sistemas de propósito específico (sistemas Ad-Hoc) y han provocado la creación de una gran madeja tecnológica a lo largo de la infraestructura de transporte que imposibilita la prestación adecuada de servicios a los usuarios. Tales sistemas son altamente dependientes entre sí y son difíciles de mantener en el tiempo por lo que resulta sumamente difícil incorporar nuevas tecnologías y nuevos servicios sin generar algún cambio que ocasione que los sistemas tengan que ser rediseñados.

Concretando, la investigación plantea aportar soluciones de carácter altamente genérico y de alto impacto, basadas en las TI, que permitan alcanzar los aspectos clave mencionados y por ende, la prestación adecuada de servicios. Asimismo, propone la incorporación de los nuevos enfoques tecnológicos orientados a la prestación de servicios ITS que contribuyan a alcanzar la especialización de los fabricantes.

Tales soluciones generarán la adopción de nuevos modelos de negocio orientados a la prestación, al despliegue y la provisión de servicios de valor agregado en el ámbito de los ITS, que, para su viabilidad, emplearan los mismos servicios ITS para su explotación, de forma que sean sostenibles económica y tecnológicamente.

Hipótesis

La hipótesis de partida se puede sintetizar en que si se logra identificar, catalogar y desacoplar los diferentes tipos de tecnologías y sus servicios pertenecientes al ámbito de los ITS, se podrán abordar por separado cada una de ellas lo que facilitaría la integración, la compatibilidad, la interoperabilidad, la expansión y la escalabilidad tanto de las tecnologías ITS como de sus servicios, contribuyendo así, a la especialización de los fabricantes. Lo anterior, permitiría la implantación de nuevos modelos de negocio, el despliegue de nuevos servicios de valor agregado, y la estandarización adecuada y coherente para enfrentar los problemas de la movilidad, de seguridad y de eficiencia reflejados a lo largo de la infraestructura de transporte.

Objetivos

El objetivo global de esta investigación consiste en definir un modelo de prestación de servicios ITS de valor agregado basado en patrones TI que involucre, la identificación, la catalogación y el desacoplamiento de los componentes tecnológicos presentes en los ITS y en consecuencia, produzca su integración adecuada, lo que permitirá, el despliegue y la provisión de servicios ITS de valor agregado a lo largo de la infraestructura de transporte.

Para su desarrollo se han planteado una serie de objetivos específicos que se exponen a continuación.

Objetivos Específicos

Realizar un profundo análisis para identificar las principales áreas sobre las que se desenvuelve el modelo propuesto teniendo en cuenta los problemas de interoperabilidad, compatibilidad, escalabilidad, y expansión tecnológica ocasionados por la diversidad de soluciones ad-hoc que minimizan el despliegue de servicios para los usuarios.

Proponer una metodología adecuada donde se facilite el desarrollo sistemático del modelo de prestación de servicios ITS de valor agregado y se garantice que el mismo contemple los principales estándares ITS y los principales paradigmas TI para la integración, la prestación y el despliegue de servicios a lo largo de

la infraestructura de transporte. Asimismo, la metodología debe contemplar las fases de identificación y catalogación tanto de las tecnologías como de los servicios presentes en los ITS, para luego obtener su correlación correspondiente.

Establecer un desacoplamiento tecnológico coherente que contribuya a la creación del modelo y su arquitectura y para ello deben ser tenidas en cuenta las principales propuestas, estándares ITS y los paradigmas e-business más relevantes.

Proponer, Implementar y Validar un caso de estudio para uno de los servicios ITS más significativos, especialmente, los relacionados con el problema de la última milla, donde los usuarios requieren constantemente el apoyo tecnológico por parte de la infraestructura de los ITS.

Propuesta de Solución

Para plantearla analicemos lo siguiente: El escenario de los ITS (ver Figura 1) alberga una gran cantidad de sistemas y tecnologías, y de ellos pueden ser destacados: los sistemas de mensajería variable (VMS), las redes de cámaras o circuitos cerrados de televisión (CCTV), las unidades de carretera (RSU), las redes celulares, las redes vehiculares (VANETs) (Boukerche *et al.*, 2008), las redes satelitales, las redes de sensores, los sistemas de gestión de tráfico, los sistemas peaje, y así sucesivamente. Tal escenario muestra cómo los distintos modos de transporte: aéreo, férreo, marítimo y vial están inmersos en una gran variedad de soluciones tecnológicas muy dependientes, heterogéneas y poco compatibles entre sí, ocasionado entonces, que en la mayoría de los casos, los servicios ITS no puedan ser prestados y desplegados a los usuarios.

Todo esto ha sucedido por la poca utilización de los estándares ITS y al mismo tiempo, porque no han sido incorporados de forma adecuada los nuevos paradigmas avanzados para la integración de las TI en el contexto de los ITS.

Si tomamos entonces tal escenario de referencia para el planteamiento del modelo es indudable su gran complejidad, por ello, es preciso que incorporemos las propuestas más importantes enfocadas a la organización de las infraestructuras de transporte con el fin de organizar adecuadamente las tecnologías mencionadas.

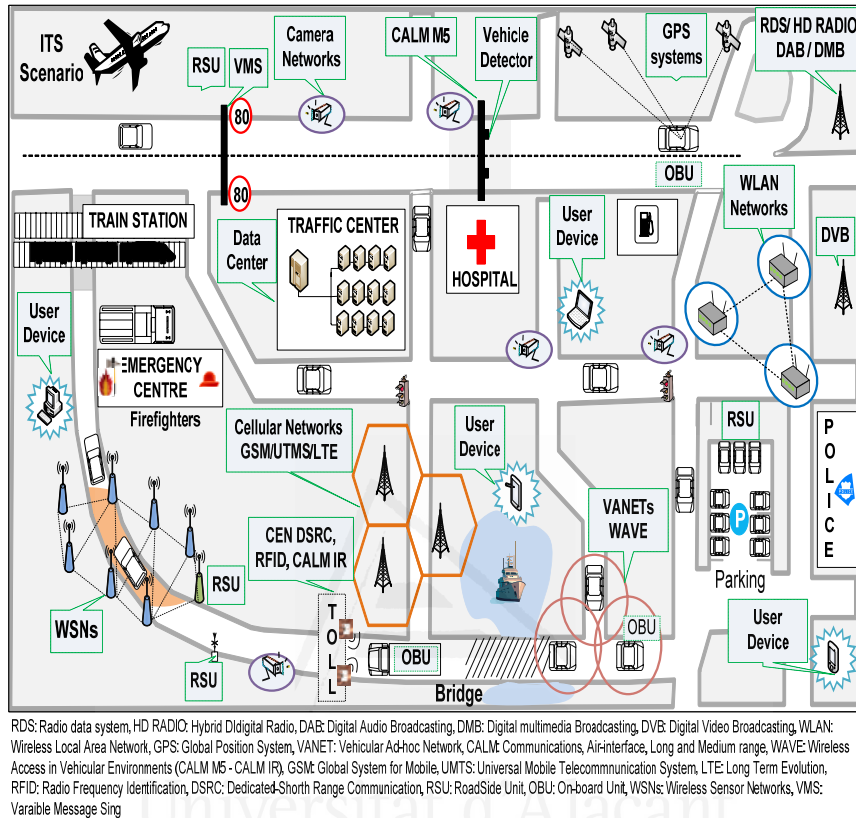


Figura 1. Escenario ITS

De esta forma, nuestra nueva propuesta incorpora los lineamientos planteados por la asociación mundial de la carretera (PIARC, 2004) los cuales, contemplan a las tecnologías ubicadas tanto del lado de la infraestructura como del lado del vehículo.

Según lo anterior, para abordar adecuadamente el problema mencionado, hemos diseñado una nueva propuesta para la organización de las tecnologías ITS basada en el planteamiento de diversos niveles tecnológicos que tienen como fin recoger, según su funcionalidad, los elementos tecnológicos ITS más representativos que contribuyan a la prestación de servicios ITS. Por tal motivo, se plantea la creación del Nivel de Monitorización, del Nivel de Negocio, y el Nivel de Usuario descritos de forma general a continuación.

Nivel de Monitorización

De acuerdo a nuestra propuesta, estaría compuesto por los sistemas que permiten de forma transversal la monitorización de variables dentro del entorno de los ITS, es decir, los sistemas de vigilancia de todo tipo de sucesos. Como caso particular, podrían encontrarse algunas tecnologías emergentes como las redes de sensores inalámbricos o las redes vehiculares ad-hoc denotadas ambas por el comité técnico ISO TC 204 como grandes alternativas que contribuyen a la provisión de nuevos servicios.

Nivel de Negocio

Estaría compuesto por los sistemas que procesan, almacenan, reciben y envían la información respectiva desde y hacia la infraestructura de transporte o a los vehículos u otras entidades relacionadas con los ITS (policía, emergencias, etc.). Del mismo modo, estaría basado en patrones de estandarización ITS y en patrones TI que faciliten la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Nivel de Usuario

Lo conformarían las tecnologías y las entidades que tengan el papel de usuario final con el fin de alcanzar nuevamente la prestación de servicios. Es de destacar que una de las tecnologías que toma mayor protagonismo en este nivel son todos aquellos dispositivos tecnológicos que posean la capacidad de embeber un sistema de navegación ya que de acuerdo al contexto de los ITS es imprescindible para alcanzar la convergencia de servicios (Jenkins, B. & Boucher, 2007) .

De acuerdo a lo que ha sido descrito es preciso destacar que los niveles mencionados están bastante acoplados y cohesionados lo que significa que las tecnologías que los componen están altamente entremezcladas y causan diversas intersecciones que son las que mitigan la prestación de servicios ITS de valor agregado (ver Figura 2).

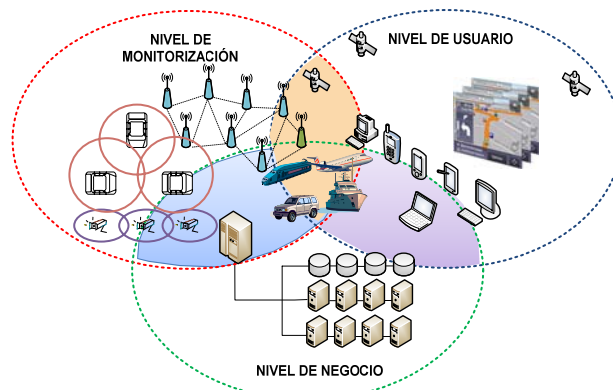


Figura 2. Niveles Tecnológicos altamente acoplados en los ITS

En este sentido, como propuesta de solución se plantea la creación de un modelo de prestación de servicios ITS que tenga como base la integración de sus elementos tecnológicos asociados y para ello, es preciso, primeramente, identificar y catalogar las tecnologías y sus servicios para luego, desacoplarlos adecuadamente (Ver Figura 3). El modelo debe incorporar los mecanismos adecuados basados en patrones TI que permitan alcanzar un acoplamiento débil entre las tecnologías y sus servicios, teniendo en cuenta, los estándares ITS para facilitar de forma general la provisión de sus servicios a lo largo de la infraestructura.

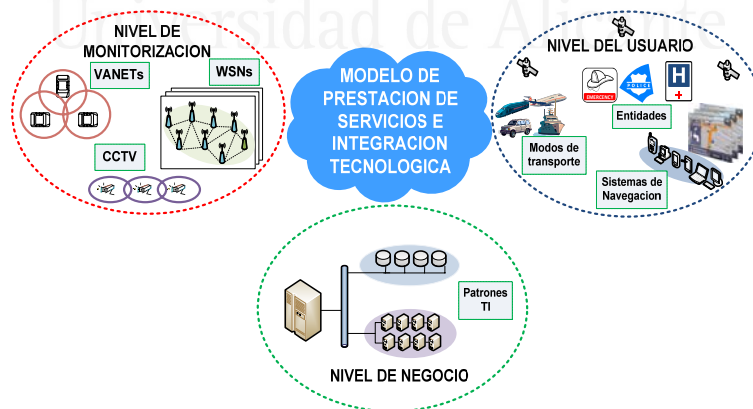


Figura 3. Propuesta solución para la prestación, integración y despliegue de servicios ITS de valor agregado

Metodología y Plan de Trabajo

La metodología empleada para el desarrollo de la presente investigación sigue el método científico por lo que mediante el planteamiento de la hipótesis y su desarrollo, se validará nuestra propuesta.

En ese sentido, la investigación planteada expone una hipótesis de partida a la cual se ha llegado mediante la observación y el análisis del ámbito general donde se ubica el problema de investigación, el cual, involucra los elementos más determinantes que son la base para el planteamiento de los objetivos de la investigación.

Los objetivos planteados, tanto el global como los específicos permiten subdividir la investigación en diversos frentes permitiendo abordar adecuadamente el problema de investigación.

Tales objetivos se apoyan entonces en los diversos métodos de investigación con el fin de generar la metodología adecuada para desarrollar la presente tesis doctoral. El primer objetivo que apunta hacia el estudio del estado del arte, centralizado en la observación y el análisis de los diferentes ámbitos en que se desenvuelve el problema de investigación y en concreto, en el estudio del marco general de los ITS y la forma en que son prestados los servicios ITS, emplea el método analítico concretamente, el método de observación científica para analizar e involucrar los distintos ámbitos que forman parte del objeto de estudio.

Para el segundo objetivo, enfocado en el planteamiento general de la metodología que conducirá la investigación, se emplea el método sintético y el método sistémico ya que ambos permiten abordar y ordenar los requerimientos que suscita el problema de investigación.

El tercer objetivo que apunta al establecimiento del modelo y su arquitectura emplean el método sistémico para modelar el objeto de estudio y así determinar los componentes que tomaran parte tanto en el modelo como en su arquitectura.

Finalmente el cuarto objetivo, enfocado a la implementación del sistema, emplea el método de experimentación para alcanzar la validación de la hipótesis de partida para la cual, se ha diseñado un caso de estudio sobre uno de los servicios más relevantes para

el sector del transporte específicamente, el asociado a los sistemas de gestión de aparcamiento ya que son una parte esencial para la movilidad, la seguridad y la eficiencia en los ITS.

Para desarrollar adecuadamente la metodología descrita, la presente tesis doctoral ha sido estructurada en los siguientes capítulos.

El capítulo 2 está destinado a la búsqueda de la información relacionada con los ámbitos expuestos en la definición del problema y a recoger desde una panorámica mundial, los últimos trabajos que han sido desarrollados en las distintas áreas que encierra la investigación.

El capítulo 3, presenta la metodología seguida para llevar a cabo la investigación. Como tal, expone las fases más relevantes que la componen es decir, la identificación y catalogación de las tecnologías y servicios ITS, el desacoplamiento tecnológico y el planteamiento nuestro modelo.

El capítulo 4, está centralizado en desarrollar las dos primeras fases de nuestra metodología, es decir, la identificación y catalogación de tecnologías y servicios ITS.

El capítulo 5 expone la propuesta de desacoplamiento tecnológico, la cual es utilizada para el planteamiento del modelo de prestación de servicios e integración tecnológica.

El capítulo 6, toma de base lo investigado en los capítulos 4 y 5 y tiene como objetivo plantear la arquitectura conceptual que sustentará nuestro modelo para que sea alcanzada la prestación de servicios ITS de forma coherente.

El capítulo 7, presenta el escenario de validación del modelo propuesto relacionado con uno de los servicios ITS más significativos, concretamente, con los sistemas de gestión de aparcamientos y sus servicios, problema altamente crítico según al plan de acción Europeo para el desarrollo de los ITS.

Finalmente, el capítulo 8 presenta las conclusiones y las principales aportaciones de este trabajo así como también, las futuras líneas de Investigación que se desprenden con la realización del mismo.

Capítulo Segundo

Estado del Arte

El presente capítulo tiene como objetivo la realización del estado del arte, perteneciente a nuestra propuesta general, resultando así fundamental para abordar de forma adecuada nuestro problema de investigación. La bibliografía que será revisada expone de forma coherente los trabajos y las últimas investigaciones que tienen alta similitud con el área en la que se enmarca nuestro trabajo.

La mayor área con la que se ve identificada nuestra propuesta es los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), concretamente en lo relacionado con la prestación, el despliegue y la provisión de servicios de valor agregado a los usuarios de la infraestructura.

En este sentido, en este capítulo serán analizadas las principales temáticas que forman parte del objeto de estudio con el fin de situar de forma adecuada nuestro problema de investigación.

Es importante destacar que los ITS es un área bastante extensa y compleja y por esta razón, abordaremos de forma general las temáticas más relevantes que contribuyan a la prestación de servicios en el escenario de los ITS.

Dentro de la bibliografía que será analizada, se han recogido tres temáticas fundamentales que resultan imprescindibles para el desarrollo de la propuesta y son: los servicios ITS, las tecnologías ITS, y las tecnologías orientadas a servicios. De tales temáticas, nuestro objetivo es extraer los parámetros más representativos, que contribuyan a la desarrollar nuestra hipótesis de solución.

Para tener un orden claro del desarrollo de la investigación, en primer lugar, será expuesta una breve introducción sobre la situación actual de los sistemas de transporte a nivel mundial y se analizará cómo las TIC han contribuido a su desarrollo. De igual forma, será analizado cómo los servicios originados en los sistemas de transporte constituyen el objetivo fundamental de los ITS.

En segundo lugar, serán analizadas de forma general las tecnologías ITS, destacando a los sistemas de navegación y las tecnologías emergentes como los elementos tecnológicos que más contribuirán a la convergencia de servicios ITS de valor agregado.

Por último, serán analizadas las tecnologías orientadas a servicios ya que desde la perspectiva mundial se están convirtiendo en el eje creciente y de apoyo que permite alcanzar, mediante efectivas soluciones en TI, los factores transformacionales requeridos por los sistemas de transporte para la convergencia de servicios.

El Transporte

Introducción

En las sociedades desde tiempos históricos uno de los sectores de mayor inversión por parte de las naciones es el transporte, que en general, es uno de los componentes que más aportan generación de riqueza a la sociedad.

El crecimiento económico y el comercio no se podrían llevar a cabo sin la ayuda del sector del transporte. Prácticamente ningún producto podría realizarse a menos que los insumos o materias primas puedan moverse desde y hacia diferentes lugares. Si no existiesen las carreteras, el ferrocarril, el transporte fluvial y transporte aéreo, los productos manufacturados no se podrían entregar a los consumidores, ni tampoco, una amplia variedad de servicios se llevaría a cabo. Por lo tanto, el transporte es uno de los elementos más representativos en la escala económico-social y juega un papel determinante para el crecimiento de la sociedad.

De acuerdo a los pronósticos realizados por el Banco Mundial, para el año 2050, la población mundial crecerá a 9000 millones y la mayor parte de este crecimiento ocurrirá en las zonas urbanas

de los países en desarrollo, donde, por ejemplo, el número de ciudades con más de un millón de habitantes aumentará en un 69 % (World_Bank, 2010). Además, se espera que esta expansión, unida a la globalización continua y a la liberalización comercial, incremente significativamente la demanda de transporte de personas y mercancías.

En consecuencia, los países en desarrollo han comenzado a realizar diferentes pronósticos asociados al sector del transporte con el objetivo de elaborar los planes adecuados que permitan a la sociedad, identificar las áreas más propensas que de una u otra forma, pueden dificultar su desarrollo. En este sentido, a continuación son analizadas las tendencias mundiales para el sector del transporte.

Tendencias mundiales de crecimiento del transporte

Desde la perspectiva Europea, la actividad del transporte es impulsada por el crecimiento económico, por las tendencias de la sociedad y por los flujos de transporte bilateral entre los estados miembro. Por tal razón, la Comisión Europea ha analizado que para que exista un desarrollo potencial del transporte y de sus servicios, es preciso analizar la evolución que tendrá el transporte de pasajeros, y el transporte de mercancías y cómo ambos repercutirán directamente en el crecimiento del producto interno bruto (ver Figura 4) (European_Commission, 2008b).

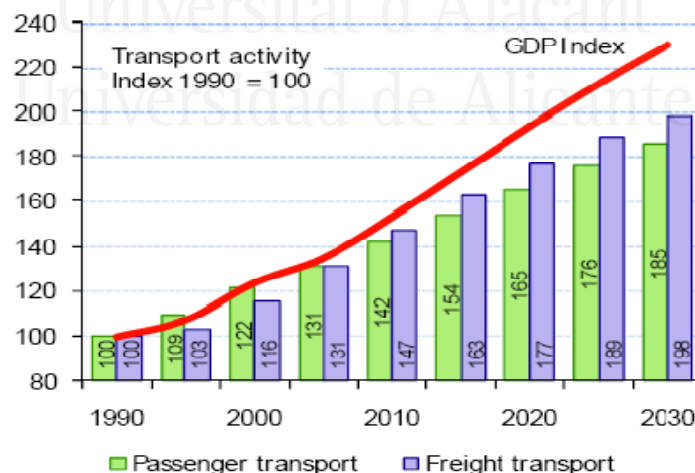


Figura 4. Panorama de crecimiento del sector del transporte para el 2030 en la UE (European_Commission, 2008b)

De acuerdo al crecimiento ilustrado por la Figura 4, los medios de transporte: Aéreo, Vial, Ferrero, y Fluvial-Marítimo, reaccionarán de forma diferente, dependiendo de la actividad del transporte realizada, ya sea, para el transporte de personas o transporte de mercancías así como lo ilustra la Figura 5 (European_Commission, 2008b).

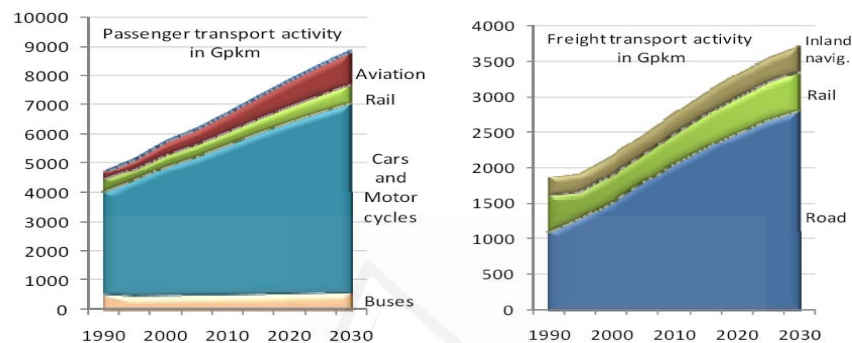


Figura 5. Tendencias de la actividad del transporte (personas-mercancías) según el modo de transporte en la UE.(European_Commission, 2008b)

La Figura 5 (parte izquierda), concluye que el transporte por carretera experimentará un crecimiento mucho mayor con respecto a los otros medios de transporte. Sin embargo, el transporte aéreo de viajeros tiende a aumentar de forma significativa debido a su velocidad y a las grandes distancias que este medio permite recorrer (European_Commission, 2008b). De la misma forma, la Figura 5 (parte derecha) presenta el crecimiento paulatino del transporte de mercancías, haciendo especial énfasis, en el aumento sustancial que tendrá el transporte por carretera y el aumento progresivo por medios férreos, marítimos o fluviales.

Según las tendencias ilustradas, la Comisión Europea ha concluido que el transporte de mercancías y el transporte de personas, incrementarán entre el año 2005 y el año 2030 a una tasa de 1,7 % y 1.4 % por año, respectivamente.

Si analizamos las tendencias en otros países, el Departamento de Transporte de los Estados Unidos prevé la utilización masiva de las infraestructuras de transporte, principalmente, a raíz del crecimiento demográfico futuro (Ver Figura 6 - derecha). Por lo tanto, los usuarios tenderán a aumentar las distancias ("Vehicle

Miles Traveled"-VMT) recorridas (Ver Figura 6 –izquierda) lo que implica una mayor utilización de los elementos que hay desplegados a lo largo de la infraestructura. (US.DOT, 2008).

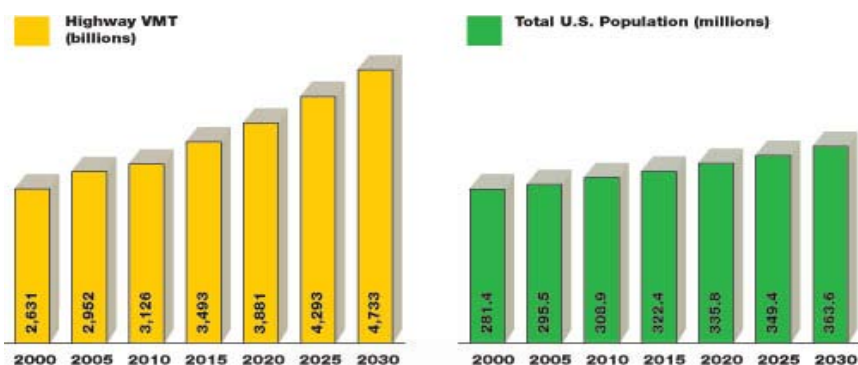


Figura 6. Crecimiento demográfico en EEUU y aumento de la cantidad de millas recorridas por los usuarios(US.DOT, 2008)

Igualmente, tal crecimiento, provocará un incremento notable en la utilización de recursos energéticos, a tal punto, de llegar a consumos de hasta 20,18 millones de barriles de petróleo un solo día (ver Figura 7) para todos los medios de transporte, representando casi un 25% más de lo consumido en la actualidad.

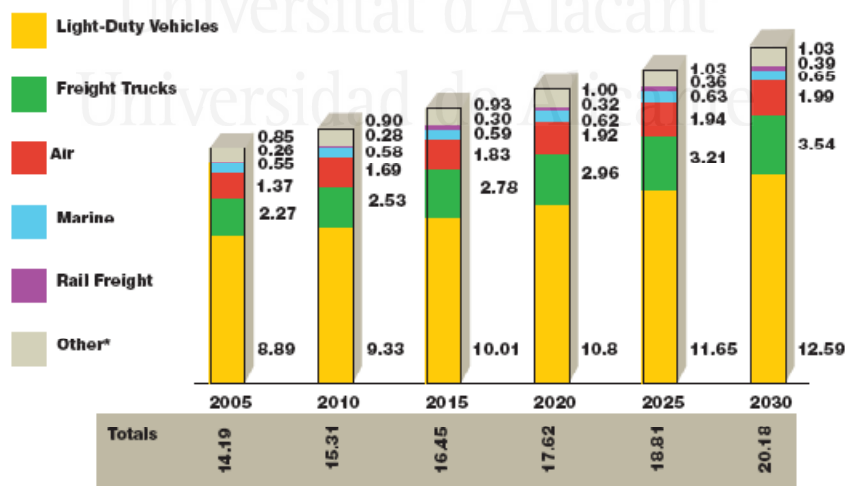


Figura 7. Energía que será demandada por los medios de transporte (US.DOT, 2008)

Por último analizando la perspectiva asiática, concretamente el caso Japonés, el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transportes y Turismo (MLIT) destaca un aumento significativo en el crecimiento de las redes de transporte férreas, aéreas, viales y marítimas, pero especial las férreas y aéreas (MLIT, 2007) dado que son los modos que más están permitiendo aliviar el tráfico. Para confirmar tal hecho, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) presenta las grandes inversiones que se suscitan en el ámbito ferroviario (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Pronósticos de la construcción Ferroviaria en el Mundo en billones de dólares (OCDE, 2007)

	2000 asset value	Construction value 2000-30	2030 asset value
High income industrialised	468.5	1 069	900.8
G7	329.7	679	583.2
United States	93.4	203	180.8
Japan	78.5	103	97.8
Germany	43.8	120	95.9
United Kingdom	24.8	54	44.9
France	28.0	78	61.6
Italy	46.3	83	72.0
Canada	14.9	37	30.2
Other – OECD	111.4	310	248.8
Europe and central Asia	84.0	246	194.1
East Asia and Pacific	22.0	46	39.4
North America (Mexico)	5.4	18	15.3
OECD industrialised	441.1	988	832.0
Non-OECD	27.4	82	68.8
East Asia and Pacific	1.6	15	12.5
Europe and central Asia	5.8	10	8.7
Latin America and the Caribbean	10.8	33	26.8
Middle East and North Africa	0.7	8	6.9
South Asia	–	–	–
Sub-Saharan Africa	8.6	16	13.6
Big Five	100.3	405	322.3
China	28.8	231	171.9
India	19.0	62	52.9
Brazil	7.4	30	24.3
Russian Federation	43.6	70	64.1
Indonesia	1.6	11	9.0
Developing	62.6	132	119.7
East Asia and Pacific	3.5	22	18.3
Europe and central Asia	30.5	43	39.8
Latin America and Caribbean	5.3	15	12.6
Middle East and North Africa	9.0	26	23.4
South Asia	4.1	14	13.0
Sub-Saharan Africa	10.3	13	12.6
World	631.4	1 606	1 342.8

Viendo el panorama creciente y la evolución que tendrán los sistemas de transporte, es indudable que es una de las áreas con mayor crecimiento y de gran responsabilidad para las naciones. Por ello, los servicios relacionados con el transporte toman una gran relevancia ya que enfrentan los problemas asociados a la movilidad, a la seguridad y a la calidad de vida de los usuarios. Tales problemas, actualmente presentan niveles críticos y tenderán a aumentar si no se toman las pautas adecuadas. Lo mejor de todo, es que desde hace mucho tiempo tales problemas comenzaron a abordarse mediante un gran aliado, es decir, las TIC, lo que permitió y aún permite mitigarlos de forma significativa. En este sentido, la Comisión Europea afirmó que las TIC son un elemento fundamental para el apoyo de los sistemas de transporte (TIC) (TEN-T, 2009).

A continuación, hemos recogido algunos de los antecedentes históricos de mayor relevancia que destacan a las TIC como el elemento fundamental para el desarrollo de los sistemas de transporte.

Panorama de las TIC en sus inicios para el sector del transporte

Las TIC, son participes inerciales en muchísimos cambios sociales y más para el sector del transporte, que de manera paulatina, las ha venido incorporando para su desarrollo. Lo anterior, puede demostrarse observando cómo las distintas sociedades comenzaron a involucrarlas para mejorar sus sistemas de transporte y para mejorar la seguridad de sus usuarios. Por ejemplo, desde los años setenta en Asia, y más específicamente en Japón, comenzaron a introducirse banalmente con el desarrollo del proyecto CACS (Comprehensive Automobile Traffic Control System) que se fundamentaba en el despliegue de un sistema de información avanzado que pudiera ayudar en la congestión del tráfico, seguridad y polución (Takaba, 1991). Siguiendo el mismo objetivo, otro de los proyectos que involucraban a las TIC fue el RACS (Road/ Automobile Communication system) (Takada *et al.*, 1989) que fomentaba la realización de un sistema de comunicaciones para los automóviles y los caminos.

No obstante, Asia no fue el único continente donde comenzó a crecer la utilización de las TIC para los sistemas de transporte sino que también, en América, y más propiamente en Estados

Unidos, comenzaron a desarrollar un sistema electrónico de orientación llamado (ERGS) que tenía por objetivo guiar a los motoristas para aliviar la congestión urbana (Rosen *et al.*, 1970).

Remontándonos algunos años después, uno de los hitos determinantes en la penetración de las TIC en los sistemas de transporte se da cuando la administración federal de autopistas (FHWA, 2007), crea un grupo de investigación alrededor de 1988 para desarrollar el concepto de Sistema de Información Avanzado para el Conductor o por sus siglas ADIS (Advanced Driver Information System) lo cual, las identificó como un grandísimo aliado que podría ser utilizado para mejorar los sistemas de transporte. Para llevar a cabo este concepto, se realizó un llamando a los diversos actores de la industria, la academia y el gobierno y al hacerlo, se estableció en ese entonces el proyecto Mobility 2000 en el año 1989 (Case, 1989). Dicho proyecto, propició la iniciación del área investigativa asociada a los Sistemas Inteligentes de Automóviles y Autopistas IHVS (Intelligent Vehicle/Highway Systems) donde las TIC eran el elemento fundamental y transversal.

La consolidación final de dicha área, viene en el año de 1991 cuando el departamento de transporte de Estados Unidos cambia el nombre de IHVS por el de *ITS América* (Intelligent Transportation Society of America) y que posteriormente, pasaría luego a ser conocido como Sistemas Inteligentes de Transporte o *ITS* (Intelligent Transportation System) (ITSA, 2009).

En esa misma década, la sociedad Europea también comenzó a introducir paulatinamente las TIC a los sistemas de transporte a partir de los trabajos de cooperación tecnológica abordados en el proyecto EUREKA (Stavenhagen, 1986). En este sentido, se dio origen a la creación del proyecto PROMETHEUS hacia el año de 1989, teniendo como fin proveer a Europa de un programa para el manejo de tráfico con la mayor eficiencia y una seguridad sin precedentes (Williams, M., 1988). Siguiendo este comienzo, en los años 90 fue desarrollado el programa DRIVE enfocado al mejoramiento de la seguridad en la carretera, al aumento de la eficiencia y a la disminución de la polución ambiental (Catling, 1988).

En este sentido, las TIC se convirtieron en un elemento imprescindible para el desarrollo de los sistemas de transporte pero a la vez, esto requirió que existiese un organismo activo que siguiera fomentando dicho crecimiento. Por lo tanto, en

noviembre de 1991 se creó ERTICO (European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization), organización del sector público y privado dedicada al mejoramiento de la infraestructura de transporte y conocida actualmente como ITS Europa que es el mayor representante de los ITS a nivel Europeo (European_Communities, 1994).

Todo lo que ha sido descrito, forma parte de los comienzos de las TIC en los sistemas de transporte desde los años 70s a los 90s y por esclarecer un poco el contexto histórico, presentamos la Figura 8 que ilustra en una pequeña línea de tiempo, los diversos proyectos elaborados a nivel mundial.

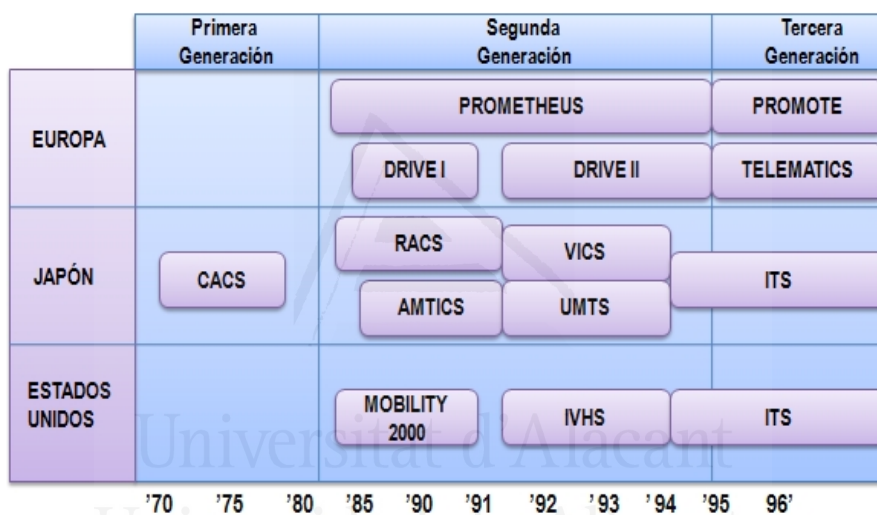


Figura 8. Evolución Histórica de los ITS a nivel Mundial (MLIT, 2004)

En consecuencia, a partir del impacto ocasionado por el desarrollo de los proyectos mencionados, los gobiernos han decidido seguir apoyando notablemente las propuestas relacionadas con el área de los ITS dado que resulta importantísima para el desarrollo económico de las naciones. Por ello, la Unión Europea a través de uno de sus comunicados, estableció un plan de acción para el despliegue de los ITS, vigente (European_Commission, 2008a) hasta el momento, y además, del que ya se están obteniendo algunos frutos como el de lograr establecer una política de integración general para la convergencia de servicios en los estados miembro, pero de la que aún faltan muchísimas cosas por resolver.

Hasta ahora, hemos visto algunos de los elementos fundamentales para el desarrollo de la investigación y en consecuencia, es el momento de abordar la revisión bibliográfica de la prospectiva actual de los ITS, donde se expondrá, la importancia que tiene la prestación de servicios ITS y la necesidad de buscar su convergencia.

Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

Los ITS se refieren a una gran variedad de herramientas y conceptos relacionados con las áreas de ingeniería, software, hardware y tecnologías de comunicaciones, aplicados de forma integrada a los sistemas de transporte para mejorar su eficiencia y seguridad (Chowdhury & Sadek, 2003) (Ver Figura 9). Los ITS aplican tecnologías avanzadas para encontrar soluciones a los problemas relacionados con los distintos medios de transporte, buscan paralelamente proteger el medio ambiente y generar sostenibilidad, y por último, y como más importante se focalizan en salvaguardar la vida humana (Figueredo *et al.*, 2001).

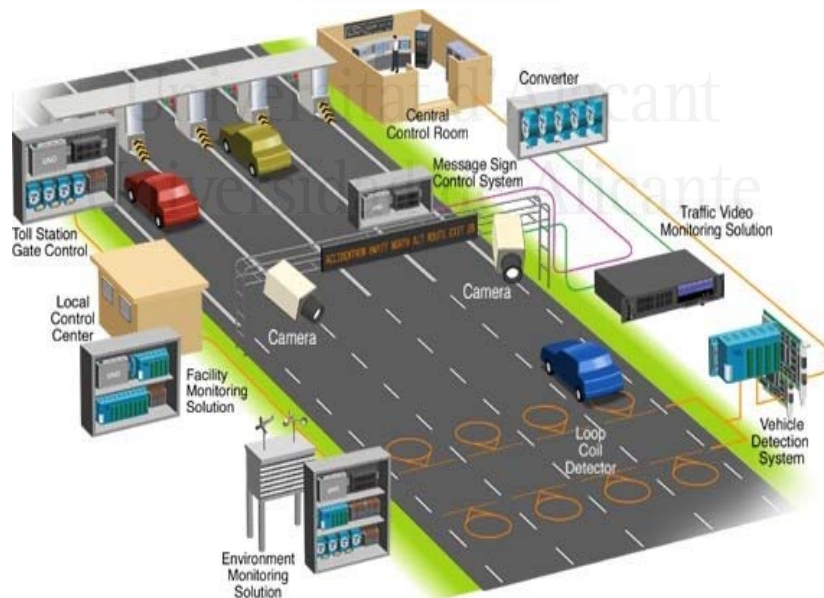


Figura 9. Entorno de un sistema inteligente de transporte (ADVANTECH, 2009)

Durante los últimos 10 años los ITS han tomado muchísima fuerza debido a los graves problemas asociados a la movilidad, a la congestión de tráfico, al impacto ambiental, al aumento de muertes en las carreteras, a la gestión de las mismas infraestructuras, al despliegue de servicios, a la heterogeneidad de tecnologías desplegadas y demás (HIDO, 2004), (Anagnostopoulos *et al.*, 2006) Por lo tanto, en relación a los problemas mencionados, describamos algunos parámetros estadísticos a nivel mundial, donde, se deja en claro, la necesidad de nuevos y mejores sistemas ITS que ayudan a solucionarlos.

Por ejemplo, si observamos el sector automovilístico en la Unión Europea, los costes de los atascos ascienden hasta 1% de su PIB representando entonces, 100 millones de euros por año y puede seguir creciendo sino se aplican los sistemas y modelos adecuados que ayuden a mitigar sus efectos (European_Commission, 2006).

De la misma forma, y trasladándonos al sector automovilístico Americano, concretamente al de los Estados Unidos, la congestión urbana asciende a 4200 millones de horas de retraso, generando un consumo adicional de 2900 millones de galones de combustible, lo que implica costes de 80000 millones de dólares por año (US.DOT, 2008).

Por otra parte, focalizándonos ahora en el problema del impacto ambiental, que viene dado a raíz del crecimiento de la movilidad donde uno de los mayores responsables es el transporte por carretera debido a la quema de combustibles fósiles (Yang *et al.*, 2009), en Europa, los índices de CO₂ se han incrementado en un 32% entre el año 1990 y 2004 (European_Commission, 2007b) dejando costes que ascienden hasta del 1.1 del PIB de la UE. Para el caso estadounidense, el 42% de las emisiones de CO₂ son a causa de la utilización del petróleo (EIA_U.S, 2010) concretamente del empleado por el transporte por carretera.

Partiendo de lo descrito, los gobiernos, los operadores de infraestructuras y las autoridades públicas recurren a diversas soluciones tecnológicas que de alguna u otra forma contribuyan a aliviar y mejorar los problemas mencionados y algunos otros de gran relevancia que no han sido mencionados.

En este sentido, la Comisión Europea fomenta las investigaciones en los ITS, empleado para ello grandes sumas de dinero que ascienden incluso, hasta los 300 millones de euros (TEN-T, 2009).

Algunas de las investigaciones relacionadas con esta área son impulsadas a través de los distintos programas marco. Por ejemplo, la UE apoya proyectos tales como (COOPERS, 2006), (CVIS, 2006), (SAFESPOT, 2008), (SEVECOM, 2006), (GEONET, 2008), (MARTA, 2007) y (OASIS, 2009) que han sido llevados a cabo para el mejoramiento de las infraestructuras de transporte y de sus servicios. A continuación, detallamos algunos de los proyectos mencionados.

COOPERS

Se encuentra enfocado a los sistemas cooperativos para la seguridad vial inteligente y específicamente se centra en el desarrollo de aplicaciones telemáticas innovadoras entre el vehículo y la infraestructura. Con su despliegue se busca reducir la brecha digital de la evolución de las aplicaciones telemáticas entre la industria del automóvil y la infraestructura de los operadores. Por lo tanto, pretende mejorar la seguridad vial, gracias a la utilización de distintos mecanismos que proveen información de tráfico sobre los tramos de la autopista.

CVIS

Su objetivo es diseñar, desarrollar y probar nuevas tecnologías que permitan a los vehículos comunicarse entre ellos y con el borde de la carretera para minimizar los problemas relacionados con la movilidad, seguridad de los viajeros y de bienes. Para lograrlo, han desarrollado recientemente diversos servicios ITS que beneficiarán a los conductores, operadores de infraestructura, empresas de ITS y otras partes interesadas y aún requiere más niveles de integración y despliegue dentro del contexto general de los ITS..

SAFESPOT

Tiene como fin, el diseño de sistemas cooperativos para mejorar la seguridad en las carreteras haciendo especial énfasis en las comunicaciones entre los mismos vehículos y de los vehículos con la infraestructura. Busca también, disminuir la tasa de accidentes de tráfico ofreciendo la detección con antelación de situaciones potencialmente peligrosas para el usuario.

GEONET

Su objetivo principal es implementar una especificación de referencia que permita intercambiar mensajes de seguridad vial entre los vehículos y a diferencia de los anteriores proyectos,

pretende desarrollar un sistema de direccionamiento geográfico y un protocolo de enrutamiento que sea capaz de soportar el estándar IPV6.

Cada uno de los resultados de los proyectos descritos, están siendo integrados y consolidados a través del foro COMeSafety (COMeSafety, 2006) (Ver Figura 10), que a su vez, sirve de plataforma para el intercambio de información, y el planteamiento de estándares ITS.

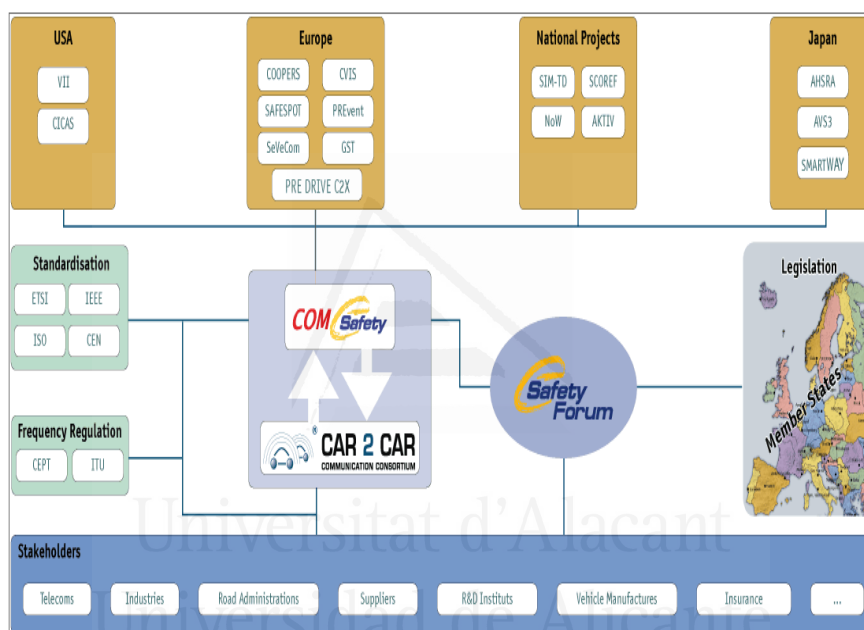


Figura 10. Descripción general del COMeSafety (COMeSafety, 2006)

En la Figura 10, se puede observar la estructura que sigue dicho foro, los proyectos ITS más representativos en la actualidad, algunos de los organismos de estandarización de los ITS, y los actores públicos y privados, representados como los interesados (Stakeholders). Por tanto, el COMeSafety actúa un organismo integrador, mediador y recopilador de información para lograr la convergencia de soluciones en ITS.

Por otra parte, otra de las cuestiones más importantes que abordan los ITS, está asociada con nuestro tema de investigación, es decir, con la prestación y despliegue de servicios ITS de valor

agregado para los usuarios y para confirmarlo, remitámonos al plan acción para el despliegue de ITS, expuesto por la Comisión Europea. (European_Commission, 2008a). En dicho plan, se ha subrayado que el despliegue de servicios ITS es un factor rotundamente clave para alcanzar no sólo, mayor seguridad en las carreteras sino también, un crecimiento económico-social para los estados miembro, o incluso si observamos desde otra latitud, el Departamento de transporte de los Estados Unidos a través de la agencia de investigación para la innovación tecnológica, infiere exactamente lo mismo, concluyendo que dicho despliegue es de gran preocupación para el desarrollo económico no sólo de algunas naciones sino también, del sector de transporte en general (RITA, 2008) (US.DOT, 2010).

En este sentido, en esta tesis doctoral, hemos identificado que uno de los grandes obstáculos que están impidiendo dicho despliegue de servicios, es la cantidad de propuestas tecnológicas que sustentan los servicios relacionados con el transporte y además, la falta de modelos, políticas y acuerdos claros, en relación con la integración de las tecnologías que los sustentan. Por lo tanto, a continuación analizaremos el impacto que tienen los servicios ITS de valor agregado a nivel general y de acuerdo a nuestra área de competencia, centrada en las TIC, expondremos su revisión bibliográfica con el objetivo de proponer nuestro modelo.

Servicios y Arquitecturas ITS

(Dado *et al.*, 2009) examina que uno de los factores determinantes para el despliegue de servicios de valor agregado en el contexto de los ITS ha sido el impacto que han tenido las TIC en las diferentes áreas del transporte. En este mismo sentido, (Soeren, 2009) destaca que uno de los temas que más atención tendrán a nivel científico por parte de la comunidad de los ITS son los servicios de valor agregado, proporcionados a los usuarios en tiempo de conducción. Además, la Comisión Europea ha identificado que el despliegue coherente de ITS provoca la creación de una gran variedad de servicios que si se gestionan y se ofrecen de forma adecuada permitirán el crecimiento económico de la UE, y al mismo tiempo, traerán consigo beneficios sociales a corto y mediano plazo (TEN-T, 2009).

En el contexto los ITS, existen una gran cantidad de elementos tecnológicos que están teniendo una alta repercusión en el crecimiento y despliegue de los servicios de valor agregado, por lo tanto, es muy importante destacar el papel desempeñado por los sistemas de navegación global por satélite ó GNSS (Global Navigation Satellite Systems-GNSS), dado que han proporcionado a los ITS una gran herramienta tecnológica para suministrar cierta información o servicios a su usuario mientras este se desplaza de un lugar a otro (Zito *et al.*, 1995). Además, dichos sistemas, según la autoridad de los GNSS Europea, están aportando al mercado más 40000 millones de dólares por año desde el año 2006 y esto tiende a incrementarse a más de 90000 millones de dólares para el año 2011 (GSA, 2009a), demostrando así, el crecimiento económico no sólo de este sector sino también, de los servicios relacionados con la navegación.

Los servicios de valor agregado comienzan a ser parte de grandes proyectos de la comunidad ITS, y muestra de ello, es la conformación reciente de la Asociación de Servicios para la Información al Viajero (Traveller Information Services Association-TISA) (TISA, 2009) que busca, generar mecanismos coherentes para su despliegue.

Paralelamente, el consumo de servicios de valor agregado en el ámbito de los ITS empieza a ocupar una gran cuota de mercado y para confirmarlo no es sino analizar lo que expone para el año 2020 la autoridad supervisora de los GNSS en relación con los dispositivos de navegación, afirmando que en dicho año habrán 3000 millones de dispositivos, lo que infiere que existirán una gran cantidad de dispositivos que traen consigo una gran cantidad de consumidores de los servicios asociados a la navegación (GSA, 2009b).

En mismo sentido, (Jenkins, B. & Boucher, 2007), expone, que los sistemas de navegación en el contexto de los ITS contribuyen al crecimiento de los servicios de valor agregado, haciendo referencia directa al crecimiento actual y futuro que están teniendo los servicios basados en la localización o LBS (Location Based Services) y como dichos servicios han comenzado a impactar el mercado de los GNSS (Ver Figura 11).

Otro de los factores culminantes que benefician el crecimiento de tales servicios es la cantidad de dispositivos móviles que tienen la

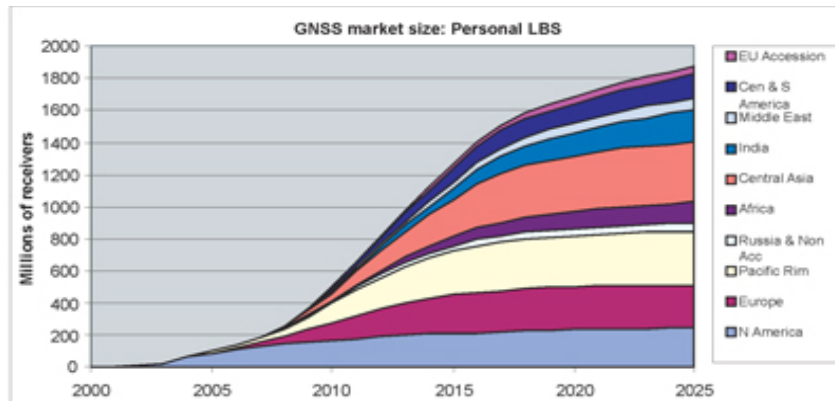


Figura 11. Tendencia de crecimiento de los servicios de valor agregado con el impacto de los GNSS (Jenkins, B. & Boucher, 2007)

capacidad de ser sistemas de navegación (GSA, 2010). Por ejemplo, desde la perspectiva Europea, según NAVTEQ, 35,8 millones de dispositivos con capacidades de sistema de navegación fueron vendidos en el año 2008, y de los cuales, 3 millones fueron instalados previamente en el automóvil (ANFAC, 2009).

Al ver tal hecho, la atención se dirige hacia los operadores móviles que en la actualidad están respondiendo mediante fuertes inversiones para desarrollar nuevas tecnologías que hagan viable la prestación de servicios. Incluso, se ha comenzado a analizar la alta demanda que van a desatar tales servicios en el sector del transporte, por ejemplo, según la consultora de mercado BERG INSIGHT, los suscriptores de servicios de navegación tienen un crecimiento proyectado del 42% en Europa y del 30% en Norte América para el año 2015 (Berg_Insight, 2009b). Al ver estos índices, la misma consultora concluyó que para el año 2014 habrá un mercado potencial de 960 millones de dispositivos con capacidades de sistemas de navegación los cuales pueden ser explotados mediante servicios asociados a la navegación (Berg_Insight, 2010).

Otro de las investigaciones que demuestra la tendencia de crecimiento de los servicios de valor agregado (GVA) es realizada por el Ministerio de transporte del Reino Unido (Ver Figura 12), donde se determinó que el impacto de tales servicios hará incluso aumentar de forma significativa la venta de los GNSS.

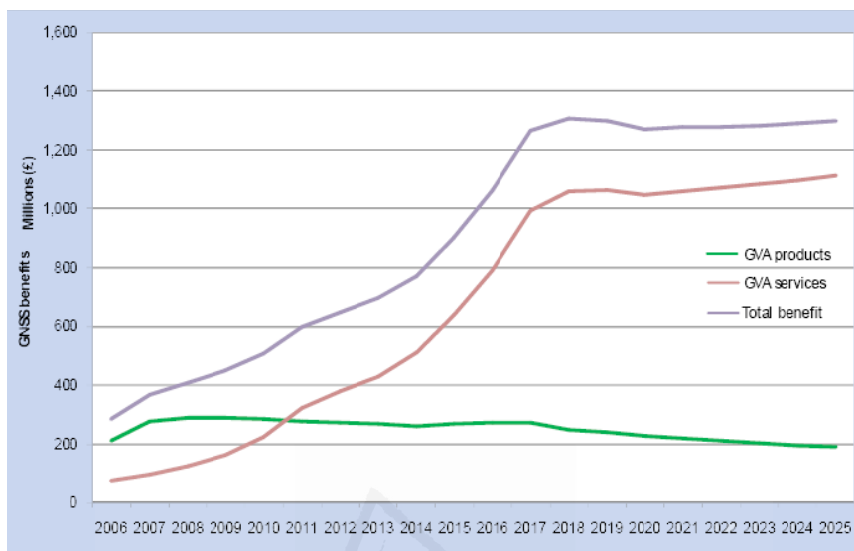


Figura 12. Proyección de crecimiento de los servicios de valor agregado y su repercusión en los beneficios para el sector de los GNSS en el UK (Jenkins, B. & Boucher, 2007)

De la misma forma, desde la perspectiva asiática, específicamente desde Japón, se demuestra de forma contundente que el crecimiento de tales servicios ha sido marcado por la temprana incursión de los sistemas de navegación (Tsugawa *et al.*, 1997) en el sector del transporte. Tan es así, que el Ministerio de Tierras, Infraestructura, Transportes y Turismo (MLIT), expone que la venta de sistemas de navegación ha alcanzado casi los 40 millones de dispositivos (Ver Figura 13), de los cuales, 26.7 millones, tienen adherido el sistema VICS (Vehicle Information and Communication System), enfocado al despliegue de servicios telemáticos de valor agregado (MLIT, 2010).

De igual manera, (Ringert *et al.*, 2006) revela que la UE no se ha mostrado ajena ante tales hechos, por lo que ha comenzado a impulsar el proyecto AGILE que está orientado a fortalecer las aplicaciones y servicios de valor agregado que podrían ser ofrecidas con el GNSS.

Resumiendo, como concluye (Mbiydzenyuy *et al.*, 2009), todos los sectores de las economías modernas se ven afectados por la fuerza que está tomando los servicios de valor agregado en el campo de los ITS y por el desarrollo de tecnologías de navegación por satélite.

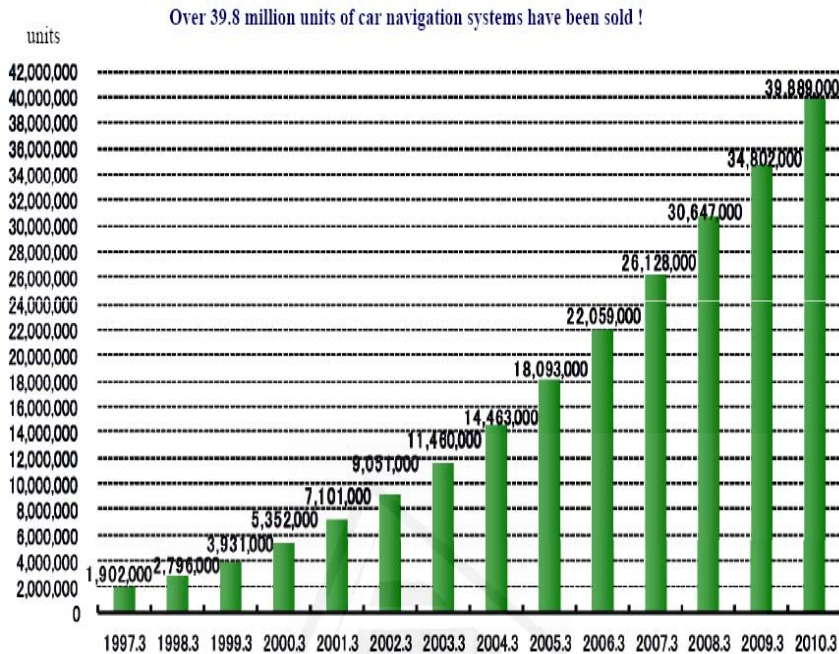


Figura 13. Sistemas de Navegación vendidos en Japón desde 1997 (MLIT, 2010)

Luego de ser expuesta la clara necesidad del despliegue de tales servicios, es preciso saber ¿cuáles son?, ¿cómo las tecnologías y arquitecturas actuales los sustentan?, y ¿por qué no se ha podido dar una convergencia coherente?, estas y otras cuestiones serán contestadas con el desarrollo de nuestra investigación.

Por lo tanto, para comenzar analizar de forma coherente los servicios ITS hemos consultado los principales organismos de estandarización relacionados con los servicios en el transporte. Por esta razón, se ha identificado que el grupo de trabajo uno (WG1) del comité técnico de ITS ISO/TC204 recoge las definiciones relacionadas con dichos servicios (ISO_TC204, 2009). Dicho grupo, es apoyado conjuntamente por las organizaciones ITS a nivel mundial, tales como ITS USA, ITS Japón, ITS Europa y algunas otras (ISO/TC_204, 2008), y tiene como objetivo, suministrar un modelo de arquitectura de referencia conceptual, donde se muestre la estructura e interrelaciones del manejo de la información en el campo de los sistemas de transporte (ISO/TC_204, 2008). Asimismo, suministra las definiciones apropiadas de la terminología ITS utilizada en los principales

diccionarios técnicos de la ISO sirviendo como base para el planteamiento de dichos servicios. Desde el punto de vista de la estandarización, dicho grupo, trabaja constantemente en la norma ISO 14813-1 de 2007 que establece la definición de los principales servicios y áreas de aplicación que pueden ofrecerse a los usuarios (ISO_14813, 2007a). En este sentido, para un mayor entendimiento de las partes involucradas en los ITS incluiremos las siguientes definiciones.

Usuario ITS

Según la norma técnica (ISO_14813, 2007a) un usuario ITS se define de la siguiente manera:

“Uno quien directamente recibe y puede actuar sobre los datos ITS o controlar productos”.

Nota: Un usuario ITS es quien recibe directa o indirectamente, o proporciona, la transacción de un servicio ITS; estos usuarios pueden ser humanos o sistemas o monitorización de ambientes.

Como plantea la norma (ISO_14813, 2007a), en general, los usuarios ITS son socios, uno quien recibe un servicio ITS a través de la interacción con un sistema ITS. Asimismo han sido descritos como “los que quieren beneficiarse de sistemas ITS, los que utilizan sistemas ITS, los que fabrican o operan sistemas ITS y los que regulan y controlan sistemas ITS”. Por definición, la interacción humana involucra actores externos interconectados en los límites del sistema.

Nota: Las interacciones humanas con un sistema ITS son algunas veces llamadas usuarios externos de ITS.

Servicios ITS

Un servicio ITS según la norma (ISO_14813, 2007a) se define de la siguiente manera: *“un servicio ITS es un producto o una actividad destinada a un tipo específico de usuario ITS”.*

Por último, la norma analizada expone que los servicios ITS son agrupados en varios sectores de actividad ITS representada por los dominios de servicios que serán descritos en breve. Los grupos de servicios no necesariamente especifican servicios ITS de forma concreta con el fin de permitir a los operadores de transporte (estados, municipalidades o autoridades) seleccionar

los servicios ITS específicos según la demanda de sus necesidades.

De acuerdo con las definiciones expuestas, los servicios propuestos por dicha normativa son de propósito común y pueden ser recogidos conjuntamente en 11 dominios de servicio ITS y por ende, en grupos de servicio (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Servicios ITS según la ISO-TC204 (ISO_14813, 2007a)

DOMINIO DEL SERVICIO (DS) Y SU DESCRIPCIÓN	GRUPO DEL SERVICIO (GS)
1. INFORMACIÓN AL VIAJERO (INFAV) <u>DESCRIPCIÓN</u> ÉSTE DOMINIO ESTÁ DESTINADO A LA PROVISIÓN DE INFORMACIÓN TANTO ESTÁTICA COMO DINÁMICA RELACIONADA CON LA RED DE TRANSPORTE Y SERVICIOS PARA LOS USUARIOS ANTES Y DURANTE EL VIAJE, ASIMISMO, PROPORCIONA HERRAMIENTAS PARA LOS PROFESIONALES DEL TRANSPORTE PARA RECOPIRAR, ARCHIVAR Y GESTIONAR LA INFORMACIÓN PARA LAS ACTIVIDADES FUTURAS	1.1 INFORMACIÓN ANTES DEL VIAJE
	1.2 INFORMACIÓN EN EL VIAJE
	1.3 INFORMACIÓN DE SERVICIOS DE VIAJE
	1.4 ORIENTACIÓN DE RUTAS Y NAVEGACIÓN ANTES DEL VIAJE
	1.5 ORIENTACIÓN DE RUTAS Y NAVEGACIÓN EN EL VIAJE
	1.6 APOYO A LA PLANEACIÓN DEL VIAJE
2. GESTIÓN DE TRÁFICO Y OPERACIONES(GTO) <u>DESCRIPCIÓN</u> ÉSTE DOMINIO ABORDA ESPECIFICAMENTE LA CIRCULACIÓN DE PERSONAS, MERCANCIAS Y VEHÍCULOS EN TODA LA RED DE TRANSPORTE, POR LO QUE INCLUYE LA MONITORIZACIÓN Y EL CONTROL DE ACTIVIDADES DE FORMA AUTOMÁTICA, ASÍ COMO LOS PROCESOS DE TOMA DE DECISIONES (AUTOMÁTICO Y MANUAL) QUE DIRIGEN LOS INCIDENTES SUCEDIDOS EN TIEMPO REAL Y OTRAS ALTERACIONES EN LA RED DE TRANSPORTE, ASÍ COMO LA GESTIÓN DE LA DEMANDA DE VIAJES COMO LAS NECESIDADES DE PARA MANTENER LA MOVILIDAD GENERAL.	2.1 CONTROL DE TRÁFICO
	2.2 GESTIÓN DE INCIDENTES
	2.3 GESTIÓN DE LA DEMANDA
	2.4 GESTIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE
3. VEHICULO (V) <u>DESCRIPCIÓN</u> ÉSTE DOMINIO SE CENTRA EN SERVICIOS ESPECÍFICOS QUE MEJORAN LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE LOS VEHÍCULOS, Y ESTÁN CONTENIDAS EN EL PROPIO VEHÍCULO	3.1 MEJORAMIENTO DE LA VISIÓN RELACIONADA CON EL TRANSPORTE
	3.2 OPERACIÓN DE VEHÍCULO AUTOMATIZADA
	3.3 PREVENCIÓN DE COLISIÓN
	3.4 DISPOSICIÓN DE SEGURIDAD
	3.5 DESPLIEGUE DE RETENCIÓN ANTES DEL ACCIDENTE
4. TRANSPORTE DE MERCANCIAS (TM) <u>DESCRIPCIÓN</u> ÉSTE DOMINIO ESTÁ DESTINADO A DIRIGIR LAS ACTIVIDADES QUE FACILITAN LAS OPERACIONES DE VEHÍCULOS COMERCIALES ASÍ COMO TAMBIÉN LA LOGÍSTICA INTERMODAL, INCLUYENDO COORDINACIÓN INTER- JURISDICCIONAL	4.1 DESPACHO PREVIO DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	4.2 PROCESOS ADMINISTRATIVOS DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	4.3 INSPECCIÓN DE SEGURIDAD AUTOMATIZADA EN LA CARRETERA
	4.4 MONITORIZACIÓN DE SEGURIDAD A BORDO EN VEHÍCULOS COMERCIALES
	4.5 GESTIÓN DE FLOTAS EN TRANSPORTE DE MERCANCIAS
	4.6 GESTIÓN DE INFORMACIÓN INTERMODAL
	4.7 GESTIÓN Y CONTROL DE CENTROS INTERMODALES
	4.8 GESTIÓN DE MERCANCIAS PELIGROSAS
5. TRANSPORTE PÚBLICO (TP) <u>DESCRIPCIÓN</u> ÉSTE DOMINIO DESCRIBE LAS ACTIVIDADES QUE DAN LUGAR A UN FUNCIONAMIENTO OPORTUNO Y MÁS EFICIENTE DE LOS SERVICIOS DE TRANSPORTE PÚBLICO Y LA PROVISIÓN DE INFORMACIÓN OPERATIVA PARA EL OPERADOR Y LOS PASAJEROS	5.1 GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO
	5.2 RESPUESTA A LA DEMANDA DE TRANSPORTE PÚBLICO Y GESTIÓN DE TRANSPORTE COMPARTIDO
6. EMERGENCIAS (E) <u>DESCRIPCIÓN</u> ÉSTE DOMINIO DESCRIBE LAS ACTIVIDADES QUE PERMITEN A LOS	6.1 NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIA RELACIONADA CON EL TRANSPORTE Y SEGURIDAD PERSONAL
	6.2 GESTIÓN DE VEHÍCULOS DE EMERGENCIA

SERVICIOS DE EMERGENCIA INICIAR Y EXPANDIR SUS LABORES MÁS RÁPIDAMENTE A TRAVÉS DE TODA LA RED DE TRANSPORTE	6.3 NOTIFICACIÓN DE INCIDENTES Y MATERIALES PELIGROSOS
7. PAGO ELECTRÓNICO RELACIONADO CON EL TRANSPORTE (PERT) <u>DESCRIPCIÓN</u> ESTE DOMINIO ABORDA LAS ACTIVIDADES QUE GENERAN INGRESOS DADAS LAS FACILIDADES Y SERVICIOS DE TRANSPORTE DONDE, NO HAY QUE DETENERSE NI USAR EFECTIVO (EJEMPLO: PEAJE AUTOMÁTICO)	7.1 TRANSACCIONES FINANCIERAS ELECTRONICAS RELACIONADAS CON EL TRANSPORTE
	7.2 INTEGRACIÓN DE SERVICIOS DE PAGO ELECTRONICO RELACIONADO CON EL TRANSPORTE
8. SEGURIDAD PERSONAL RELACIONADA CON EL TRANSPORTE POR CARRETERA(SPRT) <u>DESCRIPCIÓN</u> ESTE DOMINIO DESCRIBE LAS ACTIVIDADES QUE PROTEGEN LA SEGURIDAD PERSONAL DE LOS PEATONES AL UTILIZAR LA RED DE TRANSPORTES.	8.1 SEGURIDAD EN LOS VIAJES PÚBLICOS
	8.2 MEJORAS DE SEGURIDAD PARA LOS USUARIOS VULNERABLES DE LAS CARRETERAS.
	8.3 MEJORAS DE SEGURIDAD PARA LOS USUARIOS DISCAPACITADOS
	8.4 UNIONES INTELIGENTES Y ENLACES
9. MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS(MCAC) <u>DESCRIPCIÓN</u> ESTE DOMINIO DESCRIBE LAS ACTIVIDADES QUE VIGILAN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS Y AMBIENTALES QUE TIENEN UN IMPACTO SOBRE LA RED DE TRANSPORTE Y SUS USUARIOS	9.1 MONITORIZACIÓN DEL CLIMA
	9.2 MONITORIZACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES
10. COORDINACIÓN Y GESTIÓN DE LA RESPUESTA ANTE DESASTRES (CGD) <u>DESCRIPCIÓN</u> ESTE DOMINIO DESCRIBE LAS ACTIVIDADES DE LOS ITS QUE GESTIONAN LOS RECURSOS DESDE MÚLTIPLES JURISDICIONES PARA LA RESPUESTA ANTE DESASTRES NATURALES, DISTURBIOS CIVILES, O TERRORISMO	10.1 GESTIÓN DE LOS DATOS DE UN DESASTRE
	10.2 GESTIÓN DE LAS RESPUESTAS DE UN DESASTRE
	10.3 COORDINACIÓN CON AGENCIAS DE EMERGENCIAS
11. SEGURIDAD NACIONAL (SN) <u>DESCRIPCIÓN</u> ESTE DOMINIO DESCRIBE LAS ACTIVIDADES QUE DIRECTAMENTE PROTEGEN O MITIGAN LOS DAÑOS FÍSICOS Y DE FUNCIONAMIENTO A LAS PERSONAS Y LAS INSTALACIONES DEL TRANSPORTE A CAUSA DE DESASTRES NATURALES, DISTURBIOS CIVILES, O ATAQUES TERRORISTAS	11.1 MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE VEHICULOS SOSPECHOSOS
	11.2 MONITORIZACIÓN DE GASODUCTOS

De la misma forma, es importante destacar que desde la normativas Europeas, las definiciones de los servicios de usuario junto con las definiciones de las necesidades del usuario propuestas desde el proyecto KAREN (KAREN_PROJECT, 1998), y por el proyecto E-FRAME (E-FRAME, 2008), aún se encuentran en constante estudio y revisión y son de carácter más amplio que los 11 dominios ilustrados en la Tabla 2 como lo argumenta (Sampson *et al.*, 2009).

Por su parte, (Yokota *et al.*, 2005) concluye que los servicios ITS operan de acuerdo a una arquitectura ITS ya sea, propia de cada país, o que estén sujetos a una arquitectura ITS predominante. Por esta razón, el manejo de dichos servicios podrá ser diferente de un país a otro, así como lo propone (Toshiyuki & Weiland, 2004), quienes afirman, que la arquitectura ITS puede estar basada tanto en los servicios ITS como también, en los grupos de funciones, donde ambos, son los parámetros fundamentales que

orientarán la forma en que los ITS interactuarán a lo largo de la infraestructura de transporte.

Según el plan de negocios para el despliegue de ITS que propone la organización internacional para la estandarización (ISO), existen tres arquitecturas ITS predominantes para el despliegue de servicios. Dichas arquitecturas, han sido establecidas por los países más desarrollados tales como EEUU, Japón, y los pertenecientes a la zona Europea. Además, tales arquitecturas son seguidas por propuestas similares planteadas por Australia, China, Corea del Sur y Taiwán.

Veamos entonces las arquitecturas ITS de los países predominantes.

Arquitecturas de ITS

Las arquitecturas de ITS brindan los procedimientos adecuados para introducir, implantar y desplegar ITS a lo largo de cualquier país. Al ser empleadas por los diferentes países requieren una planeación extensa y concreta por parte de las autoridades involucradas ya que deben ser lo bastante flexibles para que logren enfrentar los problemas asociados a los cambios tecnológicos, al crecimiento de la misma infraestructura o la integración de nuevos sistemas con los existentes (McQueen, 1999). Asimismo, las arquitecturas ITS deben cumplir con cinco requisitos básicos que son: la compatibilidad, la expansión, la interoperabilidad, la integración y la estandarización (Chowdhury & Sadek, 2003).

Tales arquitecturas traen consigo una serie de servicios ITS los cuales, en primer lugar, son la base que la sustenta y segundo lugar, mediante su utilización, ayudan a los países a enfrentar los problemas de transporte. Como tal, las arquitecturas de ITS suministran teóricamente los pasos adecuados para desplegar los ITS, el problema surge cuando se intenta integrar la mayoría de los elementos que componen los ITS ya que su heterogeneidad característica mitiga enormemente y claramente la prestación de servicios ITS de valor agregado.

A continuación expondremos las arquitecturas de ITS más relevantes a nivel mundial donde se describen sus principales características, diagramas de bloques y sus servicios ITS característicos considerados estos últimos en su mayoría como servicios ITS de valor agregado.

Arquitectura ITS de EEUU

EEUU fue el primer país en desarrollar una arquitectura ITS a comienzos de 1990, en sus inicios, se presentó como una legislación con respecto a los ITS, concretamente en el año de 1991, y no como una arquitectura (Chowdhury & Sadek, 2003).

Es conocida como la Arquitectura Nacional ITS y proporciona un marco común para la planificación, la definición y la integración de los ITS (ITERIS, 2008a). Es un producto maduro que refleja las contribuciones de un amplio sector de la comunidad ITS (profesionales del transporte, ingenieros de sistemas, desarrolladores de sistemas, especialistas en tecnología, consultores, etc.) (ITERIS, 2008a). La arquitectura define lo siguiente:

- Las funciones que son requeridas por los ITS (por ejemplo, reunir información de tráfico o petición de ruta)
- Las entidades físicas o subsistemas donde residen esas funciones (por ejemplo, el campo o el vehículo)
- Los flujos de información y flujos de datos que conectan a estas funciones y subsistemas físicos en un sistema integrado

En este sentido, tal arquitectura recoge dichas definiciones en un diagrama de Bloques (ver Figura 14) donde se observan los cuatro conjuntos principales que ayudan a sustentarla y son: viajeros, centros de gestión, vehículos y por último campos, todos interconectados entre sí mediante diversas tecnologías de comunicaciones. Tal diagrama recientemente ha evolucionado, concretamente en el bloque que conecta los conjuntos de vehículos y campos, el cual anteriormente era llamado DSRC o lo que es lo mismo, comunicaciones dedicadas de corto alcance empleadas para la comunicación de diversos dispositivos ITS, y que ahora es llamado comunicaciones con el vehículo (RITA, 2009b). Principalmente, tal hecho se generó por la gran variedad de tecnologías que pueden realizar esta misma función avalando así, el problema expuesto con anterioridad en el primer capítulo.

Por otra parte, como fue analizado por (Yokota *et al.*, 2005), las arquitecturas ITS despliegan una serie de servicios ITS, por ello a continuación presentamos los servicios que plantea la Arquitectura Nacional de los ITS para los EEUU, tales servicios son recogidos en la Tabla 3.

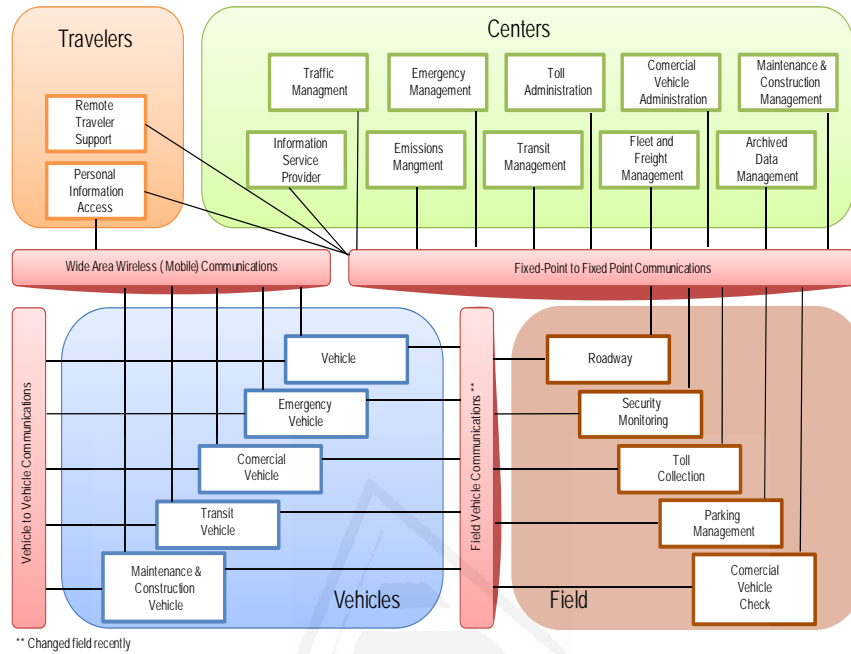


Figura 14. Arquitectura ITS de EEUU (RITA, 2009b)

Tabla 3. Servicios ITS según la Arquitectura Nacional ITS de los EEUU (ITERIS, 2008b)

CONJUNTO DE SERVICIOS DE USUARIO	SERVICIOS DE USUARIO
1. GESTIÓN DE TRÁFICO Y VIAJE	1.1 INFORMACIÓN ANTES DEL VIAJE
	1.2 INFORMACIÓN EN RUTA
	1.3 ORIENTACIÓN DE RUTAS
	1.4 RESERVACIÓN Y VIAJES COMPARTIDOS
	1.5 INFORMACIÓN DE SERVICIOS AL VIAJERO
	1.6 CONTROL DE TRÁFICO
	1.7 GESTIÓN DE INCIDENTES
	1.8 GESTIÓN DE LA DEMANDA DE VIAJE
	1.9 MITIGACIÓN Y PRUEBAS DE EMISIONES
	1.10 INTERSECCIONES AUTOPISTA-VIA FÉRREA
2. GESTIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO	2.1 GESTIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO
	2.2 INFORMACIÓN EN TRÁNSITO SOBRE LA RUTA
	2.3 TRANSITO PÚBLICO PERSONALIZADO
	2.4 SEGURIDAD DE VIAJE PÚBLICA
3. PAGO ELECTRÓNICO	3.1 SERVICIOS DE PAGO ELECTRÓNICO
4. OPERACIONES DE VEHICULOS COMERCIALES	4.1 DESPACHO ELECTRÓNICO DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	4.2 INSPECCIÓN SEGURA PROCESOS ADMINISTRATIVOS DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	4.3 INSPECCIÓN AUTOMATIZADA DE LA SEGURIDAD EN LA CARRETERA
	4.4 PROCESOS ADMINISTRATIVOS DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	4.5 RESPUESTA DE INCIDENTES DE MATERIALES PELIGROSOS
	4.6 GESTIÓN DE FLOTAS COMERCIALES

5. GESTIÓN DE EMERGENCIAS	5.1 NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS Y SEGURIDAD DEL PERSONAL 5.2 GESTIÓN DE VEHÍCULOS DE EMERGENCIAS
6. SISTEMAS DE SEGURIDAD AVANZADAS PARA EL VEHICULO	6.1 PREVENCIÓN DE COLISIÓN LONGITUDINAL
	6.2 PREVENCIÓN DE COLISIÓN LATERAL
	6.3 PREVENCIÓN DE COLISIÓN EN UNA INTERSECCIÓN
	6.4 MEJORAMIENTO DE LA VISIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE CHOCOS
	6.5 FACILIDAD DE SEGURIDAD
	6.6 DESPLIEGUE DE RETENCIONES PRE-CHOQUE
	6.7 OPERACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMATIZADAS
7. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN	7.1 FUNCIÓN DE ARCHIVAMIENTO DE DATOS
8. GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO Y CONSTRUCCIÓN	8.1 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO Y CONSTRUCCIÓN

Si se observase de la Tabla 3 y se comparase con los servicios ITS presentados por la norma (ISO_14813, 2007a), existen breves similitudes entre los servicios, por lo que se concluye que los servicios ITS, planteados por el grupo de trabajo uno o WG1 del comité técnico de ITS (ISO TC/204), son un conjunto estandarizado de servicios ITS que se toma como base para el diseño de arquitecturas de ITS.

Arquitectura ITS de Japón

Comenzó a generarse con el desarrollo de muchos proyectos que buscaban la mayor seguridad para sus ciudadanos y para el fortalecimiento de la economía. Uno de los proyectos que más contribuyó a su desarrollo fue el sistema VICS (Vehicle Information and Communication System) relacionado con el ofrecimiento de información al vehículo (Tamura & Hirayama, 1993). Su finalización fue en el año de 1999 gracias a los esfuerzos conjuntos de cinco ministerios implicados en su desarrollo (ITS-JP, 1999) y actualmente es utilizada ampliamente, a lo largo del país, sus principales objetivos son:

- Construcción eficiente de ITS.
- ITS adecuadas y expandibles
- Desarrollo de estándares tanto nacionales como internacionales

Similarmente que su homóloga Americana, puede ser vista mediante un diagrama de bloques (ver Figura 15) que incluye de varios conjuntos asociados a los sistemas de transporte para ayudar a sustentarla. Tales conjuntos son: humanos, vehículos, centros, elementos de la carretera y elementos externos, todos relacionados entre sí mediante diversos bloques de comunicaciones.

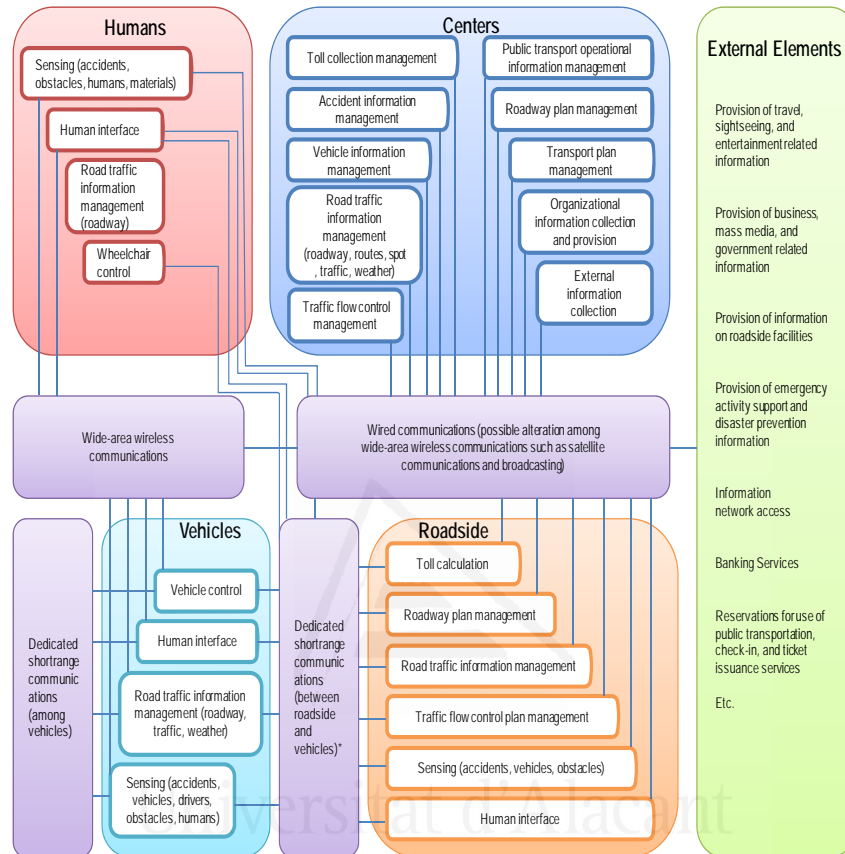


Figura 15. Arquitectura ITS de Japón (ITS-JP, 1999)

Tal arquitectura se encuentra guiada por dos principios. El primero, asegura que es lo suficientemente flexible en el dado caso que se llegue a presentar algún cambio social o tecnológico de consideración y el segundo, garantiza la interconectividad e interoperabilidad a lo largo de la infraestructura de transporte (ITS-JP, 1999).

Como puede verse en el diagrama, la arquitectura Japonesa incluye un nuevo conjunto llamado entidades externas que no da lugar a afirmar que en la arquitectura Americana no se considere pero si, puede verse claramente que teóricamente incluye más funcionalidades y mayores servicios.

Además, si analizamos sus servicios ITS encontramos una gran variedad, los cuales, han sido agrupados bajo 9 áreas específicas y un área general. En total son diez áreas y generan 21 servicios ITS básicos que dan lugar a muchos más servicios (ver Tabla 4).

Tabla 4. Servicios ITS según ITS Japón(ITS-JP, 1999)

ÁREAS DE DESARROLLO	SERVICIOS DE USUARIO
1. SISTEMAS DE NAVEGACIÓN AVANZADA	1.1 PROVISIÓN DE RUTAS GUIADAS POR LA INFORMACIÓN DE TRAFICO
	1.2 PROVISIÓN DE INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL DESTINO
2. SISTEMAS DE COBRO ELECTRÓNICO DE PEAJES	2.1 COBRO ELECTRÓNICO DE PEAJES
3. ASISTENCIA PARA MANEJO SEGURO	3.1 PROVISIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LAS CONDICIONES DE MANEJO Y DE LA CARRETERA
	3.2 ADVERTENCIA DE PELIGRO
	3.3 ASISTENCIA PARA EL MANEJO
	3.4 SISTEMAS DE AUTOPISTA AUTOMATIZADA
4. OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE TRÁFICO	4.1 OPTIMIZACIÓN DEL FLUJO DE TRÁFICO
	4.2 PROVISIÓN DE INFORMACIÓN DE RESTRICCIÓN TRÁFICO EN CASO DE INCIDENTE
5. INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN GESTIÓN DE LA CARRETERA	5.1 MEJORAMIENTO DE OPERACIONES DE MANTENIMIENTO
	5.2 GESTIÓN DE VEHÍCULOS COMERCIALES ESPECIALMENTE PERMITIDOS
	5.3 PROVISIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE LOS PELIGROS EN LA CARRETERA
6. APOYO PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO	6.1 PROVISIÓN DE INFORMACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO
	6.2 ASISTENCIA PARA OPERACIONES DEL TRANSPORTE PÚBLICO Y GESTIÓN DE OPERACIONES
7. INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN OPERACIONES DE VEHICULOS COMERCIALES	7.1 ASISTENCIA PARA GESTIÓN DE LAS OPERACIONES DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	7.2 PLATOONING AUTOMATIZADO DE VEHICULOS COMERCIALES
8. APOYO A LOS PEATONES	8.1 GUIA DE RUTA DE PEATONES
	8.2 PREVISIÓN DE ACCIDENTE PEATON-VEHICULO
9. APOYO PARA LAS OPERACIONES DE VEHICULOS DE EMERGENCIA	9.1 NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIA AUTOMATIZADA
	9.2 GUÍAS DE RUTA PARA VEHÍCULOS DE EMERGENCIA Y APOYO A LAS ACTIVIDADES DE SOCORRO
10. GENERAL	10.1 UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA SOCIEDAD DE TELECOMUNICACIONES Y INFORMACIÓN AVANZADA

El éxito de esta arquitectura puede verificarse claramente con solo obtener los datos del proyecto VICS, el cual ha generado más de 26.7 millones de usuarios. Concretamente, para su desarrollo han sido desplegadas gran cantidad de balizas que incorporan sistemas de comunicaciones que utilizan la radio analógica de FM (Frecuencia Modulada - FM) para transmitir los mensajes que permiten la generación de servicios (VICS_Japan, 2007). Muy pronto esta arquitectura se verá enfrentada a uno de los mayores cambios que se están generando en los ITS a nivel mundial y es el de la llegada tacita de la era de las comunicaciones vehiculares donde su forma de comunicación emplea el estándar WAVE (Jiang & Delgrossi, 2008).

Arquitectura Europea

Se encuentra en desarrollo y está siendo el esfuerzo de diferentes proyectos de investigación originados a partir de los programas marco. Actualmente es conocida como E-FRAME (E-FRAME, 2008) y está basada en el proyecto KAREN (Keystone Architecture required for European Networks) (KAREN_PROJECT, 1998). Estrictamente hablando, E-FRAME es una marco de referencia o un plan de ayuda para que los países Europeos puedan construir sus propias arquitecturas ITS a la medida de sus necesidades particulares (Jesty & Bossom, 2006). Sin embargo, puede ser considerada como una Arquitectura de ITS debido a que tiene en cuenta los siguientes puntos de vista (E-FRAME, 2004b):

- Las Necesidades del usuario, usadas para definir lo que desean las partes interesadas en el despliegue de ITS.
- La arquitectura funcional, define la funcionalidad necesaria para que los ITS conozcan las necesidades del usuario y por ende sus servicios. Tal arquitectura está compuesta de áreas funcionales, divididas en otras funciones (ver Tabla 5).
- La arquitectura física, describe como dichas funciones pueden ser agrupadas para ser implementadas.
- La arquitectura de comunicación, describe los enlaces de comunicación necesarios para apoyar el flujo de datos de la capa física.

E-FRAME tiene como objetivo fundamental ofrecer el apoyo para el desarrollo de sistemas cooperativos escalables e interoperables (Sampson *et al.*, 2009), además, se perfila como una gran alternativa para la integración de los ITS. No obstante, aún se ve rezagada frente a sus homologas anteriores, principalmente porque debe hacer más énfasis en la parte física de los ITS a la cual no se le ha dado mucha relevancia.

(Bossom, Richard. & Jesty, 2009b), responsables máximos de dicha arquitectura, pretenden integrar los nuevos proyectos ITS recientemente realizados en los programa marco es decir, CVIS, SAFESPOT, y algunos otros. La cuestión, es

Tabla 5. Áreas Funcionales y funciones – Arquitectura ITS Europea (E-FRAME, 2004a)

ÁREAS FUNCIONALES	FUNCIONES
-------------------	-----------

1. GENERAL	1.1 PROPIEDADES DE LA ARQUITECTURA 1.2 INTERCAMBIO DE DATOS 1.3 ADAPTABILIDAD 1.4 RESTRICCIONES 1.5 CONTINUIDAD 1.6 COSTO / BENEFICIO 1.7 CAPACIDAD DE EXPANSIÓN 1.8 MANTENIBILIDAD 1.9 CALIDAD DEL CONTENIDO DE LOS DATOS 1.10 ROBUSTEZ 1.11 SEGURIDAD PERSONAL 1.12 SEGURIDAD JURÍDICA 1.13 AMISTAD DE LOS USUARIOS 1.14 NECESIDADES ESPECIALES
2. PLANEACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y MANTENIMIENTO	2.1 APOYO A LA PLANEACIÓN DEL TRANSPORTE 2.2 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LAS INFRAESTRUCTURAS
3. EJECUCIÓN DE LEYES	3.1 POLÍTICAS/EJECUCIÓN DE REGULACIONES DE TRÁFICO
4. TRANSACCIONES FINANCIERAS	4.1 TRANSACCIONES FINANCIERAS ELECTRÓNICAS
5. SERVICIOS DE EMERGENCIA	5.1 NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS Y SEGURIDAD PERSONAL 5.2 GESTIÓN DE VEHÍCULOS DE EMERGENCIA 5.3 MATERIALES PELIGROSOS Y NOTIFICACIÓN DE INCIDENTES
6. INFORMACIÓN DEL VIAJE Y RUTA	6.1 INFORMACIÓN ANTES DEL VIAJE 6.2 INFORMACIÓN EN EL VIAJE 6.3 SERVICIOS DE INFORMACIÓN PERSONAL 6.4 GUÍAS DE RUTA Y NAVEGACIÓN
7. TRÁFICO, INCIDENTES Y GESTIÓN DE LA DEMANDA	7.1 CONTROL DE TRÁFICO 7.2 GESTIÓN DE INCIDENTES 7.3 GESTIÓN DE LA DEMANDA 7.4 MEJORAMIENTO DE LA SEGURIDAD PARA USUARIOS VULNERABLES EN LA CARRETERA 7.5 ENLACES Y UNIONES INTELIGENTES
8. SISTEMAS DE VEHÍCULOS INTELIGENTES	8.1 MEJORAMIENTO DE LA VISIÓN 8.2 OPERACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMATIZADOS 8.3 PREVENCIÓN DE COLISIÓN LONGITUDINAL 8.4 PREVISIÓN DE COLISIÓN LATERAL 8.5 FACILIDAD DE SEGURIDAD 8.6 DESPLIEGUE DE RETENCIONES PRE-CHOQUE
9. GESTIÓN DE FLOTAS Y DE TRANSPORTE DE MERCANCIAS	9.1 DESPACHO DE VEHÍCULOS COMERCIALES 9.2 PROCESOS ADMINISTRATIVOS DE VEHÍCULOS COMERCIALES 9.3 INSPECCIÓN SEGURA PROCESOS ADMINISTRATIVOS DE VEHÍCULOS COMERCIALES 9.4 MONITORIZACIÓN DE SEGURIDAD A BORDO DE VEHÍCULOS COMERCIALES 9.5 GESTIÓN DE FLOTAS COMERCIALES
10. GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO	10.1 GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO 10.2 RESPUESTA A LA DEMANDA DE TRANSPORTE PÚBLICO 10.3 GESTIÓN DE TRANSPORTE COMPARTIDO 10.4 INFORMACIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO EN EL VIAJE 10.5 SEGURIDAD EN LOS VIAJES PÚBLICOS

que E-FRAME tiene que considerar más detenidamente la parte física que hace parte de la infraestructura de transporte para lograr la convergencia de servicios (Yokota *et al.*, 2005).

Un reciente diagrama de dicha arquitectura (ver Figura 16), fue expuesto en la Universidad de Portmund durante diversas actividades relacionadas con los ITS.

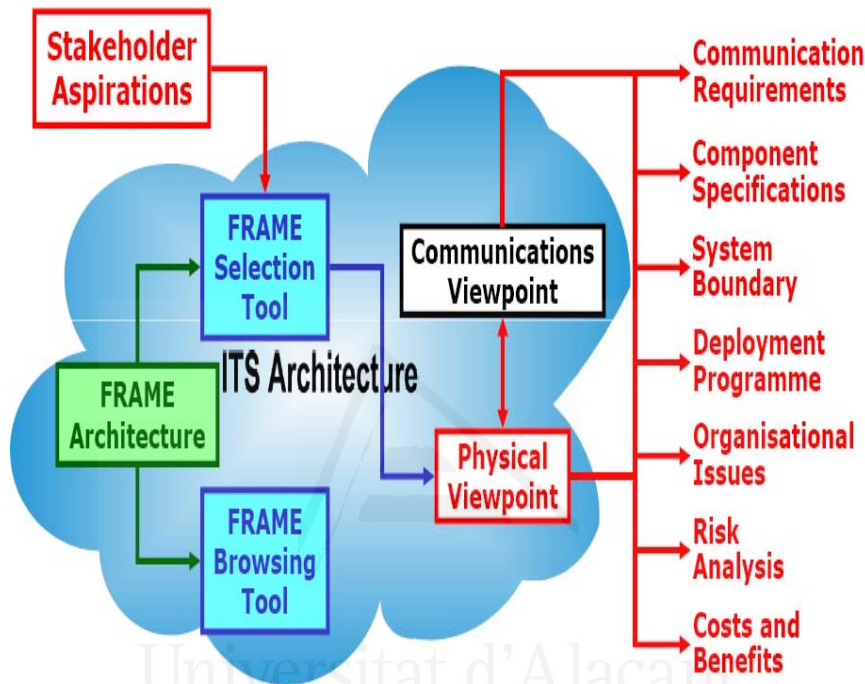


Figura 16. Arquitectura ITS Europea (Bossom, Richard. & Jesty, 2009a)

En la Figura 16 puede observarse como están siendo considerados los principales factores de los ITS pero es preciso, integrar nuevas soluciones tecnológicas que ayuden a mitigar los problemas ocasionados en la parte referida a los puntos de vista físicos.

Como pudo observarse, las arquitecturas ITS son altamente complejas y a su vez, ofrecen una gran cantidad de servicios ITS para cada una de las áreas de los sistemas de transporte. En este sentido, concluye (Bossom, Richard. & Jesty, 2009a) que la Arquitectura ITS Nacional de los EEUU y la Arquitectura Europea tienen sutiles diferencias y bastantes similitudes pero las más importantes son:

- Existen diversos servicios, en particular, los relacionados con vehículos comerciales de carga, donde se presentan objetivos muy diferentes y más que nada se debe al tránsito de mercancías tan alto que hay entre los países miembro.
- La Arquitectura Nacional ITS de los EE.UU muestra la relación entre los componentes físicos, y los usuarios eligiendo algunos componentes que necesitan para satisfacer sus necesidades. No obstante, la Arquitectura ITS Europea muestra la relación entre funciones únicamente, y los usuarios primero eligen aquellos componentes que necesitan satisfacer sus requerimientos, y luego toman sus propias decisiones en cuanto a cómo ellos asignarán a los componentes físicos.

Para el caso de la Arquitectura ITS Japonesa, existen diferencias bastante significativas con respecto a las anteriores arquitecturas ya que en dicho país, la penetración actual de los sistemas de navegación es muy alta lo que significa que muchos de los usuarios disfrutan de gran cantidad de servicios ITS de valor agregado. Por si fuera poco, (Kanoshima & Hatakenaka, 2008) presentan una nueva evolución de la arquitectura ITS Japonesa descrita a partir del proyecto Smartway el cual provocará un mayor crecimiento de los servicios ofrecidos por tal arquitectura principalmente, porque se tiene pensado integrar los servicios ITS ofrecidos por el sistema actual VICS con los servicios de telepeaje y con otra gama de servicios ITS.

Resumiendo, las arquitecturas de ITS mencionadas se sustentan en sus servicios ITS para satisfacer las necesidades demandadas por cualquier país en el área del transporte.

Como vemos los servicios ITS toman una gran importancia por ello, en los próximos capítulos de este trabajo de investigación doctoral los abordaremos con más detalle ya que son la esencia de los ITS.

Para continuar con el análisis bibliográfico correspondiente a la tesis doctoral, ahora abordaremos de forma general las tecnologías involucradas en los ITS ya que son estas, las que sustentan la generación de servicios ITS a lo largo de la infraestructura.

Tecnologías ITS

Para desarrollar de forma adecuada este apartado, en primer lugar, expondremos los organismos de normalización más relevantes en el ámbito de ITS ya que son estos, los que dirigen de forma general las pautas más importantes para el desarrollo de tecnologías para los ITS, y en segundo lugar, abordaremos de forma general las tecnologías ITS.

Normalización de los ITS

Los ITS se apoyan en diversos organismos focalizados en la estandarización de las tecnologías para lograr que los fabricantes sigan pautas acotadas para el desarrollo de productos que serán y son instalados a lo largo de la infraestructura.

Los organismos de estandarización con más presencia mundial en el ámbito de los ITS son: el comité técnico ISO/TC204 (ISO_TC204, 2009), el comité técnico CEN TC278 (CEN_TC_278, 2007), el comité técnico del ETSI TC ITS (ETSI, 2009) y el comité técnico ISO/TC 22 (ISO/TC_22, 2007), aunque este último está más centrado en los sistemas generales que componen la construcción de los vehículos.

Aunado a esto, existe el Consejo de Normas para Estándares de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones ICTSB (Information and Communications Technologies Standards Board) (ICTSB, 2001) que actúa como coordinador del grupo directivo de los ITS o ITSSG (Intelligent Transport Systems Steering Group), responsable de coordinar las actividades que facilitan las especificaciones de estándares y su objetivo es consolidar un conjunto bien estructurado y coherente de normas que ayudan a la convergencia de tecnologías en los ITS (ITSSG, 2003). A continuación, serán analizados los detalles más relevantes sobre cada uno de estos organismos con el fin utilizarlos de forma adecuada en el desarrollo de nuestra investigación.

ISO

La organización internacional para la estandarización (ISO) apoya el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica (ISO, 2008).

Específicamente la organización ISO apoya a los ITS a través del comité técnico ISO/TC 204 creado desde 1993 el cual, contribuye a la normalización de los sistemas utilizados en el transporte de superficie urbana y rural (incluyendo aspectos intermodales y multimodales), transporte público, transporte comercial, información al viajero, gestión del tráfico, servicios de emergencia y los servicios comerciales (ISO_TC204, 2009). De la misma forma, elabora las normas adecuadas para la estandarización de procedimientos y tecnologías en los ITS. No obstante, sus estándares diseñados y desarrollados están sujetos a la aprobación por parte de otros organismos que trabajan conjuntamente en áreas similares.

La estructura general de este comité está compuesta por dieciocho grupos de trabajo de los cuales hay catorce grupos de trabajo actualmente activos, que lideran las principales áreas del transporte (ver Tabla 6) y de tales grupos ya hemos mencionado al WG1 enfocado a la arquitectura de los ITS.

Tabla 6. Grupos de trabajo del comité ISO TC204(ISO_TC204, 2009)

ISO / TC 204	
WORKING GROUP (WG)	AREA
WG 1	ARCHITECTURE
WG 3	TICS DATABASE TECHNOLOGY
WG 4	AUTOMATIC VEHICLE AND EQUIPMENT IDENTIFICATION
WG 5	FEE AND TOLL COLLECTION
WG 7	GENERAL FLEET MANAGEMENT AND COMMERCIAL/FREIGHT
WG 8	PUBLIC TRANSPORT/EMERGENCY
WG 9	INTEGRATED TRANSPORT INFORMATION, MANAGEMENT AND CONTROL
WG 10	TRAVELLER INFORMATION SYSTEMS
WG 11	ROUTE GUIDANCE AND NAVIGATION SYSTEMS (VACANT)
WG 14	VEHICLE/ROADWAY WARNING AND CONTROL SYSTEMS
WG 15	DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATIONS FOR TICS APPLICATIONS
WG 16	WIDE AREA COMMUNICATIONS/PROTOCOLS AND INTERFACES
WG 17	NOMADIC DEVICES IN ITS SYSTEMS (NEW)
WG 18	COOPERATIVE SYSTEMS

Cada grupo de trabajo genera una gran multitud de estándares para apoyar a las áreas de su competencia permitiendo así, el establecimiento de las normativas adecuadas que propendan hacia la convergencia de servicios ITS.

El ISO TC 204 es de gran importancia para nuestro trabajo ya que nos brindará los estándares más representativos para el desarrollo de nuestra investigación por ello, en posteriores capítulos es tratado más a fondo.

CEN

El comité Europeo para la estandarización, apoya a los ITS mediante su comité técnico TC 278 “Road Transport and Traffic Telematics” (RTTT), establecido en 1991 (CEN_TC_278, 2007). El TC 278 está orientado a la normalización tanto de los sistemas telemáticos aplicados al tráfico por carretera como a los elementos que necesita para la armonización técnica en operaciones intermodales. Al igual que su predecesor, apoya a los ITS a través de los siguientes grupos de trabajo (ver Tabla 7).

Tabla 7. Grupos de trabajo del comité TC 278 del CEN

CEN TC 278	
WORKING GROUP (WG)	AREA
WG 1	ELECTRONIC FEE COLLECTION AND ACCESS CONTROL (EFC)
WG 2	FREIGHT AND FLEET MANAGEMENT SYSTEMS (FFMS)
WG 3	PUBLIC TRANSPORT (PT)
WG 4	TRAFFIC AND TRAVELLER INFORMATION(TTI)
WG 7	GEOGRAPHIC ROAD DATA (GRD)
WG 8	ROAD TRAFFIC DATA (RTD)
WG 9	DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATION (DSRC)
WG 10	MAN-MACHINE INTERFACES (MMI)
WG 12	AUTOMATIC VEHICLE IDENTIFICATION AND AUTOMATIC EQUIPMENT IDENTIFICATION (AVI/AEI)
WG 13	ARCHITECTURE AND TERMINOLOGY
WG 14	RECOVERY OF STOLEN VEHICLES
WG 15	ESAFETY
WG16	CO-OPERATIVE SYSTEMS

En este sentido, dicho comité también será tomado en cuenta para el análisis general de las tecnologías ITS y de sus servicios, posteriormente realizada en el capítulo cuatro.

ETSI TC ITS

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), fundado en 1988, apoya a los ITS mediante el comité técnico llamado, ETSI TC ITS (ETSI, 2009). Tal comité tiene como objetivo general, desarrollar estándares, especificaciones y otros resultados para apoyar la provisión de servicios a través de la red, para la red de transporte, los vehículos y los usuarios del transporte, incluyendo, aspectos sobre interfaces, transporte multimodal y interoperabilidad de sistemas (ETSI_TC_ITS, 2010). Al igual que los anteriores organismos, se subdivide en varios grupos de trabajo, como ilustra la Tabla 8, con el fin de abordar los problemas asociados a la red de transporte.

Tabla 8. Grupos de trabajo del comité TC ITS de ETSI

ESTITC ITS	
WORKING GROUP (WG)	AREA
WG 1	USER & APPLICATION REQUIREMENTS
WG 2	ARCHITECTURE, CROSS LAYER AND WEB SERVICES
WG 3	TRANSPORT AND NETWORKS
WG 4	MEDIA & MEDIA RELATED ISSUES
WG 5	SECURITY.

Por último, cabe destacar la presencia del comité técnico ETSI TC ERM (Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters) conformado por varios grupos de trabajo y de ellos, destacamos el grupo de tareas TG 37, relacionado con la compatibilidad electromagnética de los dispositivos instalados en las infraestructuras ITS ya que es otro organismo clave para el despliegue de tecnologías ITS a lo largo de la infraestructura.

Luego de describir a groso modo los comités técnicos de los ITS es importante reiterar que los tendremos muy presentes para la identificación de las tecnologías y servicios ITS. En este sentido, es preciso seguir reuniendo todos los elementos que forman parte del escenario general de os ITS, por ello, a continuación presentamos la revisión bibliográfica general de las tecnologías que apoyan los ITS.

Tecnologías y Sistemas de a bordo del Vehículo

Como su nombre lo indica, existe una gran diversidad de sistemas tecnológicos que funcionan a bordo del vehículo, orientados tanto a ofrecer distintos servicios generales para mejorar el desempeño del vehículo en tiempo real como a la asistencia al conductor. Dentro de estos sistemas tecnológicos podemos encontrar los expuestos en la Tabla 9.

Tabla 9. Algunos sistemas de Abordo

SISTEMAS DE A BORDO	
ORIENTADOS AL DESEMPEÑO DEL VEHÍCULO	ORIENTADOS A LA ASISTENCIA AL CONDUCTOR
SISTEMA DE FRENADO ABS	SISTEMA DE CIERRE CENTRALIZADO DE PUERTAS
SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO	SISTEMAS DE CONFIGURACIÓN DE ESPEJOS
SISTEMA DE CORRECCIÓN PARA LA TOMA DE UNA CURVA	SISTEMA DE ELEVACIÓN DE VIDRIOS ELECTRÓNICO
SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL AHORRO DE COMBUSTIBLE	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO
SISTEMA DE CAMBIOS AUTOMÁTICO	SISTEMA AIRBAG

.....= Muchos más.

Es de resaltar que cada uno de los sistemas listados, tienen unidades de control electrónico llamadas ECU (Electronic Control Unit-ECU) como lo plantea (Dominguez *et al.*, 2007) y se integran en el interior del vehículo a través de tecnologías de comunicaciones tales como el bus CAN (Control Area Network), el bus LIN (Local Interconnect Network.), interfaces seriales RS232, o inalámbricas como Bluetooth, con el objetivo de brindar servicios locales tanto para los mismos ECU como para el usuario (ver Figura 17).

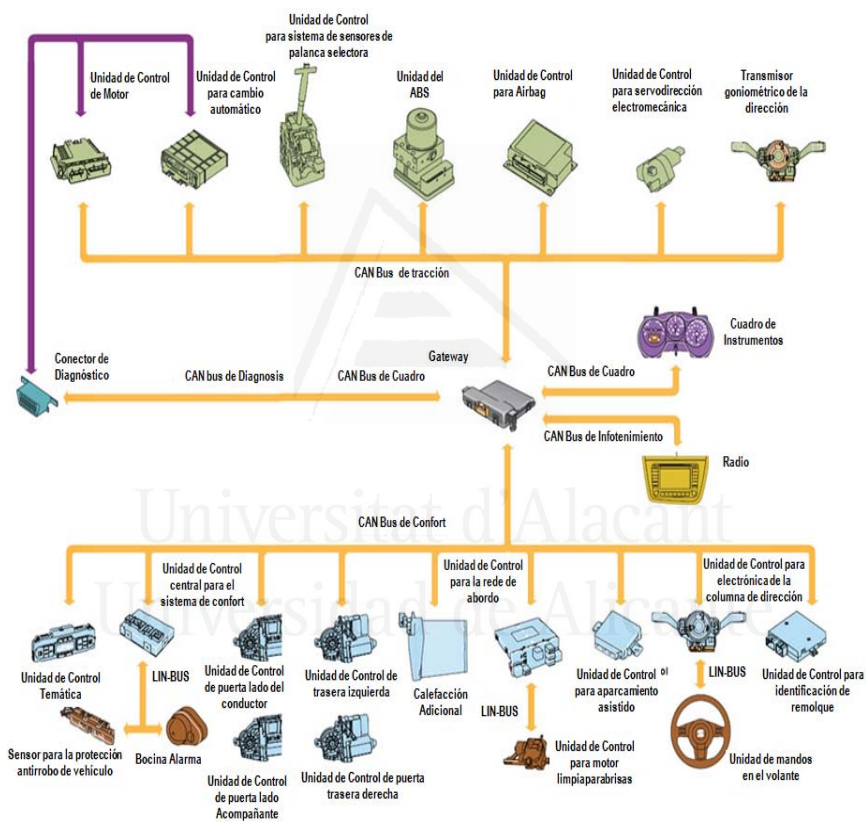


Figura 17. Elementos tecnológicos a bordo del Vehículo que ofrecen servicios locales al usuario (Mecánica_Virtual, 2008)

Uno de los sistemas de abordaje, elaborado con dichas tecnologías y que ofrece servicios locales al usuario son los sistemas avanzados para la asistencia al conductor (Advanced Driver Assistance Systems-ADAS). (Marchau *et al.*, 2005) expone que

tales sistemas brindan servicios de seguridad bastante fiables en especial cuando el usuario se desplaza a lo largo de la infraestructura. Por su parte, (Sun *et al.*, 2006), considera que es preciso incorporarles más tecnologías y específicamente del tipo óptico como los Laser, Lidar (tecnologías pasivas) o Cámaras (tecnologías activas) para incrementar la precisión y la fiabilidad de dichos sistemas. Incluso, con la incorporación de dichas tecnologías se alcanza el mejoramiento de sus servicios ofrecidos, dado que el vehículo interactúa de forma más dinámica con la infraestructura.

Muchos de los servicios y sistemas locales son abordados por el comité técnico ISO TC 22 debido a que están relacionados con el desempeño del vehículo y con sus sistemas de confort. La cuestión es que nuestro enfoque está relacionado con los servicios externos, considerados estos como servicios ITS de valor agregado, es decir, servicios ofrecidos por otros proveedores de servicios o por las centrales de información de tráfico los cuales, pueden ser procesados y consumidos por el usuario.

En este sentido, nos enfocamos sobre las tecnologías y sistemas que ayudan a interactuar al vehículo con el exterior. Por esta razón, analizamos lo que expone (Vlasits *et al.*, 1995) acerca de otros sistemas o tecnologías de abordaje que tienen como finalidad la interacción entre el vehículo y los sistemas instalados a lo largo de las infraestructuras ITS, comúnmente tales sistemas son llamados Unidades de abordaje o OBU (On Board Unit-OBU). Las OBU normalmente son empleadas para consumir distintos servicios asociados al transporte tales como los provistos por los sistemas de telepeaje, los sistemas de parking, y los sistemas de rampas electrónicas, entre muchos otros.

Las OBU entonces, se comportan como elementos que pueden enviar y recibir información de la infraestructura de transporte o de otro vehículo. (He *et al.*, 2009) concluye que actualmente, dichas unidades han evolucionado de forma sorprendente gracias a la expansión de las tecnologías móviles, al despliegue de redes inalámbricas y en especial, a los sistemas de navegación.

Sabiendo que las OBUs son elementos capaces de comunicarse con la infraestructura de transporte, existen otros elementos determinantes con los que dichas unidades se comunican y son las Unidades de carretera o RSU (Road Side Unit), ampliamente desplegadas a lo largo de la infraestructura de transporte. Las RSU se encargan no sólo de permitir la comunicación con el

vehículo sino también, de gestionar los sistemas de monitorización desplegados en la infraestructura (Shieh *et al.*, 2006) (AASHTO *et al.*, 2009). En este sentido ambos elementos, es decir, las OBU y las RSU, han generado nuevos esquemas de comunicación entre los mismos vehículos, entre la infraestructura y el vehículo o viceversa y dan pie a que una gran variedad de servicios pueda emerger, por tanto, a continuación analizaremos de forma general las tecnologías de comunicación que se suscriben a dichos esquemas.

Tecnologías de comunicación en relación con el vehículo y la infraestructura

De acuerdo a los últimos avances científicos en el área de los ITS, (Boukerche *et al.*, 2008; Hartenstein & Laberteaux, 2008) afirman que las nuevas tecnologías de comunicación dan paso a la creación de nuevos escenarios de redes inalámbricas, conformadas por los mismos vehículos, por los vehículos y la infraestructura o viceversa. Dentro de estos escenarios encontramos los siguientes:

- Escenario V2V (Vehículo a Vehículo)
- Escenario V2I (Vehículo a Infraestructura)
- Escenario I2V (Infraestructura al Vehículo)
- Escenario I2I (Infraestructuras a Infraestructura)

A continuación describámoslos más en detalle.

Escenario Vehículo a Vehículo (V2V) - VANET

Está conformado por grandes cantidades de vehículos que tienen la capacidad de intercambiar información entre ellos. (Hartenstein & Laberteaux, 2008) argumenta que la expansión de las tecnologías de comunicación inalámbricas, en especial las utilizadas en redes de área local (IEEE 802.11) ha fortalecido la investigación en nuevas redes móviles orientadas a la comunicación de los mismos vehículos por lo que un nuevo tipo de redes ha surgido llamado redes vehiculares ad-hoc. Científica y tecnológicamente son llamadas VANETs (Vehicular Area Network) (Boukerche *et al.*, 2008) y operan a través del nuevo estándar tecnológico de comunicaciones inalámbricas IEEE 802.11p que a su vez, hace parte de las comunicaciones

dedicadas de corto alcance o DSRC (Dedicated Short Range Communication-DSRC) (Lee, J. *et al.*, 2008).

(Boukerche *et al.*, 2008) expone que en el escenario V2V, los vehículos pueden intercambiar información y/o servicios entre sí o con la infraestructura, lo cual se presta para el mejoramiento de la seguridad y el bienestar del usuario ITS. Por su parte, (Lee, J. *et al.*, 2008) analiza que en el escenario V2V, los vehículos son considerados como nodos de la red capaces de intercambiar servicios entre ellos.

(Jiang & Delgrossi, 2008) exponen que el estándar mencionado, está siendo foco de gran cantidad de trabajos científicos, por lo que se ha elaborado un documento denominado WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments), enfocado a dar los lineamientos principales para la conformación futura de las VANETs.

Por otra parte, (Nadeem *et al.*, 2006) discute que las VANET están siendo sometidas a muchos estudios y modelos de difusión de mensajes, pudiendo constatar que están presentado distintos problemas que afectan dicha difusión, en especial, cuando los vehículos circulan por carreteras donde existen carriles bidireccionales.

En este mismo sentido, un punto en contra del escenario V2V lo expone (Rybicki *et al.*, 2007) afirmando que dicho escenario, tardará aún mucho tiempo en ser desplegado, principalmente debido a que la mayoría de vehículos no vienen equipados con los sistemas adecuados para hacer de ellos un nodo de red. Igualmente expone que los vehículos que integren este tipo de tecnologías serán más costosos pero que con su masificación, podrá logarse la prestación de servicios ITS adecuada.

Por último, (Santa *et al.*, 2008) concluye que al igual que existen las redes basadas en dicho estándar, las redes móviles o redes celulares, apoyan de forma eficiente el intercambio de mensajes entre gran cantidad de dispositivos móviles, representado así, un canal alternativo maduro para la prestación de servicios ITS de valor agregado no solo para el escenario V2V sino para los demás escenarios V2I, I2V y I2I.

Como pudo observarse, el escenario V2V apunta hacia la comunicación entre los mismos vehículo por lo que en estos, deben existir las unidades de abordo (OBUs) adecuadas que permitan la incorporación de un vehículo a la red vehicular.

Escenario Vehículo a Infraestructura (V2I)

Como lo describe (Boukerche *et al.*, 2008), es un escenario donde el vehículo se comunica con la infraestructura de transporte logrando la interacción completa entre la unidad de abordo (OBU) y la unidad de carretera (RSU). De acuerdo al enfoque VANET tal escenario tiene varios propósitos, uno de ellos es que sirve para notificar desde el mismo vehículo, las irregularidades que pueden tener lugar en la infraestructura. Otro de sus propósitos es la comunicación de elementos instalados en el propio vehículo con los instalados en la infraestructura de transporte.

Tal escenario lo sustentan los dispositivos que cumplen el rol de OBU y de RSU siendo estos, los elementos más importantes para la obtención de servicios de valor agregado ya que apoyan la comunicación del vehículo con la infraestructura y viceversa (Zhang *et al.*, 2009).

Por su parte (Jhang & Liao, 2008) para este escenario, presentan a las RSU como los dispositivos que se instalan junto al borde de la carretera y destacan que si un vehículo pasa a alta velocidad será compleja la interacción con la infraestructura. Uno de los ejemplos más clásicos de la aplicación de este escenario puede verse en los sistemas de peaje electrónico donde, el vehículo se comunica con la infraestructura para realizar el pago de tasa respectiva (Shieh *et al.*, 2006) o en los sistemas de electrónicos de parking respectivamente.

(Togashi & Yamada, 2009) expone que una de las tecnologías más empleadas en este escenario es la identificación por radiofrecuencia RFID, empleada en algunos sistemas de telepeaje. De igual forma, (Eamsomboon *et al.*, 2008) analizan que para el escenario V2I, las tecnologías Zigbee y Wi-Fi también pueden ser utilizadas en la construcción de RSU y concluyen que a mayor cantidad de RSU el escenario de comunicación V2I será más estable.

Por último, la tendencia de este escenario es equipar a la RSU y por su puesto a la OBU con los estándares IEEE 802.11p y IEEE 1609.XX (WAVE) ya que ambos contribuyen a la convergencia de servicios y permiten que el escenario V2I sea más dinámico.

Escenario Infraestructura a vehículo (I2V)

Es análogo al anterior con la diferencia de que gran cantidad de redes de telecomunicaciones y diversas tecnologías lo apoyan,

principalmente algunas de ellas son *Wi-Fi*, *Wi-Max*, *WAVE*, *CALM M5*, *CALM IR*, *CEN DSRC*, *UMTS/HSPA*, *GSM/GPRS/EDGE*, *LTE*, *RDS*, *DAB*, *DVB*, *RFID* y *Zigbee* (Böhm M *et al.*, 2008; Ernst *et al.*, 2009; Mehta & Guinan, 2007; Tsuboi *et al.*, 2009). Al ver tal cantidad de tecnologías se presenta como uno de los escenarios más propicios para la prestación de servicios de valor agregado pero de forma contraria, es uno de los escenarios que más dificulta la prestación de servicios dado que muchas de sus tecnologías trabajan de forma específica o ad-hoc.

De nuevo, las unidades de carretera o RSU vuelven a tomar protagonismo en este escenario ya que interactúan en la comunicación entre la infraestructura y el vehículo (Jhang & Liao, 2008). Por ello, La RSU comienza a recibir gran atención por parte de la comunidad científica de los ITS por el simple hecho de que su despliegue coherente contribuiría a la prestación servicios ya que actúan como punto de acceso no sólo, para la red vehicular (Zhang *et al.*, 2009) sino también para la obtención de datos acerca de la misma infraestructura.

Uno de los sistemas que ejemplariza de forma global este escenario son los paneles de mensajería variable (Variable Message Signs-VMS), empleados para desplegar mensajes de forma visual al usuario ITS (Chatterjee *et al.*, 2002). Tales sistemas incorporan una RSU que posibilita que los operadores de tráfico puedan gestionarlos y con ello sea posible alertar a los usuarios ITS sobre las posibles incidencias que tiene lugar en la infraestructura.

Por último, destacamos uno de los trabajos más interesantes que se han realizado para este escenario, relacionado con la integración de varias tecnologías difusión (RDS, DAB o HD-Radio) las cuales normalmente trabajan de forma independiente. Concretamente (Ihmig & Herkersdorf, 2009) han diseñado un nuevo receptor de radio capaz de operar en cualquiera de las tecnologías mencionadas lo que significa que se reducen los costos en hardware y que se aumentan las posibilidades de prestación de servicios. No obstante esto es solo una propuesta pero contribuye altamente a la convergencia de servicios dentro de este escenario.

Escenario Infraestructura a Infraestructura (I2I)

Es el escenario donde la infraestructura se comunica consigo misma ya que como tal se encuentra descentralizada en diversos

centros de gestión de tráfico (Traffic Management Center-TMC) (Ver Figura 18) los cuales deben comunicarse entre sí para cubrir toda la red de transporte.

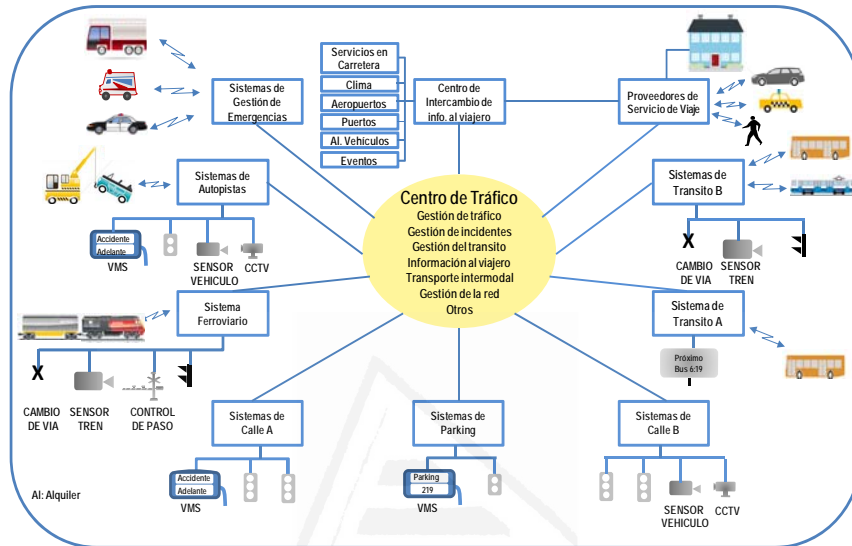


Figura 18. Central de información Tráfico

En este escenario hacemos gran hincapié en las centrales de gestión de tráfico ya que actúan como un centro neurálgico para los ITS, y son, como lo describió (Einemann & Paradiso, 2004), el punto de partida la creación del concepto de ciudad digital. Tales centros tienen la función de vigilar, recolectar, y gestionar lo que acontece a lo largo de la infraestructura de transporte, concretamente, se encargan de integrar tecnologías, agencias y información non el fin de mejorar la seguridad y la eficiencia de la red de transporte (Cluett *et al.*, 2006).

Como exponen (Chowdhury & Sadek, 2003), el escenario I2I alberga gran cantidad de dispositivos y sistemas tales como los circuitos cerrado de televisión CCTV (Closed Circuit Television-CCTV), VMS, y otros subsistemas de información al viajero, etc los cuales deben ser integrados de forma estandarizada.

Si observamos las tecnologías que componen el escenario I2I, encontraremos que medios tecnológicos tales como Wi-Fi, Ethernet, Fibra óptica, enlaces redundantes mediante GSM, lo

apoyan de forma general con el objetivo de sustentar la gestión de tráfico como tal.

Vista la función general de tal escenario es preciso destacar que una macro iniciativa llamada CALM (*Communications Access for Land Mobiles-CALM*) propone estandarizar a los escenarios V2V, V2I, y I2V lo que contribuiría de forma general al escenario I2I que como tal, también es responsable en gran parte de la convergencia de servicios ITS. La macro iniciativa CALM (Schalk, A. *et al.*, 2007) opera bajo el grupo de trabajo 16 del comité técnico ITS ISO/TC 204 (ISO/TC_204/WG_16, 2008), con el apoyo paralelo del consorcio “Car-to-Car” (C2C, 2008) (Ver Figura 19) y del foro ComEsafety donde se busca incesantemente la convergencia de servicios, de estándares y por supuesto, la eficiencia y la seguridad de los usuarios ITS.

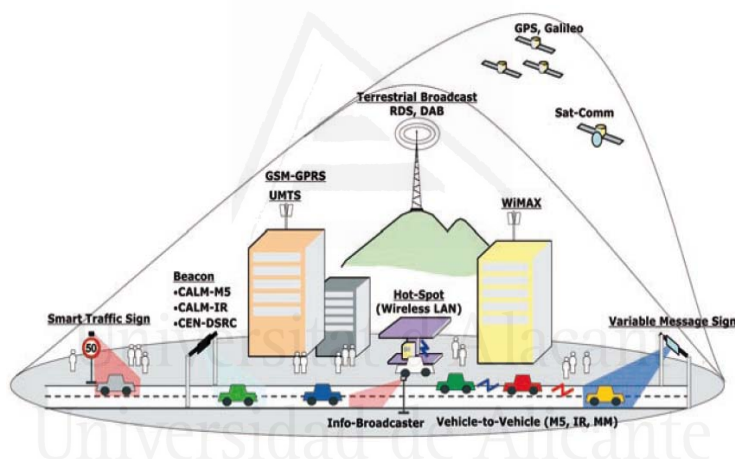


Figura 19. Visión Global de CALM (Schalk, A. *et al.*, 2007)

Para finalizar, es importantísimo destacar que la aparición de la nueva tecnología de comunicaciones en redes móviles llamada LTE (Long Term Evolution-LTE) podrá apoyar y hasta cambiar muchos de los esquemas concebidos en la actualidad en los ITS y será una parte importantísima para el despliegue de servicios MBMS (Multicast/Broadcast Multimedia Service) debido a su gran ancho de banda y a sus funcionalidades para la prestación de servicios (Wetterwald, 2009).

A continuación, observemos una de las tecnologías que se destacan en los escenarios de comunicaciones y que a su vez forman parte de las redes vehiculares.

Tecnologías ITS destacadas y especiales

En este apartado sólo haremos énfasis en las tecnologías de comunicaciones dedicadas de corto alcance o DSRC, debido a su papel actual y futuro para el despliegue de servicios ITS (SIRIT, 2005). Como lo expone (Eichler, 2007), la tecnología DSRC tiene como objetivo principal, mejorar la seguridad y reducir los accidentes mediante el intercambio de mensajes entre los mismos vehículos (OBU ↔ OBU), los vehículos con la infraestructura (OBU → RSU), o viceversa (RSU → OBU). Por tanto, hace parte del escenario VANET. El problema que acarrea tal tecnología es que cuando el número de vehículos (considerados como nodos) tiende a aumentar, se incrementa paralelamente el número de colisiones en la transmisión de mensajes, causando que en escenarios densos su diseminación se vea obstruida, impidiendo así, la prestación de servicios (Eichler, 2007).

Una de las grandes discusiones a las que se enfrenta tal tecnología es que se encuentra desplegada en diferentes bandas de frecuencia (ver Figura 20) en múltiples países, causando una gran incompatibilidad tecnológica a ambos lados del atlántico y del pacífico. Por tanto, esto ha producido un mercado cerrado y poco productivo para todo el escenario de ITS ya que si se trata de extender una solución general a lo largo de los países fronterizos, será muy difícil alcanzar la convergencia de servicios.

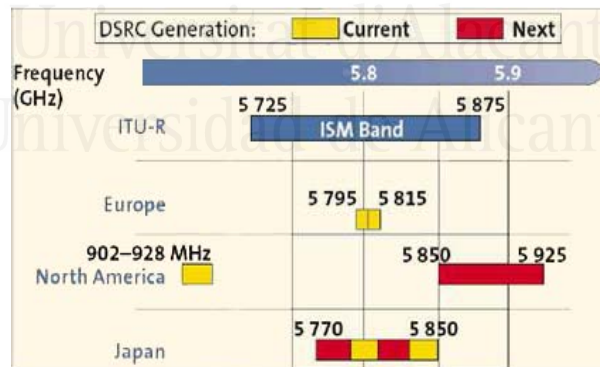


Figura 20. Asignación de frecuencias en DSRC (Böhm M *et al.*, 2008)

Aunque en la actualidad, es una tecnología que apoya diversos sistemas utilizados en el transporte, ahora se ve enfocada a las VANETs pero debe hacerse de forma estandarizada para que se logre la convergencia de servicios ITS, es decir, que en cualquier

momento un usuario ITS pueda explotar los servicios de la infraestructura de transporte sin que se presente ninguna incompatibilidad tecnológica añadida.

El escenario VANET se encuentra en pleno desarrollo y aún falta tiempo para su despliegue general pero esto no significa que no sea tenido en cuenta en nuestro modelo porque busca igualmente la convergencia de servicios.

Luego de analizar las tecnologías referentes a los escenarios de comunicación de ITS, es el momento de analizar las tecnologías orientadas a la navegación con el objetivo de conocer sus conceptos, bondades y servicios para utilizarlas en el planteamiento de nuestra investigación.

Tecnologías de Navegación y Servicios

Sistemas de Posicionamiento Global GPS

Es un sistema de navegación basado en satélites, desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos bajo el programa NAVSTAR (Herring, 1996), basado en 24 satélites activos uniformemente dispersados alrededor de seis orbitas circulares compuestas de 4 satélites. Las orbitas están inclinadas en un ángulo de 55° relativos al ecuador y separadas por múltiplos de 60° en ascensión derecha, son no geoestacionarias y son aproximadamente circulares con un radio de 26560 kilómetros y periodos orbitales de un día sideral (11.967 horas aproximadamente) (Grewal *et al.*, 2007). Teóricamente siempre están visibles tres satélites desde la mayoría de la superficie terrestre y cuatro o más, pueden ser utilizados para determinar la posición del observador durante las 24 horas del día.

Dentro sus características más relevantes se destaca es que puede ser empleado por un número ilimitado de usuarios al mismo tiempo, siempre y cuando, los receptores de los usuarios operen de forma pasiva (Kaplan & Hegarty, 2006).

Por otra parte, desde el punto de vista de servicios, el GPS utiliza dos señales que atienden los servicios de navegación. En este sentido, como lo expone (Misra *et al.*, 1999), las señales utilizan dos frecuencias, L1 (1575.42Mhz) y L2 (1227.60Mhz). La primera, relacionada con el código grueso o de adquisición (Coarse/Acquisition -C/A), responsable de la localización como tal y la segunda, relacionada con el código de la precisión o P,

responsable igualmente de la localización pero es muchísimo más preciso, a tal punto, que sólo es utilizado por las fuerzas militares. La capacidad para interpretar los códigos mencionados va directamente relacionada con el servicio que disfruta el receptor del usuario. Por ejemplo, (Enge, 1994) afirmó que si un usuario ITS utiliza el código C/A puede determinar la posición según el servicio SPS (Standard Positioning Service), con una precisión por debajo de los 15 metros para el 95% de los casos o por el contrario, afirmó que si se utilizasen ambos códigos, C/A y P, es posible aprovechar el servicio PPS (Precise Positioning Service) que brinda una precisión por debajo de los 10 metros para la mayoría de los casos. No obstante, la utilización del servicio PPS solo es para fines militares, por ello, el código P es encriptado y origina otro tipo de código llamado Y, que no es accesible para los usuarios.

Según lo descrito anteriormente, el GPS sólo ofrece servicios de posicionamiento, y de acuerdo a los requerimientos crecientes de servicios de valor agregado, a partir del proyecto GALILEO, sistema de navegación Europeo, se ampliarán dichos servicios mediante la definición de nuevas señales entre el satélite y sus receptores (Trautenberg *et al.*, 2004).

Sistema Europeo de Navegación Galileo

Es una iniciativa Europea gestada desde 1998, actualmente en desarrollo, y estaría compuesta por una constelación de 30 satélites divididos en tres órbitas circulares con un radio de 23000 kilómetros para cubrir toda la superficie terrestre (Kaplan & Hegarty, 2006). Su propósito general, está enfocado hacia el apoyo de los sectores civiles, y tiende a imponerse con nuevos servicios ante sus predecesores es decir, GPS y GLONASS (Alkan *et al.*, 2005) (European Commission, 2007a).

Una de las grandes diferencias de dicha iniciativa frente a sus competidoras es que proporcionará diversos servicios al usuario, a parte de los conocidos de posicionamiento (Trautenberg *et al.*, 2004). Los nuevos servicios han sido agrupados en cinco grupos base que son: servicio abierto (open service-OS), servicios de seguridad de vida (Safety of Life-SOL), servicios comerciales, servicios públicos regulados (Public Regulated Service-PRS) y servicios de búsqueda y rescate (Search and Rescue-SAR). Por lo tanto, la idea de incluir nuevos servicios en los sistemas satelitales es otra clara señal de la necesidad de integración de tecnologías y ahora desde tierra al satélite y luego a sus usuarios.

Dentro de las propuestas que hemos analizado con respecto al despliegue de servicios en el sistema GALILEO, nos encontramos con el reciente proyecto GINA cuyo objetivo es el de analizar cuáles son los obstáculos para el despliegue de servicios teniendo como base, el reciente sistema de aumentación EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service-EGNOS) encargado de la corrección de señales de posicionamiento (Lanza *et al.*, 2009). Es de tal importancia EGNOS que brindará incluso, una precisión menor a 2 metros lo que infiere que los servicios serán de alta calidad. Actualmente, para la corrección de errores es muy utilizado el sistema WAAS (Wide Area Augmentation System-WAAS), gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y cumple la misma función que EGNOS siendo ambos compatibles.

Para finalizar, es importante destacar que el sistema GALILEO, utilizado para fines civiles, es un sistema abierto y no cerrado como su predecesor (GPS) creado para fines militares.

Sistema de Posicionamiento Ruso GLONASS

Utiliza 24 satélites de mediana órbita (MEO) de los cuales 18, ya están en órbita y los restantes, serán lanzados entre 2010 y 2011. (Grewal *et al.*, 2007; Lechner & Baumann, 2000). El sistema está siendo desplegado en tres planos orbitales separados uno de otro por múltiplos de 120° en ascensión derecha y compuesto por 8 satélites uniformemente distribuidos. Las órbitas tienen una inclinación de 64.8° con respecto al ecuador y una longitud de 25510 kilómetros aproximadamente.

Desde el punto de vista de servicios, GLONASS al igual que el sistema GPS, ofrece dos niveles de servicios de localización. El primero, basado en el canal de precisión estandarizada CSA (Channel of Standard Accuracy-CSA), disponible para todos los usuarios civiles, y tiene una precisión horizontal de 60 metros en y una precisión vertical de 75 metros para el 99.7% de los casos (Lechner & Baumann, 2000). El segundo, llamado canal de servicios de alta precisión CHA (Channel of High Accuracy-CHA) disponible solo para usuarios autorizados.

Sistema de Navegación CNSS COMPASS/Beidou

Es la solución China para los sistemas de posicionamiento, estaría compuesto por 35 satélites de los cuales, cinco estarían en órbitas GEO y los restantes en órbitas MEO (Taverna, 2008).

Beidou estaría enfocado a proporcionar servicios de rastreo de flotas, del estado del tiempo, de producción petrolera, de prevención de incendios y desastres y por último, de seguridad pública (aplicaciones militares) (Hongwei *et al.*, 2007)

Su precisión es menor a 100 metros y el tiempo de respuesta puede variar entre 1 y 5 segundos para que el usuario reciba la señal, dependiendo del tipo de usuario.

Esta iniciativa recientemente ha evolucionado y ha sido llamada Compass o Beidou-2, y proporcionará como tal dos servicios de navegación. El primero, es el servicio abierto, diseñado para proveer al usuario su posicionamiento con una precisión de 10 metros, una velocidad de 0,2 metros por segundo y una precisión de tiempo de 50 nanosegundos. El segundo, es para usuarios autorizados y brindará bajo conexiones seguras, servicios de información adicional acerca de la integridad del sistema (Hongwei *et al.*, 2007).

Luego de analizar los principales sistemas de navegación, observamos que su mayoría, tiende a integrar nuevos servicios aparte del general de posicionamiento por lo que es clave comenzar a establecer nuevos modelos que permitan la convergencia de servicios para fines civiles y más en el ambiente de movilidad en que vivimos. La cuestión es que el diseño que tienen actualmente los dispositivos de navegación los hace débiles frente a la prestación de servicios por ello, a continuación, analizamos cuáles son sus limitaciones y cómo podemos combatirlas.

Limitaciones de los Sistemas de Navegación

Partiendo de lo estudiado por la Fundación Instituto Tecnológico para la seguridad del Automóviles (FITSA, 2007), los sistemas de Navegación actuales poseen una serie de limitaciones, constatadas claramente, cuando el usuario está viajando por carreteras de menor orden, donde, la información disminuye en cantidad y calidad.

(Robinson, 2008) identifica que una de las principales limitaciones de dichos sistemas es que sólo brindan información acerca de la posición actual y la velocidad, asimismo, expone que la nueva expansión de dispositivos de navegación personal (PND Personal Navigation Device) junto con la utilización de teléfonos inteligentes, hará posible el despliegue de nuevos y distintos servicios.

Por su parte, (Harms & Patten, 2003) identifica otra limitación para dichos sistemas, relacionada con la forma de visualización de los datos, argumentando que las plataformas actuales son poco ergonómicas y más, cuando los usuarios son personas de edad avanzada. Por el contrario, (Spies *et al.*, 2009) afirma que desde los años 70's se ha impulsando la tecnología HDU (Head up Display), capaz de proyectar información de tráfico sobre el parabrisas del vehículo (ver Figura 21) lo que evita problemas de ergonomía. Tal tecnología podría ser considerada como un sistema que permitiría la prestación de ciertos servicios ITS de valor agregado, por ello, (Mancuso, 2009) presentó recientemente HDUs que han integrado distintos servicios utilizando incluso, los retrovisores del vehículo para desplegar servicios relacionados con la señalización de tráfico.



Figura 21. Orientación a la navegación mediante Head Up display (Mancuso, 2009; Palmer, 2006)

Es claro que aun existen muchas más limitaciones para tales sistemas pero poco a poco están siendo minimizadas debido a la explosión de nuevos dispositivos que incorporan la funcionalidad de sistemas de sensorización y posicionamiento.

Una de las formas más utilizadas para combatir tales limitaciones se da mediante la utilización de tecnologías de radio que operan de forma paralela junto a los sistemas de navegación, por ello, a continuación presentamos tales tecnologías dado que apoyan el despliegue de algunos servicios ITS.

Tecnologías de radio que apoyan a los sistemas de navegación para la provisión de servicios

Antes de comenzar a analizarlas es importante mencionar que en contexto de los ITS, las centrales de información de tráfico

utilizan un canal de comunicaciones especializado para los difundir los mensajes de tráfico llamado TMC (Traffic Message Channel- TMC). Dicho canal, apoyado por las radiodifusoras, es ampliamente utilizado por los países más desarrollados (ver Figura 22) dada su importancia para el crecimiento económico (TMC_FORUM, 2010).

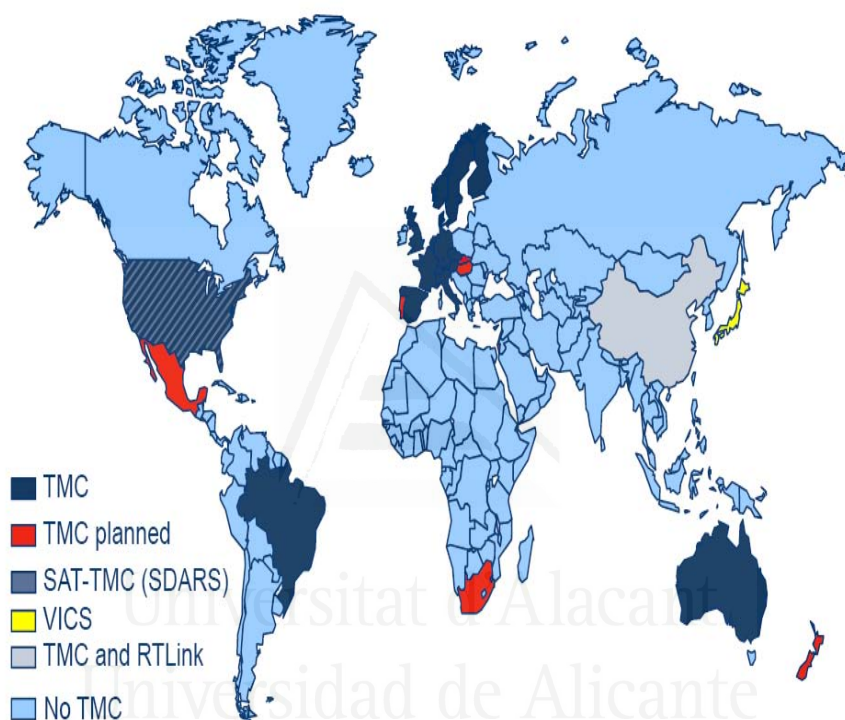


Figura 22. Cobertura del canal TMC en el mundo (Hendriks, 2009)

Mencionado lo anterior, los sistemas de navegación hacen uso de varias tecnologías de radio que explotan el TMC para su beneficio y de ellas, destacamos al sistema analógico RDS (Radio Data System), utilizado ampliamente en Europa, el sistema DAB (Digital Audio Broadcasting), actualmente en pruebas en diversos países y por último, la tecnología HD-RADIO (HD: Hybrid Digital), solución que toma fuerza en el continente Americano para la prestación de servicios de valor agregado. A continuación describiremos de forma resumida tales sistemas, dada su importancia en la prestación de servicios ITS de valor agregado.

RDS-TMC

Es una tecnología empleada para desplegar información de tráfico a los usuarios pero para lograrlo, los usuarios deben ser poseedores de un sistema de recepción adecuado que sepa interpretar los mensajes enviados desde la central de tráfico (Van Coile *et al.*, 1997). La tecnología RDS-TMC (Radio Data System Traffic Message Channel-RDS-TMC) permite enviar datos a los usuarios mediante señal inaudible en la franja espectral de FM (CENELEC, 1998). Dichos datos, relacionados con bases de datos geográficas o información acerca de los segmentos de la carretera ayudan al usuario a conocer pasivamente el estado de la carretera pero de manera muy estática y lenta. (Davies & Milton, 1994) expone que dicho sistema emplea el protocolo ALERT-C, creado desde el proyecto DRIVE (Catling, 1988), para decodificar los mensajes relacionados con el estado de la carretera.

En síntesis, la información brindada por el RDS-TMC es desplegada de forma visual mediante mensajes de texto en los receptores de radio ubicados al interior del vehículo (Van Coile *et al.*, 1997).

Según las estadísticas de la Asociación de Servicios de Información al Viajero (TISA), RDS-TMC es ampliamente utilizado en Europa y América, aunque en Norteamérica emplean uno muy similar, el RBDS (Radio Broadcast Data System) pero este último comienza a ser soslayado por el nuevo enfoque digital HD Radio.

Por su parte, (Matschke & Lädke, 2005) afirman que el RDS-TMC ha hecho evolucionar los navegadores actuales, en el sentido de que es posible la prestación de algunos servicios como por ejemplo el de recalculer rutas de forma dinámica.

Si nos trasladamos al continente Asiático, concretamente a Japón, el RDS-TMC ha sido ampliamente utilizado y es uno de los mayores sistemas que sustenta el proyecto VICS enfocado a la prestación de servicios en los ITS (Kanoshima & Hatakenaka, 2008).

DAB

DAB (Digital Audio Broadcasting) o Eureka 147 es un estándar de emisión de radio digital. Su crecimiento a nivel mundial ha sido bastante acotado y como puede observarse en la Figura 23 (WorldDAB, 2010) comienza a tener presencia en gran cantidad de países.

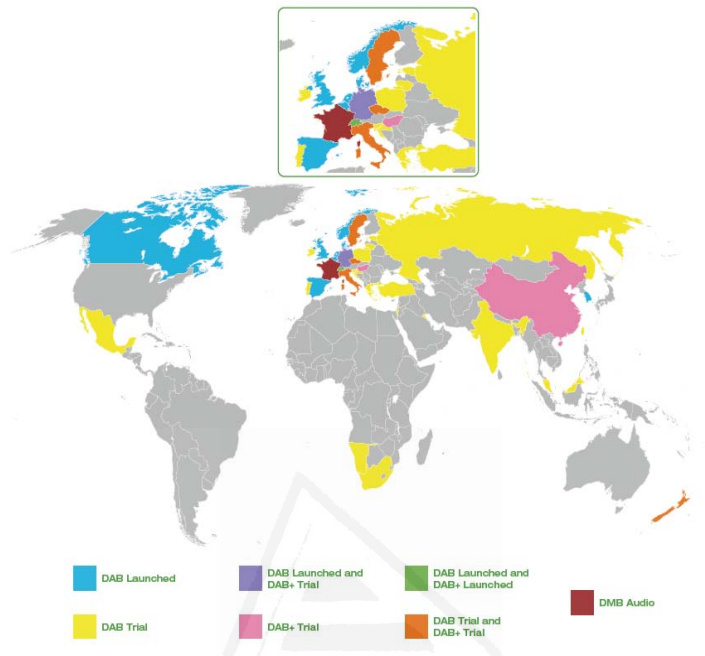


Figura 23. DAB en el mundo (WorldDAB, 2010)

(Rudin, 2006) afirma que uno de sus grandes impulsores es el Reino Unido, primer país que implementó un servicio ITS empleado DAB y en el que participaron la BBC y radiodifusoras comerciales en Londres. No obstante, (Holm, 2007) confronta a DAB y a FM y concluye que en DAB se degrada la calidad de audio del FM analógico, por lo tanto, su introducción tanto para los servicios de radiodifusión y servicios con la navegación sigue un ritmo muy lento y actualmente está siendo mejorada.

En febrero de 2007 se lanzó una versión actualizada del sistema DAB llamada DAB+ que no es compatible con los equipos receptores anteriores, causando así otro dolor de cabeza tecnológico. El DAB+ es aproximadamente dos veces más eficiente que el DAB ya que utiliza un nuevo códec de audio AAC+ (Advanced Audio Coding - ACC) que mejora en gran medida a su predecesor (WorldDAB, 2007).

En cuanto a los servicios de navegación, (Hallett & Hintz, 2010) afirman que dicha tecnología apoyará el despliegue y la prestación de servicios pero para ello, deben de ser creadas las políticas adecuadas para extenderlos. Además, la migración hacia

sistemas DMB (Digital Multimedia Broadcasting), en los que se incluye DAB, está bastante lejos dada la madurez de la tecnología analógica de FM.

Dentro del contexto ITS, la tecnología DAB, los sistemas de navegación y el canal de TMC son elementos fundamentales para el despliegue, la prestación y la provisión de servicios ITS de valor agregado (Cho *et al.*, 2006), tanto así, que la Asociación de Servicios para la Información al Viajero está impulsando un nuevo protocolo que va sobre DAB desarrollado por el TPEG (Transport Protocol Experts Group) el cual tiene varias directrices para atender diversos servicios ITS y que se presenta incluso como estándar actual y futuro en el ISO TC 204 (Hendriks, 2009).

El protocolo incluso, tiene el mismo nombre que el grupo de trabajo y (Bures, 2009) ha presentado recientemente una arquitectura que si se extiende adecuadamente, pondría en práctica sus bondades por lo que sería posible la prestación de servicios en especial, cuando son dichos servicios son brindados por las centrales de información de tráfico.

HD-Radio

Aprobada por la Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission-FCC) en el año 2002 como un sistema de emisión de datos digital que funciona sobre las bandas de AM y FM (FCC, 2002). Es empleada para la transmisión de audio digital y datos junto con los sistemas análogos de radio. (Struble *et al.*, 2006) presenta sus principales beneficios:

- Emisión de FM con calidad de CD (Audio digital).
- Emisión de AM con sonido de FM estéreo
- Generación de servicios de datos, tales como despliegue de mensajes de texto sobre la pantalla del receptor, despliegue de títulos de canciones y artistas, pronósticos del clima, y información sobre records deportivos, etc.
- Servicios de audio y de datos avanzados tales como información de tráfico en tiempo real, sonido surround, servicios de audio bajo demanda, compra de tickets de conciertos, servicios de suscripción, etc.

De la misma forma, expone que sus servicios son limitados, pero no debido a los datos recibidos por AM y FM sino a las

capacidades de transmisión y recepción de los equipos de radio, aun así, su tendencia de crecimiento va en aumento (Ver Figura 24).

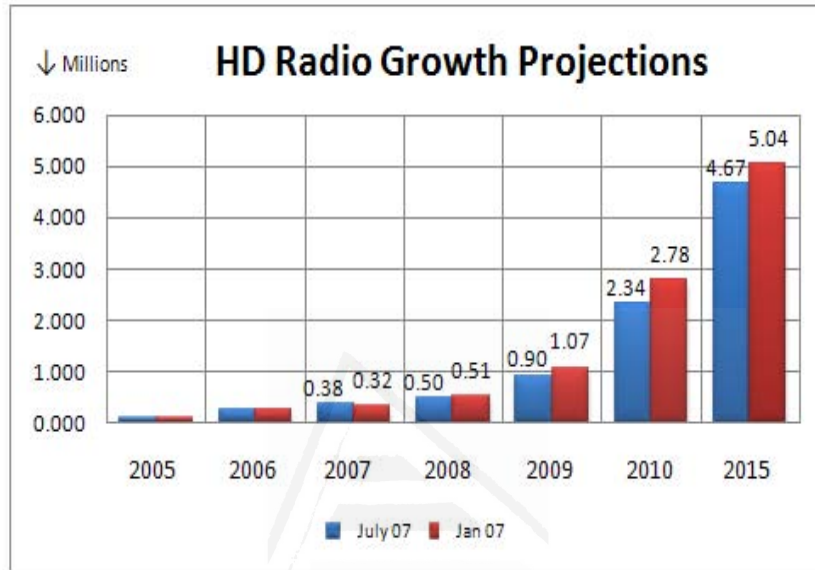


Figura 24. Proyecciones de crecimiento de la tecnología HD radio (Brigdge_Rattings, 2007)

En Europa, no ha sido muy bien vista por el sector automovilístico (BMW, VOLVO y AUDI) que afirma que no es muy buena para la transmisión digital de datos por tres razones. La primera es por la tasa de error de bits (BER) empleada, propensa a desbordamientos a causa de la relación señal a ruido utilizada; la segunda, por los esquemas de modulación usados, es decir, COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing-COFDM), frágiles para los ambientes donde transitan los vehículos; y la tercera, por las técnicas de modulación y codificación utilizadas dado que propenden a la generación de nuevos armónicos permanentes que degradan enormemente el rendimiento el sistema (Koch, 2009)

En Europa, no ha sido muy bien vista por el sector automovilístico (BMW, VOLVO, AUDI) que afirma que no es muy buena para la transmisión digital de datos por tres razones. La primera es por la tasa de error de bits (BER) empleada, propensa a desbordamientos a causa de la relación señal a ruido utilizada;

la segunda, por los esquemas de modulación usados, es decir, COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing-COFDM), frágiles para los ambientes donde transitan los vehículos; y la última, por las técnicas de modulación y codificación utilizadas dado propenden a la generación de nuevos armónicos permanentes, degradando entonces, enormemente el rendimiento el sistema (Koch, 2009).

En conclusión, las tecnologías de radio que apoyan a los sistemas de navegación para la provisión de servicios están siendo desplegadas poco a poco y aún, deben tomar mayor presencia a nivel mundial. De tales tecnologías, podemos concluir que DAB+ es una gran alternativa dado que soporta muy buena fidelidad de audio y tiene gran potencialidad para la prestación de servicios ITS pero su baja penetración, la soslaya ante el mercado ITS por lo que es una apuesta poco fiable. Además, de acuerdo a los servicios ITS mencionados en la investigación, aún muchos países presentan una gran brecha digital para la incorporación de las mismas por lo que la prestación de servicios ITS de valor agregado a través de ellas, aún está lejos, así que es preciso analizar otros enfoques para la prestación de servicios ITS.

A continuación, analizamos las tecnologías emergentes empleadas en la recolección de información a lo largo de la infraestructura y lo hacemos porque son básicas para la generación de servicios ITS y críticas para determinar el estado de la infraestructura. Por lo tanto, en esta investigación dichas tecnologías comienzan a impactar en gran forma el sector ITS y más, del lado de la carretera, por ello, son analizadas a continuación.

Tecnologías Emergentes

Antes de comenzar, aclaremos que el término de tecnologías emergentes es bastante amplio por tanto, lo centraremos en las tecnologías de la información que generan el concepto de inteligencia ambiental. Tal concepto, nace a partir de una gran cantidad de pequeños dispositivos embebidos con altas capacidades de cómputo y que pueden ser desplegados fácilmente por alguna zona específica (Rakotonirainy & Tay, 2004) convirtiéndola, en una zona inteligente donde es posible conocer muy bien sus características a partir de las variables monitorizadas.

La tendencia de la computación embebida o computación ubicua, termino bastante utilizado hasta ahora, ha adquirido muchísima fuerza y más aun, desde que Mark Weiser, un célebre científico que trabajo para Xerox introdujera dicho termino en el artículo titulado “La computación del siglo 21” (Weiser, 1991). Tanto ha sido el impacto que esta nueva visión ha producido a nivel global que ha desencadenado el desarrollo de una gran cantidad de proyectos relacionados con tecnologías de monitorización emergente y más ahora, cuando la sociedad se desenvuelve en un mercado de servicios.

Una de las tecnologías que ha surgido en respuesta a esta tendencia son las redes de sensores inalámbricos (WSN: Wireless Sensors Networks), que en sus inicios fueron denotadas por el MIT (Massachusetts Institute of Technology-MIT) como una de las 10 tecnologías que van a cambiar el mundo (Culler, D., 2003).

(Sohraby *et al.*, 2007; Zhao & Guibas, 2004) las describen como una tecnología compuesta por una infraestructura que abarca elementos de monitorización, computación y comunicación y dan a su administrador como por ejemplo, entidades gubernamentales, civiles, industriales, o comerciales, la capacidad de observación, de reacción a los eventos y fenómenos en un ambiente específico. Por tanto, tales redes tienden a expandirse dadas sus características y bondades ya que son idóneas para el diseño e implementación de una gran gama de aplicaciones (Khichar & Shivanandan Upadhyay, 2010).

Su aceptación, en el ámbito investigativo, industrial, y en los ITS ha sido muy buena, por ello, han surgido centros dedicados a la recolección y procesamiento de su información como por ejemplo, SenSIP (*Sensor Signal and Information Processing Center*) (SENSIP, 2007), o incluso, centros de investigación enfocados a su desarrollo como por ejemplo, CENS(*Center for Embedded Networked Sensing*) (CENS, 2002).

Si consultamos el impacto que va a tener tal tecnología, (ABI, 2009), gran firma consultora de mercado, pronostica que su crecimiento (ver Figura 25) y utilización tienden a aumentar de forma significativa para los próximos años debido a que muchos sectores económicos demandarán sus servicios.

Igualmente, la penetración de la misma, comienza a ser evaluada a través del comité técnico para las tecnologías de la información ISO JTC 1, específicamente a través del grupo de trabajo 7, de reciente formación (ISO/JTC1_WG7, 2009). Dicho grupo, trabaja

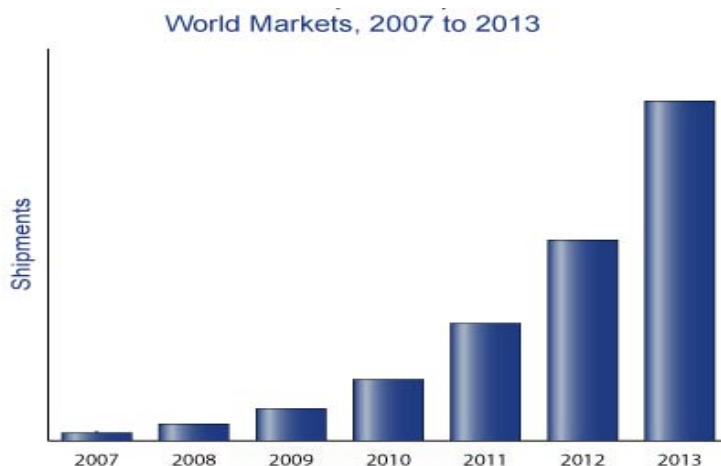


Figura 25. Pronósticos de crecimiento de las WSN (ABI, 2009)

conjuntamente con el comité técnico de ITS (ISO /TC 204) debido a tal tecnología puede ser empleada para el despliegue de servicios en el transporte (Tubaishat *et al.*, 2009).

Además, las WSN están siendo incorporadas en gran cantidad de proyectos relacionados con los ITS y algunos de ellos son: (TRACKSS, 2008), (EMMA, 2009), (AWARE, 2009), (SAFESPOT, 2008), (GMES, 2008).

A continuación, los siguientes apartados están asociados a las WSN con el fin de recoger sus principales ventajas y desventajas y otros parámetros que la diferencian de otras soluciones enfocadas a la monitorización para así, lograr extraer sus principales bondades que pueden beneficiar la prestación de servicios buscada en nuestra investigación.

Evolución de las Redes de Sensores

(Yemini & Lazar, 1982) identificó que la distribución de redes de sensores tiene comienzos en los años 80s, cuando surge la necesidad de crear arquitecturas distribuidas de sensores para solucionar problemas a nivel industrial. El problema inicial consistía en construir una arquitectura que pudiera integrar la monitorización, el procesamiento y la comunicación de los datos mediante tecnologías como la Inteligencia Artificial o tecnologías en computación o integrando ambas.

(Warrior, 1997) por su parte, planteó las tres generaciones que determinaron el desarrollo de las redes de sensores. La primera, da como participe principal a la electrónica analógica dado que era fundamental para el acondicionamiento de señales; la segunda, tuvo dos grandes aliados, el desarrollo del microprocesador y el desarrollo de los estándares de comunicación RS232, RS422, y RS485 estimulando así, el desarrollo de redes de sensores y actuadores; y la tercera fue a partir del desarrollo del estándar MMS (*Manufacturing Messaging Specification*) que representaba un concepto temprano para el intercambio de mensajes entre los procesos que supervisaban y controlaban tales redes (Decotignie & Gregoire, 1989).

En la era de los 90s se implementaron nuevos protocolos para la comunicación entre dichas redes, creando así, protocolos como Profibus, HART, Fieldbus, o el mencionado CAN.

Luego en el año 93, aparecen los circuitos integrados capaces de manejar transmisiones inalámbricas de datos a altas frecuencias de hasta 2.4GHz (Devlin *et al.*, 1993) o incluso en los 902MHz (Asada *et al.*, 1997), ambos, operando en bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) (UIT, 2008) por lo que tales circuitos se postulaban como grandes sistemas de transmisión de datos que impactaría el escenario de las redes de sensores. Seguidamente, los avances en miniaturización desataron la construcción de un amplio rango de redes de sensores con capacidades de transmisión inalámbrica. Uno de los primeros trabajos en alcanzar el término de plataforma de redes de sensores fue el presentado por (McLurkin, 1999) llamado WeC o en otro caso, la plataforma propuesta por (Hollar, S. E.-A., 2000) llamada RfMotes.

De la misma forma, (Hill, 2000) presentó un gran trabajo que determinaría el desarrollo de tal tecnología porque había incorporado una arquitectura de software capaz de intercambiar mensajes entre los nodos sensores.

No obstante, los avances en microelectrónica ayudaron mucho a la conformación de redes de sensores pero a su vez, desataron una de las mayores preocupaciones para su despliegue y era el alto consumo energético que generaban sus transmisiones inalámbricas. Por esa razón, comenzó otra revolución tecnológica en otro frente, centrado principalmente en la creación de nuevas tecnologías inalámbricas capaces de transmitir datos empleando un mínimo consumo energético y mayor velocidad.

Por lo tanto, (Haartsen, 1998) presentó la especificación de la nueva tecnología Bluetooth que ofrecía la comunicación como máximo entre 8 dispositivos, una alta velocidad de datos y un consumo energético adecuado. Al tener dichas características luego se convertiría en un estándar de facto. Paralelamente (Gutierrez *et al.*, 2001) argumenta que otros grupos de investigación estaban interesados en el desarrollo de un nuevo estándar que tuviera aún menos consumo energético y que estuviera más orientado a la industria. En este sentido, se desarrolló la tecnología Zigbee que ofrecía y ofrece transmisiones inalámbricas de datos a muy baja potencia, presentándose entonces, como una tecnología que está actualmente revolucionando el sector de la monitorización y control e incluso el de los ITS.

A partir de dichas revoluciones y sabiendo las capacidades de tales circuitos se procede entonces a diseñar un nuevo tipo de nodo sensor llamado sensor inteligente (Culler, D. E. & Mulder, 2004).

Sensor Inteligente

Un sensor inteligente se define como aquel que tiene la capacidad de incorporar un circuito de acondicionamiento de señales, de amplificación, de conversión (análogo / digital), de auto-identificación, de auto-diagnóstico, de calibración, de conversión de unidad de la ingeniería de datos de salida, un microprocesador y un sistema de comunicaciones (Geraldine *et al.*, 2004)(Ver Figura 26).

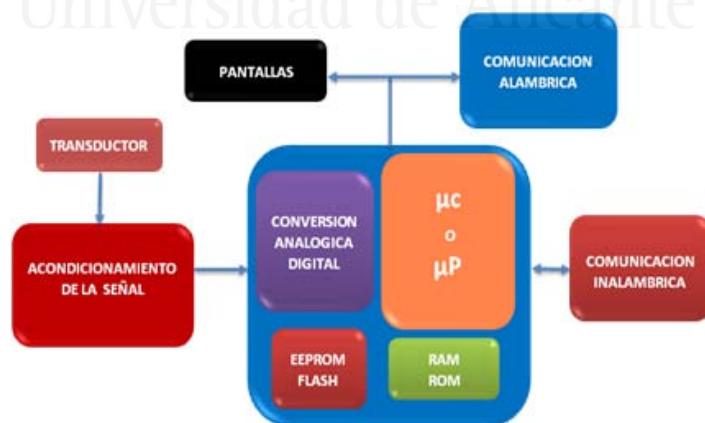


Figura 26. Diagrama de un Sensor Inteligente

Como puede observarse de la Figura 26, el sensor inteligente tiene auto-contenidos diversos módulos asociados a sus elementos de medición, control, y comunicación. Desde el punto de vista de normalización, tales módulos, propuestos por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) (Song & Lee, 2008), dieron pie a establecer el estándar IEEE 1451, dedicado a normalizar los procedimientos para implementar la interfaz electrónica de tales sensores. De tales módulos, específicamente el de comunicaciones, ocupa un gran rol para la conformación de la red de sensores dada su funcionalidad de intercambio de mensajes con otros nodos. Llegados a este punto, es preciso destacar que tal módulo sigue en crecimiento y aún deben evaluarse las tecnologías más apropiadas que lo constituyen. Por tanto, a continuación analizamos las tecnologías inalámbricas que toman parte en el despliegue de sensores para determinar cuál es la más apropiada según los requerimientos de los ITS.

Tecnologías Inalámbricas para redes de sensores

Actualmente, distintas soluciones inalámbricas son empleadas para la construcción de redes de sensores pero para saber cuál es la más adecuada, es preciso tener en cuenta su consumo energético y su escalabilidad dado que resultan determinantes en el momento de desplegar los nodos sensores (Akyildiz *et al.*, 2002) (Zhongmin *et al.*, 2008).

En este sentido, diversos estándares para la comunicación inalámbrica tales como: bluetooth (IEEE 802.15.2), wi-fi (IEEE 802.11 a/b/g/n/p), wiMax (IEEE 802.16), zigbee (IEEE 802.15.4) y wibree, etc, enfocados hacia diferentes aplicaciones, podrían ser utilizados para la conformación de redes de sensores pero antes, es preciso evaluar cuáles son sus principales ventajas y desventajas ya que no todas resultan adecuadas para el despliegue de dichas redes.

Por ejemplo, las redes de sensores basadas en Bluetooth poseen una mínima escalabilidad dado que sólo soporta 8 dispositivos simultáneamente, además, la velocidad de transmisión de datos es lenta y la red que puede conformarse es en esencia muy pequeña. No obstante, propuestas como Btnode han apostado por su despliegue (Beutel *et al.*, 2004).

Si analizamos la tecnología Wi-Fi, ampliamente utilizada en redes de uso doméstico dadas sus características de gran ancho de banda, vemos que no está enfocada a redes de sensores dado que

requiere un elevado consumo energético. No obstante, propuestas como la de (Ferrari *et al.*, 2006), han empleado dicha tecnología para la creación de redes de sensores para el sector industrial a costa de su gran consumo energético.

Por su parte, la tecnología Wi-Max, utilizada en las redes inalámbricas de área metropolitana WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) cuyo propósito general es el de ofrecer servicios de comunicación a grandes distancias y con buen ancho de banda, no está enfocada a las redes de sensores. No obstante, dicha tecnología podría ser parte del nodo central de una red de sensores lo que permitirá aumentar su cobertura con otras redes WMAN (Kuran & Tugcu, 2007).

Con la tecnología Zigbee, sucede todo lo contrario dado que es ampliamente utilizada para la conformación de redes de sensores debido a sus características de bajo consumo energético, escalabilidad, seguridad, gestión de datos, etc (Baronti *et al.*, 2007). Además, como argumentan (Eren & Fadzil, 2007), el ámbito principal de Zigbee es la conformación de redes inalámbricas de área personal o WPAN (Wireless Personal Area networks), capaces de ser desplegadas sobre esquemas orientados a la monitorización y control de variables a nivel industrial. Del mismo modo (Karapistoli *et al.*), expone que Zigbee crece cada vez más por lo que debe ser mejorada y ampliada con el fin de apoyar a nuevas aplicaciones que demanden mayores tasas de transmisión de datos y que operen a mayores distancias entre los nodos.

Por último, Wibree, extensión de la tecnología Bluetooth ha sido concebida para la conformación de redes de sensores y actualmente se encuentra en desarrollo (Mannion, 2006). Ha sido diseñada por Nokia y alcanza velocidades de 1 Mbps.

De las tecnologías inalámbricas para redes de sensores expuestas, a continuación presentamos un pequeño comparativo con el objetivo de analizar sus bondades para determinar cuál de ellas podría ser apta para el despliegue de servicios en los ITS (Ver Tabla 10). No obstante, es importante mencionar que dichas tecnologías no son las únicas propuestas en este ámbito, pero las tratadas, son las más estandarizadas.

La Tabla 10, presenta cinco columnas, la primera asociada a las tecnologías que han sido descritas y las demás, exponen las bondades de las mismas. En este sentido si analizamos a Zigbee vemos que posee grandes ventajas frente a las otras y en especial,

Tabla 10. Tecnologías Inalámbricas en WSN (Kuran & Tugcu, 2007) (Mannion, 2006) (IEEE, 2005) (Gungor & Lambert, 2006)

TECNOLOGÍA	BANDA DE OPERACIÓN	VELOCIDAD	DISTANCIAS	VIDA DE LA BATERÍA (DÍAS)
BLUETOOTH 802.15.1	2.4GHz	720Kbps - 1Mbps - 3Mbps	0-10m 0-100m (Bluetooth 2)	0-7
Wi-Fi 802.11b/g/n	2.4GHz	11Mbps/ 54Mbps/ 108Mbps	60-100m	0.5 - 5
WiMAX 802.16	2Ghz/66Ghz	30-135 Mbps	50-80Km	NA
ZIGBEE 802.15.4	2.4G/Hz / 915MHz / 868MHz	250 Kbps 2Mbps (Nuevo IEEE802.15.4.a)	100 m 900m (Nuevo IEEE802.15.4.a)	0-1000 0-3650 (Nuevo IEEE802.15.4.a)
WIBREE	2.4GHz	1Mbps	0-10m	100-1000
NA: NO APLICA				

con respecto a la vida de las batería, factor determinante si fueran a ser desplegadas a lo largo de la infraestructura de transporte.

De la tabla anterior, vemos entonces que Zigbee presenta grandes capacidades para la implementación y despliegue de redes de sensores por tanto, analicemos en que contribuye tal tecnología y cuáles son sus características más importantes.

Tecnología Zigbee (IEEE 802.15.4) – Redes de Sensores

Comenzó como una iniciativa por parte del sector industrial dada la necesidad de interconectar sensores y actuadores de forma inalámbrica, asimismo, ha tomado bastante fuerza y por ese motivo se conformó la alianza Zigbee (Zigbee Alliance, 2007) cuyo objetivo es el de conseguir mediante un estándar abierto, soluciones fiables, de bajo costo, y de bajo consumo energético para que puedan ser aplicadas en la monitorización y control de variables.

Zigbee como estándar, es decir, IEEE 802.15.4, define tres tipos de dispositivos lógicos, fundamentales para la conformación de la redes de sensores. El primero, coordinador de la red de área personal o PAN (Personal Area Network-PAN) también llamado sink, el segundo, enrutador y el tercero, dispositivo de fin o nodo sensor.

El coordinador de la PAN actúa como controlador primario, encargado de iniciar la red y gestionar las operaciones, además, se comporta como un gateway para interconectar la red de sensores con otras redes (Akyildiz *et al.*, 2002). Es preciso

destacar que cada PAN debe tener exactamente un coordinador PAN. Otra de sus funciones, es la auto-organización y enrutamiento y por ello también se le llama dispositivo de función completa o FFD (Full Function Device-FFD).

En cuanto al enrutador, elemento con características de un dispositivo de función completa o FFD, cumple con la función de enrutamiento entre nodos. Aquí, es preciso aclarar que un router Zigbee es diferente a un Coordinador PAN dado que este último gestiona toda la red y no parte de ella, como lo puede hacer un Router o FFD.

Por último, el nodo sensor, conocido como un dispositivo de funciones reducidas o RFD (Reduced Function Device-RFD), normalmente posee la instrumentación necesaria para la medición de variables. No obstante, un router o FFD puede poseer dicha instrumentación, convirtiéndose entonces, tanto en FFD como en un RFD al mismo tiempo, pero esto, depende de la tecnología con la que sea diseñado.

En la Figura 27 pueden observarse las topologías de las redes de sensores (estrella, árbol y malla) y al mismo tiempo los tres dispositivos lógicos que las componen.

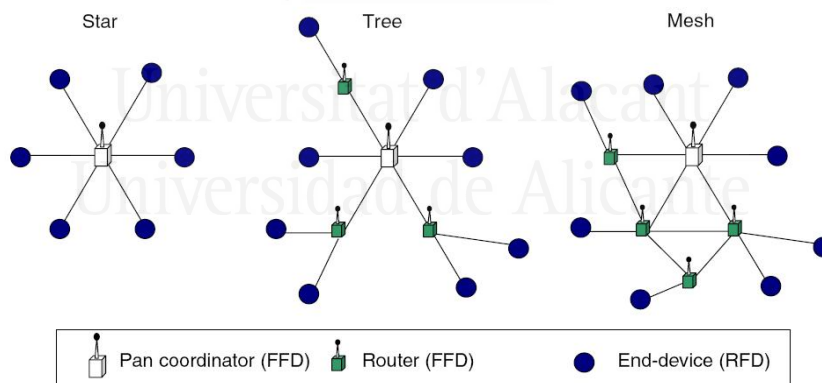


Figura 27. Topologías utilizadas por las redes de sensores inteligentes (Baronti *et al.*, 2007)

Una vez vistos los elementos que conforman la red de sensores, es imprescindible analizar las soluciones de software para dicha tecnología dado que a partir de estas, puede identificarse su capacidad de integración con otros los elementos desplegados a lo largo de la infraestructura de transporte. Por lo tanto, a

continuuación analizamos los sistemas operativos que comprenden dicha tecnología.

Sistemas operativos (OS) para redes de sensores

Básicamente es la capa de software que permitirá la gestión de tareas y administración del hardware en los nodos sensores. (Healy *et al.*, 2007) afirman que dada la naturaleza inalámbrica de los nodos sensores, una de las tareas más importantes de los OS es gestionar su consumo energético, llevando así, lo elevaría o disminuiría la vida de la batería. A continuación damos una breve descripción de los OS más empleados en las WSN.

TinyOS

Es un sistema operativo de núcleo reducido, multitarea, diseñado específicamente para redes de sensores y fue desarrollado por la Universidad de California de Berkeley (Levis *et al.*, 2005). En sus inicios se propuso que debería tener un modelo de programación orientado a componentes (Gay *et al.*, 2003), es decir que cada una de las piezas de hardware pudieran ser accedidas por el OS de forma independiente. Para lograrlo, se desarrolló un nuevo lenguaje de programación de código abierto, llamado NesC, y gran cantidad de comunidades desarrolladoras lo utilizan con el fin de incorporarlo a gran cantidad de plataformas de nodos sensores.

Mantis OS

MANTIS (*Multimodal NeTworks of In-situ Sensors*) o MOS, es un sistema operativo embebido multihilo empleado por las WSN e integrado en plataformas de hardware de propósito general (Bhatti *et al.*, 2005), fue desarrollado por un grupo de investigación de la Universidad de Colorado y está escrito completamente en lenguaje C, permitiendo así, el uso de compiladores estándares y la reutilización de la mayoría de código base. Igualmente, es multiplataforma, gracias al uso un lenguaje de programación estándar.

LiteOS

Desarrollado por la Universidad de Illinois y orientado a WSN (Cao & Abdelzaher, 2006), tiene un funcionamiento orientado a objetos y su ambiente de programación es LiteC, basado en C++. De la misma forma, contiene una librería, OpenSC (OpenSC:

Open sensor library), encargada de proporcionar los módulos de funcionalidad básica que el programador requiere en el momento de interactuar con los nodos sensores. En este sentido, su ambiente de programación gracias a OpenSC, proporciona un mecanismo para traducir programas construidos en C++ a diferentes plataformas de hardware tales como MicaZ o Tmote.

Los sistemas operativos que han sido mencionados son de gran relevancia para el despliegue de redes de sensores inalámbricos pero no menos importantes que la cantidad de plataformas de hardware empleadas en su construcción. Tan importante resulta este último hecho, que si se tratase de desplegar redes de sensores a lo largo de la infraestructura de transporte, es imprescindible conocer las características de hardware de tales plataformas dado que son estas, las que recabarían los datos como tal. Por ello, a continuación presentamos el estudio que hemos realizado de las mismas, para identificar cuál sería la más apta para desplegar sobre la red de transporte y asimismo su solución en software. De esta forma, presentamos la Tabla 11, que recoge a nivel cronológico las distintas plataformas de nodos sensores que hemos analizado y sus bondades tecnológicas.

La Tabla 11, compuesta por nueve columnas, presenta gran diversidad de plataformas para redes de sensores inalámbricos y de ella puede extraerse que el OS, TinyOS, es muy utilizado, básicamente, debido a su modelo de programación y a la cantidad de desarrolladores que lo promueven (Wang & Bagrodia, 2009). Otra de las características que puede extraerse de tal tabla es la capacidad de memoria asociada a los nodos sensores, resultando ésta fundamental para la programación de aplicaciones específicas para los ITS.

Vemos que muchas de las plataformas expuestas poseen grandes capacidades y resulta difícil escoger una en concreto, más que nada, porque muchas de ellas poseen bondades similares pero concretando, destacamos la plataforma MicaZ dado que posee gran capacidad de memoria, emplea la banda ISM 2.4GHz, usa el TinyOS y lo mejor de todo, muchos de los sistemas operativos diseñados, poseen librerías adecuadas para trabajar con tal plataforma.

Por otra parte, de acuerdo al contexto ITS, es preciso mencionar que para la convergencia de servicios utilizando redes de sensores inalámbricos, la norma IEEE 1451.5 debe de ser

empleada dado que promueve la interoperabilidad entre distintas plataformas de sensores (Zhongmin *et al.*, 2008).

Tabla 11. Plataformas de Nodos Sensores (Can Basaran *et al.*, 2007; Hill, 2000; Hollar, S. E.-A., 2000; Hollar, S. E. A., 2000; Nachman *et al.*, 2008; Sikka *et al.*, 2007)

Plataforma	CPU	Reloj (Mhz)	RAM/FLASH/EEPROM	Transceptor	BW (Kbps)	Frec MHz	OS	Año
WeC	Atmel AT90LS8535	4	512/8K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	1998
Rene1	Atmel AT90LS8535	4	512/8K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	1998
AWAIRS	Intel StrongARM SA1100	59-206	1M/4M	Conexant RDSSS9M	100	900	MicroC/ OS	1999
uAMPS	Intel StrongARM SA1100	59-206	1M/4M	National LMX3162	1000	2400	μOS	1999
Rene 2	Atmel Atmega 163	8	1K/16K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	2000
Dot	Atmel Atmega 163	8	1K/16K/32K	RFM TR1000	10	916.5	TinyOS	2000
Mica	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	RFM TR1000	40	916.5	TinyOS	2001
BT node	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K/4K	ZV4002 BT/CC1000	1000	2400	TinyOS	2001
Smart tis	PIC 18F252	8	2M/2M	RFM TR1000	1000	2400	TinyOS	2001
Mica 2	Atmel Atmega 128L	8	3K/48K/64K	Radiometrix	10	916.5	Smart-its	2001
Mica2Dot	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	Chipcon CC1000	64	433	TinyOS	2001
iBadge	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K/512K	Chipcon CC1000	38.4	900	TinyOS	2002
CENS Medusa	Atmel Atmega 128L	4/40	4K/128K	Ericsson	38.4	900	Palos	2002
U3	PIC18F452	0.031-8	1K/32K/256	CDC-TR-2B	100	315	Pavenet	2003
NymPh	Atmel Atmega 128L	4	4K/128K/512K	Chipcon CC1000	38.4	900	Mantis	2003
CIT Sensor	PIC 16F877	20	368/8K	Nordic nRF903	76.8	868	TinyOS	2004
BSN node	TI MSP430F149	8	2K/60K/512K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2004
MITes	nRF24E1 (8051)	16	4K/512	Nordic nRF24E1	1000	2400		2004
MicaZ	Atmel Atmega 128L	8	4K/128-512/	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2005
Telos	TI MSP430F149	8	2K/60K/512K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2005
EnOcean	PIC 18F452	10	1.5K/32K/256	Infineon TDA 5200	120	868	TinyOS	2005
eyesifXv2	TI MSP430F1611	8	10K/48K	Infineon TDA 5250	64	868	TinyOS	2005
Imote Sky	TI MSP430F1611	8	10K/48K/1M	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2005
Fleck	Atmel Atmega 128L	8	4K/128K/512K	Nordic nRF903	76.8	902-928	TinyOS	2005
SunSpot	Atmel AT91FR40162S	75	256/2M	Chipcon CC2440	250	2400	Squawk VM (Java)	2005
IRIS	Atmel Atmega128L	8	8K/640K/4K	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2007
SHIMMER	TI MSP430F1611	8	10K/2G	WML-C46ABT/CC2420	250	2400	TinyOS	2007
Imote2	Intel PXA 271	13-416	256/32M	Chipcon CC2420	250	2400	TinyOS	2008

Igualmente, cabe destacar que actualmente el desarrollo de plataformas de redes de sensores ha disminuido dado que las diseñadas poseen altas capacidades de computo y si éstas últimas, se aumentasen se elevaría el consumo energético lo que

no sería beneficioso para la red como tal. No obstante, esto no significa que no se estén desarrollando nuevas y más eficientes plataformas, pero lo que sí está sucediendo es que cada día se buscan mejores soluciones algorítmicas que beneficien el ahorro energético y el enrutamiento de datos entre los nodos.

En síntesis, las tecnologías emergentes referidas como tal a las redes de sensores inalámbricos están en constante crecimiento y evolución por lo que pretenden expandirse a muchas áreas científicas e industriales y una de ellas es los sistemas de transporte inteligente (ITS). Para lograrlo, no sólo son requeridas grandes soluciones en redes de sensores sino que también, se precisan las tecnologías adecuadas para integrar sus servicios a otras tecnologías ITS para que de forma transparente sean fácilmente integradas. Por ello, es preciso que involucremos a los nuevos paradigmas de TI (Tecnologías de información) orientados a servicios dado que sus soluciones podrían darnos una nueva perspectiva, que aplicada en el contexto ITS, podría lograr la compatibilidad, la integración, la interoperabilidad y la expansión no sólo de la tecnología mencionada sino de forma general de las tecnologías y servicios que tienen lugar en el escenario de los ITS. En este sentido, a continuación analizamos tales tecnologías.

Tecnologías Orientadas a Servicios

Dentro del contexto Europeo y Mundial las tecnologías orientadas a servicios están impactando y revolucionando la forma tradicional en que se hacen los negocios entre las organizaciones, pudiendo demostrarse, con sólo observar el informe sobre su crecimiento y expansión, propuesto por el foro económico mundial (Ver Figura 28).

Además, los avances en TI están generando un cambio cultural en las pequeñas y medianas empresas las cuales, deben comenzar a generar soluciones orientadas a la provisión de servicios. Por tanto, día tras día, las empresas buscan soluciones integrales de negocios apoyadas en las TI dado que satisfacen sus expectativas de crecimiento, escalabilidad y flexibilidad.

En este sentido, (Hotle M *et al.*, 2009) expone que la consultora Gartner pronostica que el 80% de las iniciativas en TI serán orientadas a servicios lo que supondrá un beneficio

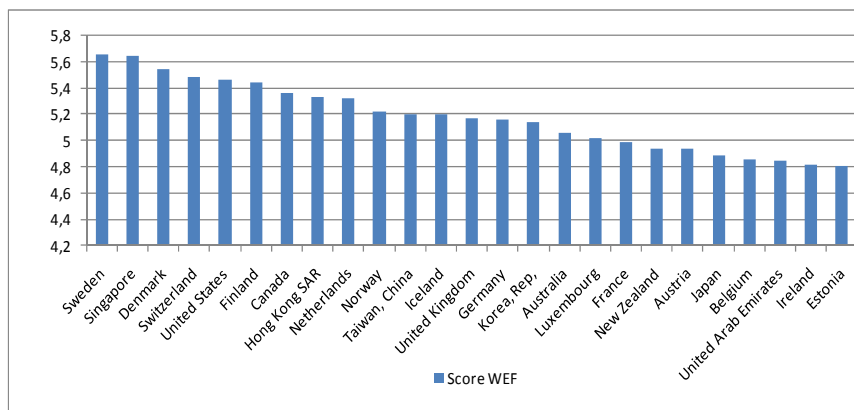


Figura 28. Ranking de la penetración de las Tecnologías de la sociedad de la información y las comunicaciones en el mundo (WEF, 2009)

transformacional para la gestión de la información en las empresas y en los gobiernos. Del mismo modo, el observatorio de las TI para Europa EITO (European Information Technologies Observatory) concluye como ha incrementado en los últimos años el porcentaje de demanda de software y servicios (Ver Figura 29) y afirma que continuará creciendo en los próximos años en torno al 5%, pero depende del asentamiento de las TI en cada uno de los países y en los sectores económicos.

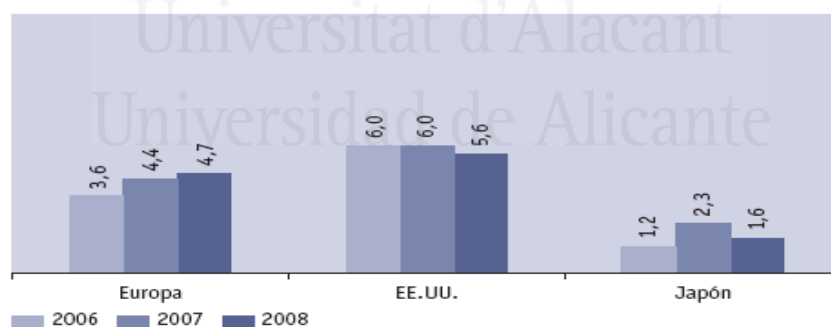


Figura 29. Contexto Mundial del sector de software y servicios (Garbajosa *et al.*, 2008)

Según lo anterior, el crecimiento del sector de los servicios es evidente y uno de los patrones que más lo afianzan es la cantidad de usuarios que utilizan internet a nivel mundial (ver Figura 30), considerados estos últimos, como usuarios potenciales de servicios de TI y por ende, de servicios ITS de valor agregado.

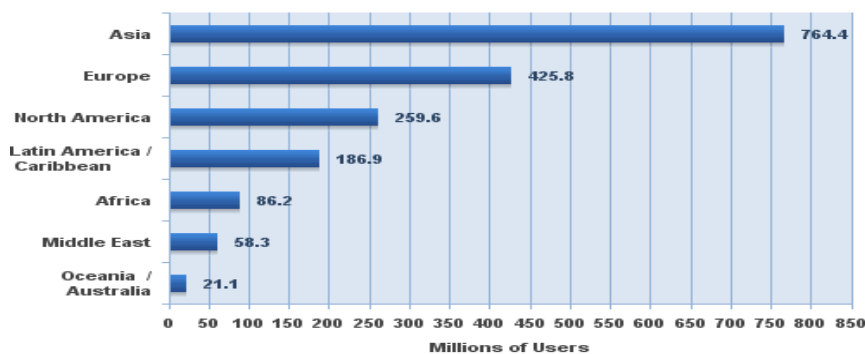


Figura 30. Usuarios de Internet en el mundo por regiones geográficas (IWS, 2010)

Si analizamos el sector Europeo de las TI, la macro iniciativa ITEA2 sale a relucir, dado que pretende promover el uso de las tecnologías orientadas a servicios (ITEA2, 2009) para la generación de un ambiente de servicios a partir del cual, los principales sectores económicos, es decir, la salud, la energía, el transporte, el conocimiento y educación podrán beneficiarse. Por tanto, tal ambiente contribuye a incrementar los niveles de competitividad tanto industrial como social en la UE. Del mismo modo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) pronostica el gran crecimiento que tendrán tales sectores si emplean soluciones basadas tecnologías orientadas a servicios (Ver Figura 31).

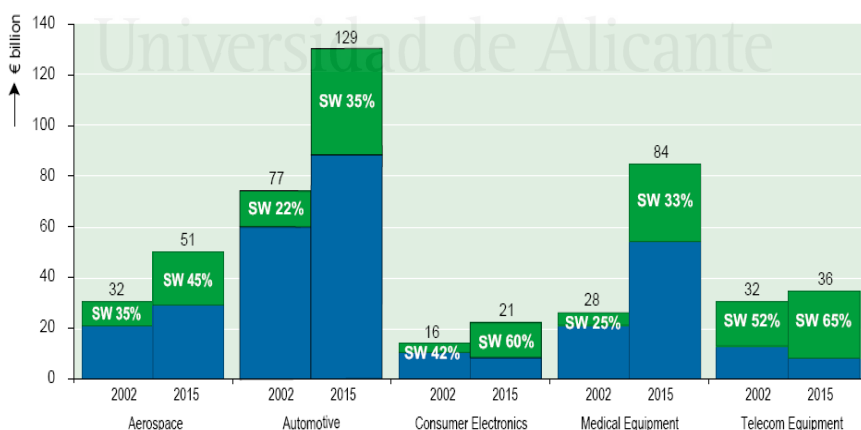


Figura 31. Pronósticos del incremento del desarrollo de software orientado a servicios entre el año 2002 y 2015 (ITEA2, 2009)

La Figura 31 expone que el sector de la automoción y los equipamientos telemáticos, incluidos ambos en los ITS, promoverán las mayores inversiones en el sector del software (eje y) y por ende, en el de sector de servicios.

A partir de tales inversiones los sectores mencionados, en especial los más cercanos al sector transporte, hacen que las tecnologías orientadas a servicios sean clave para el desarrollo económico de la sociedad, y por ende, fundamentales para el despliegue, la provisión y la prestación de servicios a nivel general. Por ello, nuestra investigación las toma de base para el planteamiento de nuestro modelo de prestación de servicios ITS de valor agregado.

En consecuencia, a continuación abordaremos las principales definiciones asociadas a los servicios para el ámbito de las TI con el fin analizar cuáles son sus elementos más relevantes para alcanzar un ambiente orientado a servicios.

Servicios en las TI

Como sabemos, la integración de la palabra servicio en la sociedad de la información es evidente e inevitable, dado que día tras día se impone fuertemente, por tanto, las organizaciones tratan incesantemente de incorporarla en todos sus procesos para que su competitividad aumente de forma escalar. No obstante, desde el punto de vista de las TI, la palabra servicio tiene la misma connotación pero diverge a la hora de analizar su definición desde el campo del software. Específicamente desde este campo, los servicios son considerados como *“los elementos de computación que se pueden describir autónomos e independientes de la plataforma, a su vez, se pueden describir, publicar, descubrir, orquestar, y programar usando protocolos normalizados con el propósito de construir redes de aplicaciones colaborativas distributivas dentro y a través de las fronteras de las organizaciones”* (Benatallah *et al.*, 2005).

Tal definición trae consigo otra gran cantidad de conceptos relacionados con la prestación de servicios, por ello, es imprescindible denotar que los servicios pueden ser analizados en función de tres roles (Ver Figura 32). El primero, rol de consumidor, o solicitante del servicio; el segundo, rol de proveedor del servicio; es decir, el prestador del servicio y el tercero, rol de intermediario o bróker, encargado de realizar el registro de servicios (Garbajosa *et al.*, 2008).

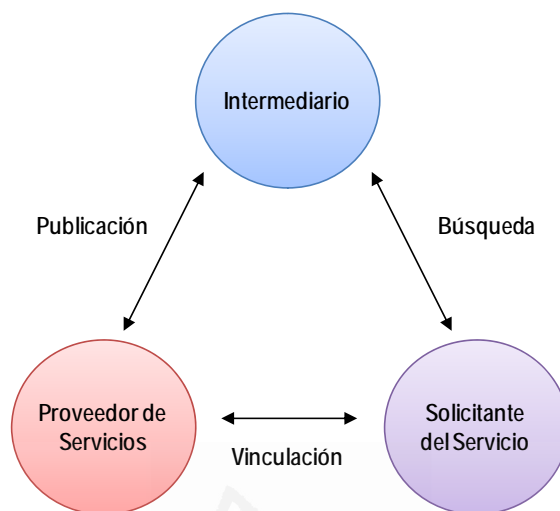


Figura 32. Escenario basado en Servicios (Huhns & Singh, 2005)

Si seguimos analizando los servicios en el contexto del software, vemos que son puestos a disposición de los clientes o demandantes de servicios y de acuerdo a las tecnologías empleadas, se utilizan sin la necesidad de conocer los detalles de una aplicación. En este sentido, un cliente puede beneficiarse de diferentes servicios y a la vez, ofertarlos como uno nuevo servicio a los demás clientes, por tanto, el cliente que solicitó un servicio puede convertirse en un nuevo proveedor de servicios (Papazoglou *et al.*, 2007).

Del escenario mencionado, es importante destacar el papel desempeñado por el intermediario que tiene la función de ayudar a los clientes a encontrar el servicio más adecuado a sus necesidades, es decir, actúa como un directorio telefónico el cual, en vez de teléfonos tendría servicios que son los que ofrecería a los clientes que los soliciten.

Al ver tales conceptos asociados a los servicios, (Huhns & Singh, 2005) exponen que la web debe evolucionar hacia el despliegue modular de servicios, destacando que los mismos proporcionarán un alto nivel de abstracción para la organización de aplicaciones en ambientes de gran escala y ayudarán a implementar y a configurar aplicaciones de software de forma *ágil*. Por tanto, los servicios mejorarán la productividad y la calidad de la aplicación,

resultando todo esto completamente beneficioso para el sector de los ITS.

De la misma forma, (Huhns & Singh, 2005) afirman que dentro de los esquemas orientados a servicios es posible desarrollar aplicaciones distribuidas, de modo que los servicios son capaces de auto-describir sus funcionalidades de acuerdo con la información contenida en un apartado originado para tal fin, es decir, en el apartado de descripción del servicio.

Adentramos un poco más en el mundo de los servicios en las TI y específicamente desde el punto de vista del software, tales servicios se clasifican en conformidad con sus protocolos, sus tecnologías y sus lenguajes empleados. Por tanto, a continuación observemos a groso modo los más importantes tales como los servicios web, los servicios grid y los servicios P2P.

Servicios Web

Es una tecnología de los sistemas distribuidos que utiliza protocolos estándares de Internet para mover documentos XML entre procesos de servicios (Taylor & Harrison, 2005). En términos simples, los servicios web son programas de software que permiten a las aplicaciones de software hablar mutuamente mediante mensajes XML. La estructura de tales mensajes engloba tres tecnologías utilizadas para su despliegue y son SOAP, WSDL y UDDI, descritas brevemente a continuación.

SOAP

Es un protocolo que puede ser utilizado para intercambiar información estructurada en un ambiente distribuido y descentralizado (W3C, 2007). SOAP (Simple Object Access Protocol) proporciona un formato XML para enviar mensajes, independientes del lenguaje de programación o plataforma utilizada.

WSDL

Es el lenguaje de descripción de servicios que tiene como objetivo describir la funcionalidad del servicio. El WSDL (Web Service Description Language) emplea el formato XML para describir los servicios de red como un conjunto de variables que operan en los mensajes, conteniendo a su vez, información orientada al documento o a los procedimientos (W3C, 2001).

UDDI

Es una tecnología empleada en los esquemas basados en servicios y actúa como el catálogo de negocios en Internet. Básicamente, UDDI ((Universal Description, discovery and Integration) se comporta como un protocolo de descubrimiento de servicios web, proporciona un registro electrónico online y su comportamiento se asemeja a un directorio de páginas amarillas permitiendo así, que las aplicaciones proporcionen información dinámica acerca de las compañías y los servicios que ofrecen (Taylor & Harrison, 2005). En síntesis, es el intermediario o bróker mencionado recientemente.

Servicios GRID

Se asemejan a los desplegados por las tecnologías Grid, ampliamente aceptadas por la comunidad tanto técnica como científica. Los servicios GRID son alcanzados por medio del uso compartido y coordinado de diversos recursos de computación, específicamente cuando los mismos, están virtualmente distribuidos geográficamente. Dichos servicios emplean entonces, componentes de software distribuidos geográficamente, y con ello, se ven aumentadas las capacidades de computación virtual resultando beneficioso para la aumentar la calidad del servicio. (Foster *et al.*, 2002).

Servicios P2P

(Androutsellis-Theotokis & Spinellis, 2004) plantea que los servicios P2P son sistemas distribuidos conformados para la interconexión de varios nodos de red, capaces de auto-organizarse en topologías de red con el propósito de compartir recursos tales como contenidos, ciclos de CPU, almacenamiento y ancho de banda. Por tanto, tomando de base las características de las redes P2P, los servicios P2P son muchos y muy variados. Por ejemplo una de las áreas más destacadas de dichas redes, da origen a la distribución de contenidos (sistemas de mensajería) a través de nodos de red dado que no precisan de un servidor central que este administrando las conexiones.

Luego de analizados los conceptos básicos sobre servicios es de notar que los paradigmas orientados a servicios, ofrecen la posibilidad de alcanzar su convergencia, independientemente de cualquier ámbito de aplicación. Por esta razón, para el desarrollo de la tesis doctoral es imprescindible destacar que para elaborar

adecuadamente nuestro modelo debemos analizar e involucrar en nuestra propuesta, las arquitecturas orientadas a servicios, ya que estas son uno de los más poderosos avances tecnológicos que actualmente impactan a muchos de otros ámbitos de la sociedad y por tanto, se presentan como una gran alternativa para la convergencia de servicios ITS de valor agregado expuesta a lo largo del estado del arte. Por tanto a continuación, las exponemos y analizamos.

Arquitecturas Orientadas a Servicios -SOA-

En conformidad con los últimos avances tecnológicos en el espacio de integración de software se ha producido un paradigma conceptual orientado a servicios, llamado SOA (Service Oriented Architecture) que permite integrar distintas plataformas o sistemas, empleando para ello protocolos y estándares bastante simples, beneficiando así, a gran cantidad de sectores y por ende a sus organizaciones (Papazoglou *et al.*, 2007).

Su propósito es atender los requerimientos débilmente acoplados, basados en estándares y protocolos independientes de computación distribuida que ayuden a identificar cuál es el flujo de negocios dentro de la organización teniendo en cuenta el sistema de información de la empresa o entidad donde sea desplegada dicha arquitectura (Erl, 2005) (Papazoglou *et al.*, 2007) (Bell, 2008).

En SOA, los recursos son empaquetados como servicios y son definidos como módulos auto-contenidos que proporcionan una funcionalidad estándar e independiente del contexto de otros servicios. Su escalabilidad y flexibilidad es obtenida a partir del lenguaje estándar en que son descritos sus servicios que como tal son los que la sustentan. De mismo modo, los servicios en SOA emplean interfaces públicas para comunicarse unos con otros y con ello, apoyan la tarea de negocio común al proceso en desarrollo indistintamente cualquiera que fuere (Huhns & Singh, 2005).

SOA está revolucionando los sistemas de gestión de la información y la forma de hacer negocios entre las organizaciones, principalmente porque los desarrolladores obtienen las siguientes ventajas (Papazoglou & Van Den Heuvel, 2007):

- Superación de los cuellos de botella producidos por la computación distribuida.
- Interoperabilidad e integración de los distintos sistemas con distintas tecnologías
- Manejo de políticas de seguridad acordes con las distintas organizaciones que forman parte del negocio.
- Manejo de multiplicidad de plataformas y protocolos de dispositivos de acceso así como también, sistemas heredados.
- Reusabilidad de servicios que se refiera a la formación de nuevos servicios a partir de otros componiendo así, servicios de mayor complejidad.

En conclusión, SOA, dadas sus características de acoplamiento débil, integración de plataformas de software complejas, conexiones dinámicas, reusabilidad de servicios entre muchas otras, permiten a las aplicaciones sacar ventaja de las capacidades de los servicios o incluso, de servicios desconocidos y no previstos en el tiempo. Por lo tanto, los diseñadores ven a dicha Arquitectura como una forma no solo atractiva para diseñar sistemas competitivos donde las características de negocio son muy inciertas si no que lo postulan como una de las grandes soluciones para la integración de servicios en cualquier sector económico (Canfora & Di Penta, 2006).

Sabiendo lo anterior, revisemos entonces, los últimos trabajos que involucran a los ITS y al paradigma SOA con el fin de analizarlos y extraer sus principales conclusiones para con ello, abordar claramente nuestra propuesta.

Tecnologías orientadas a Servicios y Sistemas Inteligentes de Transporte

SOA ha comenzado a emplearse en los ITS de forma muy sutil y paulatina pero creciente, por lo tanto, expongamos a continuación, algunos de los trabajos más relevantes desarrollados tanto en el sector industrial como en el investigativo.

(Sponziello, 2007), propuso un sistema para la integración de aplicaciones web (planeación de rutas y condiciones climáticas), en el cual, utilizó el paradigma SOA para crear un framework que

permitiese a las distintas aplicaciones ser integradas de forma adecuada.

Del mismo modo, (Zheng, 2007) aplica SOA para integrar aplicaciones ITS pero argumenta que no solamente puede ser empleado dicho paradigma sino que también pueden emplearse paradigmas orientados a componentes tales como CORBA o DCOM que ofrecen soluciones excelentes en el campo de los ITS. No obstante, destaca que CORBA y DCOM ocasionan uno de los mayores inconvenientes en la integración de soluciones ITS dado que las aplicaciones ITS que son desarrollados bajo este paradigma operan por puertos específicos y si existiese un firewall o servidor proxy en medio, tales aplicaciones no lograrían integrarse fácilmente. Por tal motivo, (Zheng, 2007) empleó los servicios web, una forma de implementar dicho paradigma, para lograr la integración adecuada de dichas aplicaciones.

(Zhu *et al.*, 2009) propone un framework basado en SOA para la elaboración de un portal digital, permitiendo así, que los usuarios ITS obtengan información relacionada con los servicios presentados al interior de una ciudad.

(Tao *et al.*, 2005) reitera que las metodologías tradicionales como CORBA, DCOM, o RMI, no proporcionan un método efectivo para tratar los problemas de interoperabilidad que surgen en las aplicaciones diseñadas para los ITS debido a que existe cierta dependencia del lenguaje de programación y la aplicación, ocasionado entonces, un acoplamiento fuerte que no permite dar dinamismo a las aplicaciones ITS. Por lo tanto, propuso aplicar SOA para dichas aplicaciones en un centro de tráfico con el objetivo de ofrecer distintos servicios a los operadores de los sistemas y a los usuarios.

(Shi *et al.*, 2007) propone una arquitectura básica para el desarrollo de un sistema integrado de información para los ITS de la ciudad de Enjor China basado en SOA, propuesta llamada ITISP, y permitiría integrar la información de varios centros de tráfico.

(Chen, K. H. *et al.*, 2008) propuso un sistema basado SOA para generar un sistema de priorización de vehículos de emergencia, específicamente las ambulancias, con el objetivo de diseñar un sistema capaz de interactuar mediante servicios con los sistemas de semaforización para llegar en el menor tiempo al destino donde se ha producido el siniestro.

(Huang & Ma, 2009) propone un sistema de simulación que permita evaluar la calidad del aire y la eficiencia del combustible para mejorar la planeación y gestión del tráfico urbano. En este sentido, su propuesta está basada en la utilización de dos frameworks de computación distribuida SOA y CORBA, los cuales han sido adoptados para su propósito. Al hacerlo, concluyen que ambas tecnologías orientadas a servicios obtuvieron resultados bastante buenos. Por su parte, destacan que CORBA mostró mayores velocidades debido a las pequeñas cantidades de datos transmitidas y por otra parte, destacan que SOA se mostró más fuerte en el manejo de grandes cantidades de datos y en la interoperabilidad de sistemas operados bajo la web.

(Meier *et al.*, 2005) presenta un framework conceptual empleado para la integración de los sistemas ITS llamado ITransIT y aunque no incluye a SOA como solución presenta una propuesta para la convergencia de servicios.

Como puede verse, son distintas las áreas de los ITS en que las tecnologías orientadas a servicios, en especial las basadas en el paradigma SOA, son aplicadas por tanto, en respuesta al uso de sus tecnologías como los servicios web, los gobiernos, los organismos de estandarización y el sector industrial han comenzado a elaborar distintos planes de acción que las involucran para generar soluciones más coherente para los ITS.

Desde la UE, teniendo de base su plan de acción para el despliegue de los ITS, han sido destacadas las principales áreas críticas de los ITS (ver Tabla 12) que deben ser abordadas para la generación de servicios entre los países miembro (European Commission, 2008a).

Tabla 12. Áreas del plan de acción Europeo para los ITS (European Commission, 2008a)

PLAN DE ACCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA PARA LOS ITS	
ÁREA 1	UTILIZACIÓN ÓPTIMA DE LOS DATOS DE LAS CARRETERAS, TRÁFICO Y LOS DATOS DE VIAJE.
ÁREA 2	GESTIÓN DEL TRÁFICO Y DEL TRANSPORTE DE MERCANCIAS MEDIANTE SERVICIOS PARA ZONAS DONDE HAYA UNA CONURBACIÓN.
ÁREA 3	CAMINOS SEGUROS Y SEGURIDAD
ÁREA 4	INTEGRACIÓN DEL VEHICULO DENTRO DE LA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE
ÁREA 5	SEGURIDAD Y PROTECCIÓN DE DATOS Y CUESTIONES DE RESPONSABILIDAD
ÁREA 6	COOPERACIÓN Y COORDINACIÓN DE LOS ITS EUROPEOS

Las seis áreas prioritarias se toman a partir de las aportaciones de los agentes públicos y privados y se asume que las aplicaciones ITS concernientes a tales áreas deben ser lo suficientemente interoperables para que sean desplegadas en corto y mediano plazo a lo largo de la UE (European Commission, 2008a). Por lo tanto, la UE es consciente de que para lograr un despliegue coherente de ITS es preciso emplear infraestructuras comunes de ITS (TEN-T, 2009), por ello, le da a las tecnologías orientadas a servicios, una gran importancia. Por este motivo, se han ido elaborando algunas propuestas enmarcadas sobre la convergencia de servicios y una de las propuestas más importantes es el macro proyecto EasyWay (EasyWay, 2009) que propone fundamentalmente, los procedimientos que deberían tenerse en cuenta para la prestación de servicios dentro de la red de transporte Europea TERN (Trans-European Road Network).

EasyWay está sujeto a varias fases, la primera, relacionada con el estudio de viabilidad sobre algunos servicios ITS que podrían ser prestados; la segunda, tiene como objetivo analizar cuáles herramientas de las TIC permiten la viabilidad del ofrecimiento de servicios ITS (se prevé una primera visión hacia el 2015); la tercera, propone la armonización de los sistemas de mensajería variable o VMS; y la cuarta orientada hacia la construcción de un nuevo protocolo que permita a las centrales de tráfico compartir datos de manera eficiente y transparente (Easyway_Partners, 2009).

Resaltando uno de los detalles de la propuesta Easyway, es preciso mencionar que el intercambio de información entre las centrales de tráfico pertenecientes a los países miembros se llevará a cabo mediante tecnologías orientadas a servicios, para ello, crearán el protocolo DATEX II (Data Exchange) siguiendo los parámetros exigidos por el comité técnico de ITS ISO TC 204. La creación de dicho protocolo tiene sus ventajas y desventajas y esto principalmente, ha sucedido a causa de que muchos vendedores de sistemas ITS comenzaron a cuestionar la interoperabilidad que llevaba a cabo su protocolo predecesor es decir, DATEX I, argumentando que no era un buen protocolo para el intercambio de datos entre países dado que en estos las implementaciones en sistemas de tráfico son bastante diferentes haciéndolos incompatibles entre sí (Wei-Feng *et al.*, 2008).

En consecuencia, el proyecto EasyWay impulsa su sucesor, DATEX II, sustentado sobre las tecnologías orientadas a servicios específicamente empleando las tecnologías basadas en XML como

los servicios web. Por lo tanto, dicho protocolo, aún en desarrollo, integrará la información relacionada con el tráfico y el viaje para las redes de carreteras urbanas e interurbanas a lo largo de la UE pretendido esto para el 2030.

Por otra parte, al margen de EasyWay, emergen las nuevas propuestas llamadas NeTEx y SIRI (NeTEx, 2009) (SIRI, 2008), enfocadas a integrar servicios en el sector de transporte público. Ambas propuestas, pretenden generar un nuevo marco de referencia para alcanzar la integración de los sistemas utilizados en el transporte público, su fin en esencia, es el de generar servicios tales como la planeación de horarios y calendarios que ayude a la gestión de flotas, servicios informativos sobre rutas y horarios de salida o llegada de los vehículos o buses, servicios de alta difusión entre los usuarios, servicios de monitorización de la posición del vehículo, etc.

Ambas propuestas son apoyadas por distintos países Europeos tales como Francia, Alemania, Escandinavia, y Reino Unido y por el comité técnico CEN TC 278, para lograrlo pretenden aplicar las tecnologías orientadas a servicios con el fin de hacerlos interoperables.

Alguien que no se podía quedar sin la tajada en cuanto a servicios ITS de valor agregado es el gigante informático Google que ofrece como alternativa su solución, llamada Google Transit, aún en crecimiento, y funciona sobre Google Maps, orientada a proveer los horarios de buses y trenes sobre sus mapas (Kizoom Nick & Miller Peter, 2008) recientemente opera en Valencia España.

Si cambiamos de latitud y analizamos como es el comportamiento de las tecnologías orientadas a servicios desde los sistemas de transporte Americano, encontraremos que la Arquitectura Nacional para los ITS han comenzado a incorporar dichas tecnologías a partir de la incursión de protocolos como NTCIP específicamente, a través de la librería 9010 aprobada en el año 2003 y recientemente ha sido publicada la librería NTCIP 2306, aprobada en diciembre de 2008 (AASHTO *et al.*, 2008) que detalla la utilización de las arquitecturas SOA para el ofrecimiento de servicios entre las centrales de tráfico.

Según el escenario descrito, a partir de la importancia que cobran las arquitecturas SOA para la integración de servicios entre las centrales de tráfico, recientemente, septiembre de 2009, fue publicada una especificación técnica (ISO_24097, 2009)

relacionada con SOA que la establece como un mecanismo que busca la interoperabilidad para los ITS. Dicha especificación, evaluada actualmente, pretende ser incorporada como guía para el establecimiento de sistemas ITS más escalables.

En resumen, es importante destacar que existe una clara necesidad en la integración de servicios para los ITS pero no únicamente puede darse en los sistemas de transporte por carretera, como lo afirma la Comisión Europea sino que también debe ser extensible a los otros medios de transporte tales como el Aéreo, el Férreo, el marítimo y el fluvial (Winder, 2009).

En este sentido, diversos proyectos de convergencia de servicios han sido propuestos. Por ejemplo, en el caso del transporte aéreo, se ha propuesto un sistema para la gestión del tránsito aéreo en el contexto de cielo único Europeo llamado SESAR (Single European Sky ATM Research) (SESAR, 2007). De la misma forma, para el sector del transporte ferroviario se emplea el Sistema Europeo de Gestión del Tráfico Ferroviario ERTMS (European Rail Traffic Management System) (ERTMS, 2007) y del mismo modo, para el sector del transporte fluviales y marítimo se han propuesto sistemas tales como el sistema de información fluvial RIS (River Information Services)(RIS, 2005), y el sistema de gestión e información del tráfico marítimo VTMIS (Vessel Traffic Monitoring and Information System) buscando todas estas propuestas desplegar servicios ITS a lo largo de la UE.

Según lo anterior, y dados los proyectos actuales y en otras latitudes, es claro que el despliegue de servicios sobre los ITS necesitan una adecuada planeación para su posterior ofrecimiento. En este sentido, la integración de sistemas a nivel de las TIC es importantísima para el desarrollo futuro de los servicios ITS y por ende su prestación adecuada por lo que en este trabajo de tesis doctoral proponemos nuestra propuesta para facilitar el despliegue y la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Conclusiones

En este capítulo han sido analizados los últimos trabajos que conforman el espectro global relacionado con la prestación de servicios ITS de valor agregado. Al mismo tiempo, han sido estudiados los componentes principales que conforman los ITS

los cuales, son la base tecnológica para alcanzar dicho despliegue.

Dentro de los componentes analizados es preciso destacar que la heterogeneidad de los sistemas ITS está convirtiéndose en uno de los problemas de mayor atención por parte de la comunidad ITS y más de cara a la prestación de servicios.

Por tal motivo, en este capítulo fue analizada la importancia que están teniendo los sistemas de navegación debido a que son elementos que día a día presentan altas capacidades tecnológicas que permitirían la prestación adecuada de servicios ITS de valor agregado. Además, de cara al futuro desarrollo de los sistemas satelitales a nivel Europeo, en especial, en lo concerniente al macro-proyecto GALILEO, es posible ver la clara necesidad de diseñar e implementar nuevos sistemas y modelos que garanticen al usuario ITS mayor seguridad a lo largo de las carreteras Europeas y que le permitan el consumo de servicios.

En este capítulo igualmente, fue analizado que no sólo las tecnologías satelitales están apuntando a ser prestadoras de servicios ITS de valor agregado sino que también, se presentan otras propuestas que aún se encuentran en fase de estudio y evaluación como lo es el caso de la tecnología de radio difusión digital de datos DAB+.

Del mismo modo, pudo constatarse que en la actualidad, los canales RDS-TMC tienen una participación muy sutil y banal en el despliegue de servicios ITS dadas sus mínimas capacidades para la transmisión de mensajes de texto. No obstante, es destacable que los sistemas de navegación (vistos como OBU) embeben dicha tecnología (RDS) para apoyar más eficientemente a los usuarios ITS.

Por otra parte, se ha podido identificar que la unidad ubicada al borde de la carretera (RSU) es un elemento tecnológico de altísima importancia para el despliegue de servicios. Dicho elemento está recibiendo una gran atención por parte de la comunidad científica de los ITS tanto para el apoyo de las redes vehiculares VANET como para la gestión de la infraestructura de transporte y de sus dispositivos.

Las tecnologías emergentes en especial las redes de sensores inalámbricas, fueron presentadas como grandes alternativas para la monitorización de eventos en la infraestructura de transporte y gracias a su gran escalabilidad, bajo costo y pequeño tamaño se

comportan como una gran fuente de recolección de información bastante fiable para la infraestructura de los ITS.

De acuerdo a lo que se ha descrito a lo largo del capítulo, se deja bastante claro que son necesarias nuevas propuestas que permitan alcanzar la prestación de servicios ITS de valor agregado de una forma coherente y más de cara al usuario que es el agente consumidor de servicios ITS.

Por último, se presentó que uno de los grandes escollos para alcanzar la homogeneidad de los ITS y para la prestación de servicios ITS de valor agregado es que, los fabricantes de tecnologías y automóviles ubicados a ambos lados del océano, siempre tienen que diseñar sistemas propietarios para la integración de sus tecnologías dado que no se sigue de pleno a los organismos de normalización tecnológica. Lo anterior ha causado que las soluciones de ITS desplegadas a nivel mundial, sean bastante distintas, tanto en protocolos de comunicación, como en asignación de bandas de frecuencia. Por lo tanto, todo esto debilita la especialización de los fabricantes ya que deben crear sistemas con múltiples tecnologías, incrementando entonces, los costos de sus productos.

Capítulo Tercero

Metodología General de Integración de TI en los ITS

Uno de los objetivos primordiales de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) es la integración de una gran variedad de componentes o sistemas que operan independientemente para minimizar la redundancia y maximizar la eficiencia (Chowdhury & Sadek, 2003).

No obstante, como lo afirma (Bossom, R. *et al.*, 2008) con el pasar de los años, el desarrollo tecnológico en el campo de los ITS se ha incrementado y ha dejado sobre las infraestructuras de transporte una gran estela de dispositivos tecnológicos que funcionan independientemente mediante sistemas propietarios fuertemente acoplados. Todo esto, ha llevado a que los fabricantes de tecnologías se vean obligados a que sus productos incorporen una gran cantidad de interfaces que no son objeto de su producto final pero que deben incorporarlas porque si no, no sería posible la integración de sus productos con otros sistemas ITS.

En consecuencia, esto ha producido una disminución muy fuerte en la especialización de los fabricantes de tecnologías ITS, una ralentización en la incorporación de nuevas tecnologías en el sector ITS, una enorme generación de modelos de negocio bastante cerrados para ciertos sectores del transporte y una disminución general en el aprovechamiento de cada uno de estos sistemas ITS.

Según el contexto que ha sido expuesto, el objetivo primordial de los ITS se ha visto soslayado, por la gran variedad de soluciones tecnológicas presentes a lo largo de la infraestructura de transporte, por la mínima utilización de los estándares ITS en dichas soluciones y por la reducida aplicación coherente de arquitecturas y modelos adecuados que propicien un ambiente para el despliegue de servicios ITS de valor agregado de forma homogénea en cada una de las latitudes.

Lo anterior deja ver que en el medio del escenario ITS se ha creado una gran madeja tecnológica, y esto está imposibilitando la prestación adecuada de servicios ITS de valor agregado.

Por su parte, la comunidad científica del transporte investiga nuevas alternativas para alcanzar de forma coherente la prestación y despliegue de dichos servicios ya que son y serán un parámetro fundamental, para el crecimiento económico de las naciones, para el desarrollo tecnológico de las ciudades, para incrementar la seguridad de todos los usuarios y para el mejoramiento de su calidad de vida (European Commission, 2008b; US.DOT, 2009).

En este sentido, los servicios ITS de valor agregado se convierten entonces en uno de los principales temas de investigación, no sólo para el sector transporte, sino también, para los sectores económicos adyacentes que apoyan sus negocios en dichos servicios (IBM, 2009). Además, la importancia de dichos servicios es tal, que muchos organismos tales como el ETSI, la UIT, la ISO, la CEN, el IEEE, buscan soluciones que permitan desarrollar un entorno homogéneo de servicios ITS, capaz de traspasar las fronteras de cada país.

Al tener una plataforma homogénea de servicios ITS será posible reducir la tasa de siniestros producidos en las carreteras que se traduce a más de un millón y medio de personas lesionadas y a más de 35000 muertes para el año 2009 (European Commission, 2010). Además, dicha plataforma ayudará igualmente a controlar las emisiones de CO₂ que se han visto aumentadas en un 32% en el transcurso del periodo de 1999-2005 (European Commission, 2008a).

Por otra parte, como se ha visto reflejado en lo extraído del estado del arte, las capacidades de los componentes tecnológicos y la forma en la que están concebidos, imposibilita tener un ambiente de servicios homogéneos durante todo el trayecto que recorra el usuario. Además, los cambios tecnológicos presentados en los

diferentes tramos de la infraestructura ITS disminuyen la prestación de servicios ITS.

Al observar este planteamiento, inmediatamente se despliegan dos cuestiones de suma importancia. La primera, relacionada con el equipamiento tecnológico desplegado en la infraestructura ITS y la segunda, relacionada con la utilización de interfaces homogéneas que faciliten la prestación de servicios ITS.

Es claro que para ambas cuestiones, los organismos de estandarización de tecnologías juegan un papel esencial. No obstante, el consenso tecnológico general es uno de los objetivos más ambiciosos de los organismos de estandarización y a veces parecería utópico, dado que si algún país opta por alguna de las soluciones de estandarización deberá preparar sus sistemas, sus modelos de negocios y demás, en base a la decisión tomada.

En este sentido la incorporación de servicios ITS es un reto grandísimo para las infraestructuras de transporte de cada país y para las entidades que hacen uso de los mismos (IBM, 2009) (European Commission, 2009). Por lo tanto, se hace necesaria la construcción de nuevos modelos de integración de servicios ITS que conduzcan hacia la gestión adecuada de sus recursos y a la rápida convergencia de servicios.

De acuerdo al marco expuesto, este capítulo aborda el problema de integración de las TI en el ámbito de los ITS y con el fin de desarrollarlo, plantearemos una metodología adecuada y coherente integración que tomaremos a su vez, para la elaboración de nuestra propuesta. Antes de comenzar a exponerla, es preciso describir la nomenclatura de modelado que será utilizada para su descripción de modo que no se presenten ambigüedades en su desarrollo.

Nomenclatura de modelado para el planteamiento de la metodología de integración de las TI en los ITS

La nomenclatura utilizada para el desarrollo de este apartado está basada en procesos permitiéndonos así, describir de manera general los elementos más importantes que forman parte de nuestra propuesta.

Antes que nada, definamos qué es eso de un proceso, para entender de forma coherente la forma en que se desarrollará nuestra propuesta.

De acuerdo a la ISO (ISO_9000, 2005) un proceso se define como *“un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”*. O dicho en otras palabras, *“un proceso es una sucesión de tareas, que tienen como origen una o varias entradas y como resultado una o varias salidas”*.

Partiendo de dicha definición, y en aras de describir coherentemente la metodología que será propuesta, a continuación, se exponen las herramientas de modelado utilizadas para desarrollarla. La nomenclatura que hemos elegido para la representación de nuestra propuesta se basa en la diagramación de procesos propuesta por Ericsson y Penker (Eriksson & Penker, 2000) (E&P). Dicha técnica, es una extensión del lenguaje de modelado UML para la descripción de diversos procesos y ampliamente utilizada por su versatilidad en la representación gráfica y coherente de complejas relaciones que tiene lugar en la generación procesos (Sewchurran & Petkov, 2007). Por tanto, a continuación son expuestos los parámetros más relevantes usados por dicha técnica.

Diagramas de proceso

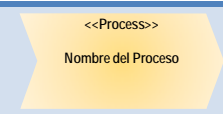

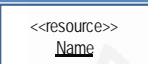
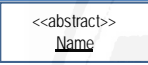
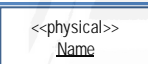
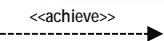
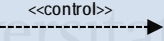
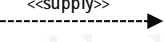
Es un diagrama de actividad UML con un conjunto de estereotipos que describen las actividades realizadas dentro de los procesos y como en los mismos interactúan; la entrada y la salida de objetos; los recursos de suministro y control; y el objetivo del proceso. Cabe destacar que los procesos pueden contener otros procesos u subprocesos que describen a su vez, el funcionamiento interno de un proceso general.

Dichos diagramas emplean una serie de elementos gráficos (ver Tabla 13), para analizar las relaciones entre los procesos. En este sentido de la Tabla 13 vemos que un proceso es una actividad estereotipada y denotada por la palabra <<process>>. Alrededor de él, pueden ser dibujados una serie de *objetos* que engloban sus requerimientos básicos tales como:

- Objetivos <<goal>>
- Entradas <<resource>>
- Salidas <<resource>>

- Suministros <<supply>>
- Controladores <<control>>

Tabla 13. Elementos utilizados en la representación de procesos propuesta por Erickson y Penker.

NOMBRE DEL OBJETO	SÍMBOLO	DEFINICIÓN / DESCRIPCIÓN
PROCESO		ES UNA DESCRIPCIÓN DE UN CONJUNTO DE ACTIVIDADES RELACIONADAS QUE, CUANDO SE REALIZAN CORRECTAMENTE SATISFACEN EL OBJETIVO ESPECÍFICO
OBJETIVO		DENOTA EL ESTADO DESEADO, SIGNIFICANDO QUE OBJETIVOS MOTIVAN A LAS ACCIONES QUE CONDUCEN A CAMBIOS DE ESTADO EN LA DIRECCIÓN DESEADA
RECURSO GENERAL		LOS RECURSOS PUEDEN SER PRODUCIDOS, CONSUMIDOS, UTILIZADOS O REFINADOS EN UN PROCESO. LOS RECURSOS SON INFORMACIÓN O COSAS. LAS COSAS PUEDEN SER ABSTRACTAS O FÍSICAS
RECURSO ABSTRACTO		UN RECURSO ABSTRACTO ES UN VALOR INTANGIBLE POR EJEMPLO CONCEPTOS, NORMAS, POSTULADOS MATEMÁTICOS Y ASÍ SUCESIVAMENTE
RECURSO FÍSICO		UN RECURSO FÍSICO, EXCLUYENDO PERSONAS. POR EJEMPLO SON MAQUINAS, DOCUMENTOS Y ASÍ SUCESIVAMENTE
RELACIÓN PARA EL OBJETO OBJETIVO		ASIGNA UN OBJETIVO A UN PROCESO
RELACIÓN PARA UN OBJETO DE ENTRADA		ILUSTRAS QUE UN PROCESO ESTÁ CONTROLADO POR UN OBJETO DE ENTRADA
RELACIÓN PARA UN OBJETO DE SUMINISTRO		ILUSTRAS QUE UN PROCESO ES SUMINISTRADO POR UN RECURSO DE ENTRADA

El *objeto objetivo* <<goal>> indica la meta que se desea alcanzar por parte del proceso y se relaciona mediante una flecha punteada que utiliza el estereotipo de dependencia <<achieve>>.

Los *objetos de entrada*, considerados como recursos de entrada para el proceso en desarrollo, son caracterizados a partir de una serie de estereotipos tales como <<physical>>, <<abstract>>, <<information>>, entre otros y son dibujados mediante una flecha punteada desde el objeto hacia el proceso.

Los *objetos de salida*, producidos por el proceso, son los resultados obtenidos a partir del refinamiento hecho por el mismo proceso, a uno o más objetos de entrada. Además, son considerados como recursos, por lo tanto, manejan los mismos estereotipos que los objetos de entrada. Su conexión se realiza

mediante una flecha punteada a otro objeto y su ubicación normalmente es a la derecha del proceso.

Los *objetos de suministro* son los recursos que participan en el proceso pero no son refinados ni consumidos. Además, son dibujados debajo del proceso con una dependencia desde el objeto hacia el proceso y emplea para ello, el estereotipo <<supply>>.

Los *objetos de control* son recursos que ejercen control, y son dibujados normalmente encima del proceso mediante una flecha punteada desde el objeto de control hacia el proceso. La dependencia de este objeto emplea el estereotipo <<control>>.

Si ejemplarizamos los elementos que engloban a un proceso, obtenemos la Figura 33 que presenta un diagrama básico de procesos. Llegados a este punto a continuación describiremos nuestra propuesta.

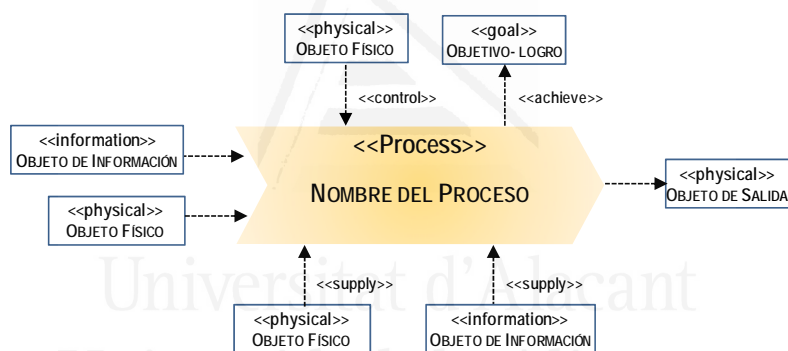


Figura 33. Notación de Erickson y Penker para la diagramación de procesos

Descripción general de la propuesta y su Metodología

Este apartado, dedicado a presentar la descripción general de nuestra propuesta, es abordado a partir de lo que expone el escenario general de los ITS especialmente, los centrados a los sistemas de transporte por carretera.

Si tomamos de base nuestra hipótesis inicial que plantea que: si se logra identificar, catalogar y desacoplar los diferentes tipos de tecnologías y sus servicios pertenecientes al ámbito de los ITS, se

podrán abordar por separado cada una de ellas lo que facilitaría la integración, la compatibilidad, la interoperabilidad, la expansión y la escalabilidad tanto de las tecnologías ITS como de sus servicios, contribuyendo así, a la especialización de los fabricantes. Lo anterior, permitiría la implantación de nuevos modelos de negocio, el despliegue de nuevos servicios de valor agregado, y la estandarización adecuada y coherente para enfrentar los problemas de la movilidad, de seguridad y de eficiencia reflejados a lo largo de la infraestructura de transporte.

Reiteramos nuevamente que es imprescindible destacar que actualmente la multiplicidad de tecnologías ITS está imposibilitando la prestación adecuada de servicios ITS de valor agregado debido a que la mayoría de ellas están compuestas por una gran multiplicidad de sistemas ad-hoc que están altamente acoplados tecnológicamente. Además, la cantidad de servicios ITS operativos es mínima, y en su mayoría se traducen en información plana que el usuario, dependiendo de los sistemas con que cuente a bordo, puede o no beneficiarse de ella.

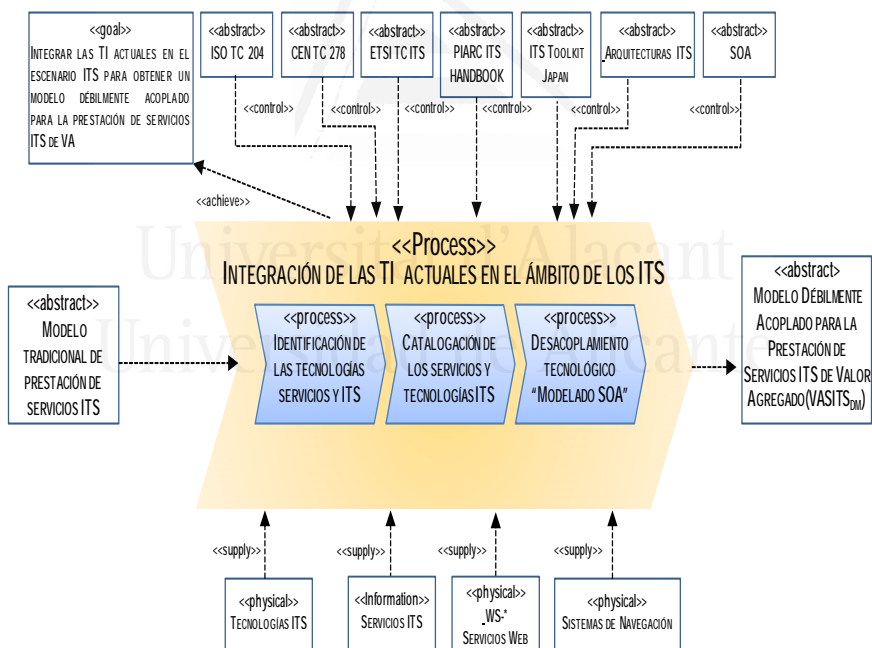
Nuestra propuesta entonces, parte del modelo tradicional de prestación de servicios ITS. Dicho modelo no tiene un patrón fijo dado que es dependiente de la arquitectura ITS utilizada por cada país (que puede ser o no propietaria) y del grupo de los servicios ITS que es demandado (Toshiyuki & Weiland, 2004) (HIDO, 2004).

Por lo tanto, a nivel mundial, (Bossom, Richard. & Jesty, 2009b) exponen que el despliegue de ITS debe tener una modelo acorde para lograr la prestación adecuada de servicios ITS, pero esto, no ha sido posible, debido a la cantidad de tecnologías que intervienen en los ITS provocando entonces, que no sea posible el ofrecimiento adecuado de servicios. Por este motivo, nuevas tecnologías y esquemas TI orientados a servicios que han tenido éxito en otros ámbitos de la sociedad, que han demostrado resultados muy satisfactorios en el momento de prestar servicios, que son altamente escalables y distribuidos, y que han permitido integrar diversos sistemas heterogéneos, serán utilizados en nuestra propuesta con el fin de desarrollar un modelo débilmente acoplado basado en esquemas TI que propicien en el ámbito ITS, la prestación y el despliegue apropiado de servicios ITS de valor agregado.

El objetivo fundamental de nuestra propuesta es determinar

cómo se deben integrar las TI en los ITS de forma efectiva aportando un valor claro y diferenciador y con la mayor independencia posible de los elementos ITS involucrados. No obstante, dichos elementos son muchos y muy variados. Así, en los ITS intervienen diferentes actores, organizaciones, países, intereses, objetivos, tecnologías y servicios. Por esa razón, para guiar el proceso y sobre todo para lograr un Modelo sistemático de integración que respete la independencia de todos los elementos, se propone una metodología para obtener el modelo de integración.

La metodología mencionada, toma como referencia los elementos más representativos que intervienen en los ITS y por medio del planteamiento de un *proceso general* que hemos denominado “Integración de las TI actuales en el ámbito ITS”, nos lleva a producir de forma sistemática los pasos a seguir para obtener un modelo débilmente acoplado (ver Figura 34) que propicie la prestación de servicios ITS de valor agregado.



VASITS_{DM}: Value Added ITS Services Delivery Model -Modelo de Prestación de Servicios ITS de Valor Agregado

Figura 34. Metodología general de integración de las TI en el ámbito de los ITS

El modelo que será propuesto será capaz de ofrecer una gran cantidad de servicios ITS de valor agregado, de facilitar la incorporación de nuevas tecnologías, de permitir la interoperabilidad de los sistemas y servicios existentes y de entregar los lineamientos adecuados que fomenten la especialización de los fabricantes para que desarrollen productos más acordes con su campo de competencia.

Como se puede observar de la Figura 34, la metodología propuesta ha utilizado la nomenclatura de modelado expuesta anteriormente para expresar de manera formal los componentes ITS más importantes que controlarán y apoyarán todo el proceso de forma global.

El proceso principal sigue el planteamiento de nuestra idea global y por esa razón, tiene como objetivo fundamental la integración de las TI actuales en el escenario ITS para obtener un modelo débilmente acoplado que propicie la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Para desarrollar tal objetivo de forma coherente y normalizada, hemos planteado al interior del proceso general, tres grandes subprocesos o fases. Tales fases representan la columna vertebral del desarrollo de la tesis doctoral y serán abordadas con mayor profundidad en los capítulos siguientes.

En síntesis, nuestra metodología aborda como tal tres fases fundamentales, la primera y la segunda son complementarias, es decir que serán abordadas de forma conjunta conformando así la fase general de identificación y catalogación de tecnologías y servicios y la tercera llamada fase de desacoplamiento tecnológico y modelado.

Las fases mencionadas no han sido elegidas al azar sino partiendo de lo planteado por los últimos proyectos de investigación Europeos y Mundiales y por los principales organismos ITS que buscan cada vez más, la armonización a escala general de las aplicaciones ITS, el empleo de protocolos de redes y transporte adecuados, la aplicación de las arquitecturas ITS, y las políticas de gestión efectivas para la seguridad en las carreteras (European Commission, 2009), entre otras.

Las fases definidas están estrechamente relacionadas con el espectro de los ITS y recogen las características más importantes que dan lugar a la prestación de servicios ITS de valor agregado. Además, los elementos controladores de tales fases son en

esencia, los principales organismos de estandarización ITS debido a que contribuyen de forma general con los principales lineamientos que deben seguirse para la elaboración de un escenario de prestación de servicios, objetivo fundamental de nuestro modelo.

Por último, es importante notar que las fases de la metodología propuesta siguen la nomenclatura de modelado de Erickson y Penker (E&P), por tanto, tendrán sus respectivos objetivos y controladores permitiendo así, estructurarlas de forma coherente para su desarrollo.

A continuación se describen de forma resumida las fases identificadas dado que son el núcleo central de la tesis doctoral las cuales posteriormente, serán analizadas con más profundidad en los capítulos posteriores.

Fase de Identificación de Tecnologías y Servicios ITS de valor agregado

Dicha fase, ha sido planteada debido a la gran cantidad de sistemas tecnológicos presentes a lo largo de la infraestructura de transporte y tiene como fin, la identificación de las principales tecnologías ITS utilizadas a lo largo de la infraestructura y que posibilitan la prestación de servicios.

Similarmente tiene como fin, la identificación de los servicios ITS de valor agregado representando así, una de las partes esenciales para el desarrollo del modelo. Al hacerlo, serán analizados tanto las tecnologías como los servicios ITS con el objetivo de conocer cuáles son los requerimientos más importantes que facilitan el despliegue de dichos servicios.

Dicha fase, partirá del modelo tradicional de prestación de servicios ITS del cual, tomaremos ventaja, para analizar sus parámetros arquitecturales básicos y emplearlos en nuestro beneficio.

Para determinar el subconjunto tecnológico ITS, seguiremos las propuestas realizadas por los distintos comités técnicos de normalización tales como el comité técnico ISO TC 204, el comité técnico CEN TC 278 y el comité técnico ETSI TC ITS, de tal forma que nuestro modelo abarque el mayor espectro tecnológico posible.

Además, seguiremos los planteamientos del comité ejecutivo de los ITS a nivel mundial (ITSSG, 2003) para homogenizar adecuadamente el escenario tecnológico ITS con el fin de obtener sistemas coherentes que propendan hacia el despliegue de servicios ITS.

A partir de lo expuesto, es preciso mencionar que gran cantidad de estándares tecnológicos ITS han sido desarrollados y elaborados en todas las áreas del transporte, y por este motivo, analizaremos los estándares más adecuados que tienen una relación tanto intrínseca como extrínseca con el desarrollo de nuestro modelo.

En consecuencia con lo que hemos expuesto, la Figura 35 presenta la nomenclatura de modelado para dicha fase que alberga para su desarrollo, varios subprocesos críticos relacionados con la identificación tanto de tecnologías como de servicios ITS. Al mismo tiempo, es importante destacar que cada subproceso tiene una o varias salidas dependiendo de los recursos de información con que cuente en la entrada.

Para finalizar, lo que se recoge en dicha fase es analizado, ampliado y complementado en el Capítulo 4 de la investigación doctoral.

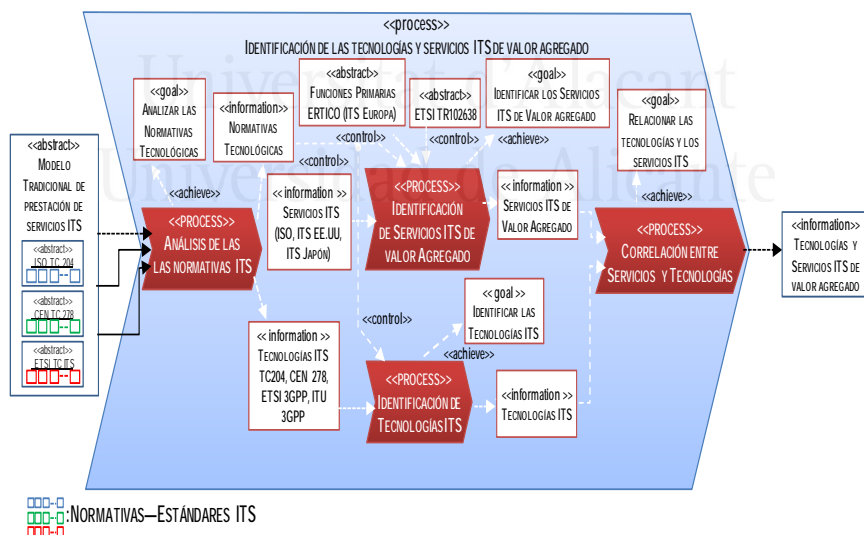


Figura 35. Metodología para el desarrollo la fase de identificación de tecnologías y servicios ITS

Fase de Catalogación de las Tecnologías y Servicios ITS de valor agregado

Definida con el objetivo de catalogar tanto las tecnologías como los servicios ITS de acuerdo a su funcionalidad y comportamiento dentro de la infraestructura de transporte. Además, incluye la identificación de los esquemas tecnológicos en los que un servicio ITS podría ser desplegado y consumido por el usuario.

De forma global, será utilizada para encontrar la forma adecuada en que deben ser catalogadas las tecnologías y los servicios ITS, con el fin de contribuir a un fácil despliegue y prestación de servicios ITS de valor agregado.

En su desarrollo empleamos los aspectos más relacionados a la catalogación de tecnologías y servicios ITS a nivel mundial. Por este motivo, las principales recomendaciones y propuestas han sido consideradas y en las que se incluyen: el Toolkit Japonés (HIDO, 2004), las directrices de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) y las recomendaciones del comité técnico ETSI TC ITS (ETSI, 2009).

La metodología para el desarrollo de dicha fase se recoge en la Figura 36 que plantea identificar las formas de catalogación tanto de las tecnologías como de los servicios ITS para luego componer el catálogo general de las tecnologías y servicios ITS.

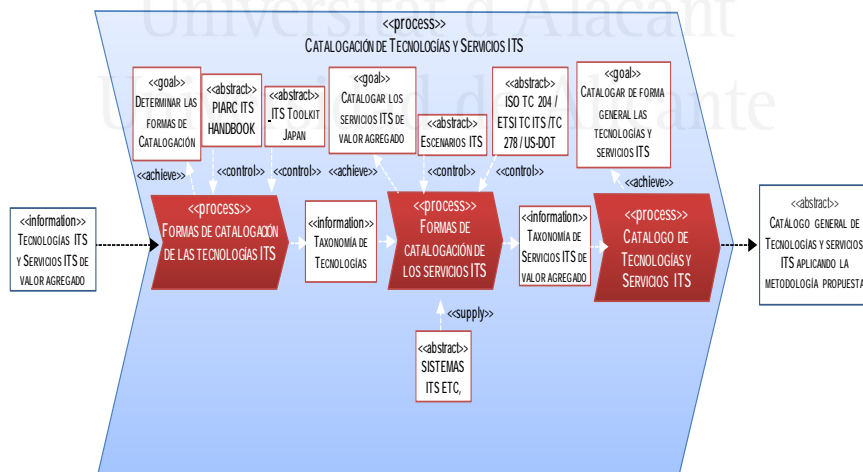


Figura 36. Metodología para el desarrollo de la fase de catalogación de tecnologías y servicios ITS

Para finalizar, es preciso mencionar que uno de los aspectos más relevantes para la catalogación tanto de tecnologías como de servicios ITS se da a partir de los escenarios de comunicaciones originados a lo largo de infraestructuras de transporte es decir, (V2V, I2V, V2I, I2I) (Segarra, 2009) resultando claves en el despliegue y prestación de servicios.

A continuación, presentamos la última fase de nuestra propuesta, presentada como pilar fundamental para el desacoplamiento tecnológico y que permitirá la reordenación de las tecnologías ITS de forma adecuada, contribuyendo así a la elaboración del modelo.

Fase de desacoplamiento tecnológico - Modelado SOA

Recibe la aportación principal de las dos fases anteriores y tiene como fin desacoplar de forma coherente, los elementos tecnológicos involucrados en tales fases lo que permitirá garantizar el despliegue y la prestación de servicios ITS de valor agregado. Los subprocesos que componen dicha fase son expuestos en la Figura 37.

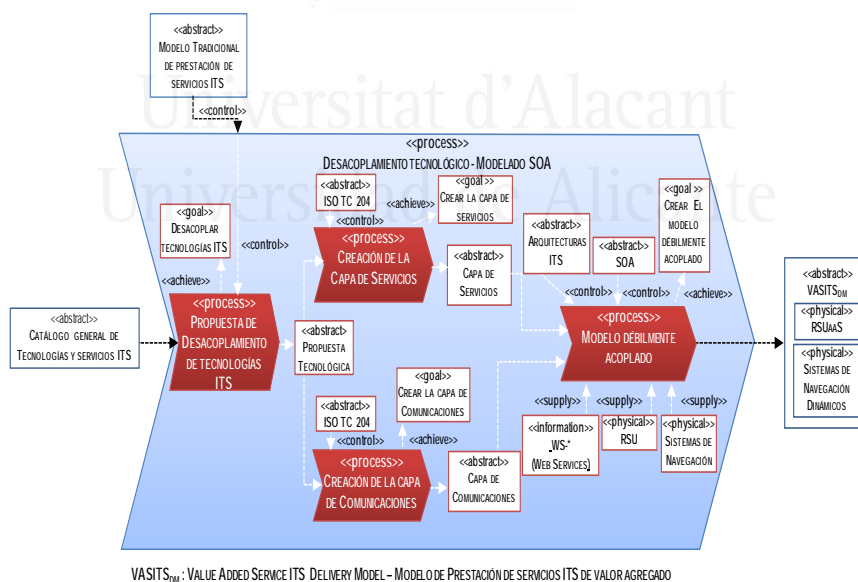


Figura 37. Metodología para el desarrollo de la fase de desacoplamiento tecnológico - Modelado SOA

Al obtener el desacoplamiento, se propone el modelo general de acoplamiento débil que emplea patrones TI y más concretamente de estos, los basados en tecnologías orientadas a servicios garantizando entonces, la interoperabilidad, la integración, la compatibilidad y la expansión tanto de tecnologías como de servicios ITS. Para llevar a cabo nuestro modelo, las recomendaciones transversales utilizadas en implementaciones realistas y en las arquitecturas ITS tales como cuenta (ISO_14813, 2007b; ISO_24097, 2009) (Chen, K. H. *et al.*, 2008) (Bossom, R. & Jesty, P. H., 2005), (ITS-JP, 1999), son tomadas en cuenta con el fin de elaborar un modelo basado en estándares ITS.

Como se detalla en la Figura 37 nuestra metodología, controlada por los elementos ITS más representativos, detalla que dos capas serán creadas, la capa de servicios y la capa de comunicaciones, en ellas, serán desacoplados los elementos tecnológicos ITS lo que nos llevara al planteamiento de nuestro modelo general para la prestación de servicios ITS de valor agregado el cual, hemos llamado *VASITS_{DM} (Value Added Services ITS Delivery Model)*.

Nuestro modelo emplea tecnologías tanto maduras como emergentes permitiendo así, hacer viable la propuesta. Al incorporar tales tecnologías, la interoperabilidad, la integración, la compatibilidad y la expansión de tecnologías y servicios ITS estará cada vez más cerca de nuestro principal objetivo, mencionado con anterioridad.

Concretamente, nuestra propuesta se focaliza en presentar un modelo general que facilite la prestación y el despliegue de servicios ITS a los usuarios de la infraestructura (centrales de emergencia, centros de policía, conductores, viajeros, peatones, etc). Para ello, aplicaremos los paradigmas de más alto éxito en cuanto a la integración de tecnologías, llevados recientemente al campo de los ITS. Concretamente, aplicaremos el paradigma de Arquitecturas Orientadas a Servicios (SOA) debido a sus innovadoras características de: reusabilidad, integración, interoperabilidad, acoplamiento débil, granularidad, descubrimiento, y alineación con el negocio, despliegue ágil de servicios, etc (Marks Eric A & Bell, 2006).

Por otra parte, en esta fase es imprescindible mencionar que las propuestas actuales como por ejemplo (EasyWay, 2009) únicamente están centradas en la integración de servicios entre las centrales de tráfico, dejando así, un amplio espectro de

trabajo en lo que respecta a la prestación de servicios de cara al usuario.

De forma general y resumiendo, nuestra metodología, compuesta por varias fases, actúa como columna vertebral de nuestra investigación. Las fases serán debidamente ampliadas en los capítulos cuatro y cinco de la tesis doctoral, los cuales exponen las especificidades más particulares para el despliegue de los servicios ITS de valor agregado.

Por último es de destacar que el modelo que será planteado requiere una arquitectura del sistema para su diseño, expuesta en el capítulo seis, tal arquitectura hace parte de la última etapa de la investigación junto con las pruebas y validación que serán desarrolladas en el capítulo siete.

Conclusiones

Se ha descrito de forma general la metodología que será llevada a cabo en la investigación doctoral donde, se han resaltado los componentes más importantes para su desarrollo.

La metodología fue expuesta empleando la nomenclatura de propuesta por Ericsson y Penker dada su gran capacidad de abstracción y simplificación para tratar la complejidad que tiene los ITS.

Asimismo, las tres fases correspondientes con la investigación doctoral han sido plateadas es decir, la fase de identificación de tecnologías y servicios ITS, la fase de catalogación de tecnologías y servicios y por último, la fase de desacoplamiento tecnológico – Modelado SOA.

Al aplicar la metodología planteada será posible observar en el transcurso de la investigación, la forma de cómo será abordado nuestro problema central, focalizado en la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Capítulo Cuarto

Identificación y Catalogación de Tecnologías y Servicios ITS

El presente capítulo aborda y analiza con mayor detalle las dos primeras fases correspondientes a nuestra metodología general, es decir, las fases de identificación y catalogación de las tecnologías y servicios ITS.

Antes de comenzar a desarrollar ambas fases es preciso resaltar que nuestra propuesta parte del análisis del modelo tradicional para la prestación de servicios ITS, a partir de ahora, MTPSITS (*Modelo Tradicional para la prestación de servicios ITS*), por lo que en un principio estableceremos sus características y luego al tenerlas abordaremos de pleno las fases mencionadas.

Aclarando un poco, desde el punto de vista científico e industrial el MTPSITS tiene como principales objetivos, hacer frente a los problemas de las redes de transporte integrales, apoyar el control de la operación de vehículos sobre las redes de transporte y generar la planeación eficiente de las operaciones de vehículos tanto en el entorno urbano, como de carga o particular (PIARC, 2004).

Los principales comités técnicos del ámbito de los ITS (CEN_TC_278, 2007; ETSI_TC_ITS, 2010; ISO_TC204, 2009), exponen que el MTPSITS debe ser constantemente mejorado para

que puede hacer frente a los diferentes problemas a los que se enfrentan los organismos de control del transporte de cada país.

No obstante, una de las mayores discusiones a las que se enfrentan los organismos de estandarización con respecto al MTPSITS es la forma de cómo los países integran los ITS para su beneficio, ya que cada país toma sus propias decisiones en cuestión de infraestructura y servicios. Por ello, al momento de desplegar sistemas ITS, los países emplean diversos tipos de modelos y arquitecturas propietarias lo cual infiere de entrada una cuota de heterogeneidad tecnológica bastante extensa sobre la infraestructura (Bossom, R. & Jesty, P., 2005) que mitiga en gran parte la prestación de servicios.

De acuerdo al análisis de las normativas ITS presentes, el MTPSITS parte del grupo de trabajo número uno del comité técnico de ITS (ISO_TC204, 2009) concretamente de la especificación técnica ISO 14813 del año 2007 (ISO_14813, 2007a), enfocada a la arquitectura y al modelo conceptual de referencia general para los ITS. Tal especificación contiene seis partes como se ilustra en la Tabla 14 y en ellas, se analizan de forma concreta varios aspectos del MTPSITS.

Tabla 14. Especificación TS 14813. MTPSITS

PARTE	TÍTULO	CONTENIDO
1	SERVICIOS FUNDAMENTALES	DEFINICIÓN DE LAS CLASES DE SERVICIOS Y CATEGORÍAS
2	NÚCLEO DE LA ARQUITECTURA DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA ORIENTA A OBJETOS ABSTRACTOS
3	ELABORACIÓN DE EJEMPLOS	DESCRIPCIÓN DE EJEMPLOS ESPECÍFICOS DE LA ARQUITECTURA DE REFERENCIA CON ÉNFASIS EN LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE TRAFICO
4	MODELO DE PRUEBA DE REFERENCIA	EXPLICACIÓN DE LA TERMINOLOGÍA BÁSICA Y VISTAS DE MODELADO EN LA ARQUITECTURA DE REFERENCIA
5	REQUERIMIENTOS PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA	DOCUMENTACIÓN DE TÉRMINOS Y FORMAS UTILIZADAS EN EL MODELO DE REFERENCIA
6	PRESENTACIÓN DE LOS DATOS ASN1.	DESCRIPCIÓN DE LA NOTACIÓN ASN1

Cada parte tiene una labor especial dentro del modelo de referencia, por ejemplo: la primera recoge los servicios ITS fundamentales y define las categorías de tales servicios; la segunda recoge las tecnologías de software que son aplicadas al despliegue de ITS; la tercera elabora diversos ejemplos para el área específica de gestión de tráfico; la cuarta recoge la terminología utilizada en el MTPSITS; y la quinta y la sexta recogen los requerimientos que debe tener la documentación del modelo de referencia y los protocolos que son utilizados para la presentación de la información respectivamente.

A pesar de la organización del MTPSITS reflejada en el estándar mencionado, es preciso destacar que los continuos cambios tecnológicos a lo largo de los años y en especial, los surgidos en la infraestructura de transporte, han creado cierta debilidad en el mismo. Por este motivo, debe ser constantemente ampliado y mejorado para satisfacer, mediante el ofrecimiento de una gran variedad de servicios ITS de valor agregado, a los usuarios ITS lo cual, hasta el momento, está bajo estudio e investigación.

Actualmente, uno de los cambios más fuertes que enfrenta el MTPSITS es la nueva tendencia hacia la incorporación de las nuevas redes vehiculares (VANETs). Las VANETs requieren el planteamiento de nuevas arquitecturas y modelos que aún no han sido considerados de pleno en el MTPSITS, incluso, a pesar de que los organismos de estandarización han comenzado a establecer nuevas normativas que las promueven. Para el establecimiento de las VANETs, la iniciativa CALM dio los primeros peldaños para su implantación (Williams, B., 2004) y luego el comité de comunicaciones electrónicas apoyo su incorporación mediante la asignación de un nuevo espectro de frecuencia con el fin de promoverlas dado que contribuyen al despliegue de servicios ITS (ECC, 2008).

Por tanto, el MTPSITS se ve enfrentado día tras día a nuevas tendencias tecnológicas y por esta razón, se requiere la aplicación de iniciativas de TI capaces de gestionar su complejidad y sus problemas de forma adecuada.

Una de las recientes decisiones del sector de los ITS es la de incorporar al MTPSITS, la aplicación de paradigmas TI orientados a servicios para facilitar la prestación de servicios ITS de forma general pero esto aún se encuentra en un leve desarrollo (ISO_24097, 2009).

De acuerdo a lo expuesto, faltan muchas cuestiones aún por abordar por el MTPSITS y más las asociadas a la prestación de servicios ITS de valor agregado, por ello, a continuación aplicaremos nuestra metodología general con el fin de crear un modelo débilmente acoplado que sea capaz de integrar de forma coherente las tecnologías ITS y que facilite la prestación de servicios (VASITS_{DM}).

En este sentido damos paso al desarrollo de la primera fase de nuestra metodología es decir, a la identificación de tecnologías y servicios ITS, permitiéndonos así, situar los elementos

tecnológicos y los servicios ITS más relevantes que promueven la prestación de servicios.

Tal fase está compuesta por cuatro pasos fundamentales (ver Figura 38). El primero, enfocado al análisis de las normativas ITS; el segundo, enfocado a la identificación de las tecnologías ITS; el tercero, focalizado a la identificación de los servicios ITS y el cuarto, enfocado a la correlación entre los servicios y tecnologías que serán identificadas.

Análisis de las Normativas ITS

Es el primer paso de nuestra metodología en el cual hemos considerado los principales organismos normativos de los ITS tales como el CEN TC278, el TC204 y el ETSI TC ITS (CEN_TC_278, 2007; ETSI_TC_ITS, 2010; ISO_TC204, 2009) para extraer desde sus normativas los elementos tecnológicos que componen el espectro de los ITS.

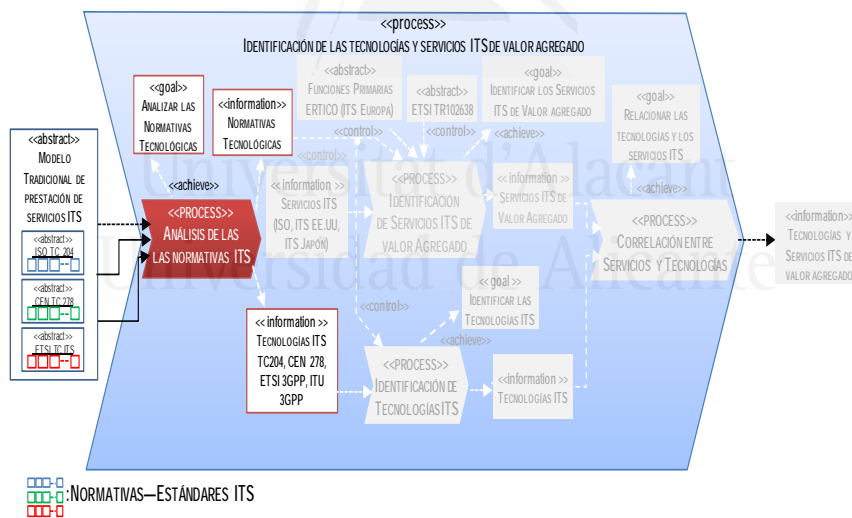


Figura 38. Análisis de las normativas en el espectro ITS

Al analizar cada organismo se encontraron diversas similitudes relacionadas con el grupo de trabajo y con las mismas normativas ITS. Asimismo se estableció que organismo de normalización es el líder en cada grupo de trabajo, por ello, antes

de comenzar nuestro análisis hemos recogido tales similitudes (ver Tabla 15) respectivas a los comités TC 204 y al TC 278 lo cual nos servirá para establecer un conjunto claro de normativas que nos permitan identificar las principales tecnologías ITS.

Al elaborar tal comparativa es preciso resaltar que se han establecido dos nuevos grupos de trabajo, el WG18 perteneciente al TC 204 y el WG16 perteneciente al TC 278; enfocados ambos a los sistemas cooperativos. Lo anterior es de suma importancia ya que la incorporación de tales grupos verifica que MTPSITS comienza a cambiar dado que las áreas que enfrentan están asociadas a los nuevos escenarios de comunicación para los ITS y a las nuevas ideologías para la prestación de servicios ITS (Hans-Joachim, 2010). Actualmente, tales grupos son los que ponen en jaque al MTPSITS, por lo tanto, los tomamos en cuenta para la realización de nuestro modelo.

Tabla 15. Equivalencias de los grupos de trabajo para los organismos de normalización ISO TC204 y CEN TC278

ISO TC204		CEN TC278		LÍDER
WG	GRUPO DE TRABAJO	SIMILITUD WG	GRUPO DE TRABAJO	NA
WG1	ARQUITECTURA Y MODELO DE REFERENCIA	WG13	ARQUITECTURA DEL SISTEMA Y TERMINOLOGÍA	ISO
WG3	TECNOLOGÍA EN BASES DE DATOS	WG7 y WG8	ARCHIVOS DE DATOS GEOGRÁFICOS Y BASES DE DATOS DE LA CARRETERA	ISO
WG4	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULO AUTOMÁTICA	WG12	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÁTICA Y IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO	CEN
WG5	RECOLECCIÓN DE TASAS AUTOMÁTICAS	WG1	RECOLECCIÓN DE TASAS AUTOMÁTICAS Y CONTROL DE ACCESO	CEN
WG7	GESTIÓN DE FLOTAS Y DE OPERACIONES DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE CARGA	WG2	SISTEMAS DE GESTIÓN DE FLOTAS Y DE VEHÍCULOS DE CARGA	ISO
WG8	TRANSPORTE PÚBLICO	WG3	TRANSPORTE PÚBLICO	ISO
WG9	CONTROL Y GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN INTEGRADA DEL	WG4	SISTEMAS DE CONTROL DE TRÁFICO / INFORMACIÓN AL VIAJERO Y DEL TRÁFICO	ISO/CEN
WG10	TRANSPORTE INFORMACIÓN AL VIAJERO			
WG11	GUIADO DE RUTAS Y NAVEGACIÓN	-	-	VACANTE
WG14	SISTEMAS DE CONTROL Y ADVERTENCIA VEHÍCULO/ CARRETERA	-	-	-
WG15	DSRC	WG9	DSRC	CEN
WG16	COMUNICACIONES DE AMPLIO RANGO	-	-	ISO
WG17	DISPOSITIVOS NÓMADAS EN SISTEMAS ITS	WG10	INTERFACES HOMBRE MÁQUINA	CEN
WG18	SISTEMAS COOPERATIVOS	WG16	SISTEMAS COOPERATIVOS	ISO

NA: NO APLICA, -: NO TIENE EQUIVALENTE, WG: WORKING GROUP

Si realizamos una comparativa entre las normativas ITS que expone el WG1 del TC 204 y el WG13 del TC278 (ver Tabla 16), ambos equivalentes, podremos observar que los estándares

contemplados por el TC 278 resultan pocos, al lado de los propuestos por el TC 204. No obstante, esto sucede únicamente para el área de la Arquitectura ITS (WG1) dado que en otras áreas el TC 278 tiene gran cantidad estándares y es el líder indiscutible de algunos grupos de trabajo.

De la comparativa realizada se extrae que el estándar ISO TR 14813-1:2007/WG1 relacionado con los servicios ITS es equivalente al estándar CEN 278002/ WG13 o para otro caso, el estándar ISO TR 14813-6:2009 relacionado con los sistemas de control e información del transporte es equivalente al 278111/WG13. Por lo tanto, de este análisis se extrae que la perspectiva ofrecida por el TC 278 de la CEN con respecto a los estándares enfocados a la arquitectura ITS resultan adecuados para la construcción del MTPSITS pero al mismo tiempo resultan pocos para lograr la convergencia de servicios ITS de valor agregado. Por ello tomamos de base el TC 204 dado que posee una envergadura más amplia para el tratamiento del MTPSITS en cuanto a la arquitectura ITS que la presentada por el TC 278. Concretamente el TC 204 resulta más fuerte en el área de modelado debido a las herramientas de TI empleadas.

Para afianzar tal afirmación en la Tabla 16 han sido subrayados algunos estándares asociados a las TI tales como el ISO 17452:2007, el ISO 24097:2009, el ISO DIS 24531:2007 y el ISO TR 24532:2006 que lastimosamente no son recogidos directamente desde el TC 278 sino a través del TC 204, causando entonces, que para el caso de la arquitectura ITS el TC 204 tenga más relevancia.

Por otra parte, a continuación son analizados del TC 204 los grupos de trabajo restantes y sus principales normativas ya que incorporan más elementos tecnológicos ITS que promueven la prestación de servicios ITS de valor agregado (ver Tabla 17). En dicha tabla es preciso mencionar que sólo se ilustran los estándares más asociados a las necesidades de nuestro modelo.

Del mismo modo es preciso aclarar que dichas normativas son de uso exclusivamente comercial así que el acceso a su información es limitado, por ello, hemos tomado de forma general lo más importante que exponen para así, acercar a nuestro modelo el espectro estandarizado de los ITS.

Tabla 16. Comparativa e equivalencias de las normativas del WG1 y del WG13 enfocados a la Arquitectura ITS

COMITÉ	WG	NORMA ISO	NORMA CEN TC 278/WG	NOMBRE DE LA NORMA	ESTADO
TC204	WG 1 ARQUITECTURA	TR 12859:2009		ITS – SYSTEM ARCHITECTURE- PRIVACY ASPECTS IN ITS STANDARDS AND SYSTEMS	IS
		TR 14813-1:2007	278002 / WG13	REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE ITS SECTOR - PART 1: ITS SERVICE DOMAINS, SERVICE GROUPS AND SERVICES	IS
		TR 14813-2: 2000	278107 / WG13	REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE TICS SECTOR - PART 2: CORE TICS REFERENCE ARCHITECTURE	IS, UR
		TR 14813-3: 2000	278108 / WG13	REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE TICS SECTOR - PART 3: EXAMPLE ELABORATION	IS, UR
		TR 14813-4:2000	278109 / WG13	REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE TICS SECTOR - PART 4: REFERENCE MODEL TUTORIAL	IS, TBR
		TR 14813-5:1999	278110 / WG13	REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE TICS SECTOR - PART 5: REQUIREMENTS FOR ARCHITECTURE DESCRIPTION IN TICS STANDARDS	IS, TBR
		FDIS 14813-5:2009		REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE TICS SECTOR - PART 5: REQUIREMENTS FOR ARCHITECTURE DESCRIPTION IN TICS STANDARDS	FDIS, UD
		TR 14813-6: 2009	278111 / WG13	REFERENCE MODEL ARCHITECTURE FOR THE TICS SECTOR - PART 6: DATA PRESENTATION IN ASN.1	IS
		14817: 2002		TRANSPORT INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS—REQUIREMENTS FOR AN ITS/TICS CENTRAL DATA REGISTRY AND ITS/TICS DATA DICTIONARIES	IS, UR
		17452:2007		USING UML FOR DEVELOPING DATA ELEMENTS AND DOCUMENTING ITS	IS
		24097:2009		USING WEB SERVICES (MACHINE-MACHINE DELIVERY) FOR ITS SERVICE DELIVERY	IS
		TR 24098:2007		PROCEDURES FOR DEVELOPING ITS DEPLOYMENT PLANS USING ITS SYSTEM ARCHITECTURE	IS
		TR 24529:2008		ITS – SYSTEM ARCHITECTURE USE OF DEFINED MODELING LANGUAGE (UML) IN ITS INTERNATIONAL STANDARDS AND DELIVERABLES	IS
		DIS 24531:2007		ITS—SYSTEM ARCHITECTURE, TAXONOMY AND TERMINOLOGY—USING XML IN ITS STANDARDS, DATA REGISTRIES AND DATA DICTIONARIES	IS
		TR 24532:2006		ITS—SYSTEMS ARCHITECTURE, TAXONOMY AND TERMINOLOGY—USING CORBA IN ITS STANDARDS, DATA REGISTRIES AND DATA DICTIONARIES	IS
		TR 25100:2008		ITS – HARMONIZATION OF ITS DATA CONCEPTS	IS
		TR 25102:2008		ITS USE CASE PROFORMA TEMPLATE	IS
		TR 25103:2006		BUSINESS JUSTIFICATION FOR ITS ARCHITECTURE	WD, UD
		TR 25104:2008		TRAINING REQUIREMENTS FOR ITS SYSTEM ARCHITECTURE	IS
		DTR 25109:2010		EXAMPLE HIGH LEVEL ARCHITECTURE ELABORATION : EMERGENCY CALL	IS
DTR 26999:2010		ITS – USE OF PROCESS ORIENTATED METHODOLOGY IN ITS INTERNATIONAL STANDARDS AND DELIVERABLES	CD, UD		

TR = Technical Report, IS = International Standard, UR = Under Review, TBR: To Be Revised, FDIS = Final Draft International Standard, UD = Under Development, DTR: Draft technical Report, WD Working Draft, CD = Committee Draft.

Tabla 17. Normativas y tecnologías IT, ISO TC 204

COMITÉ	WG	NORMA ISO	NOMBRE DE LA NORMA	ESTADO
TC204	WG 1 ARQUITECTURA	TR 17452:2007	USING UML FOR DEVELOPING DATA ELEMENTS AND DOCUMENTING ITS	IS
		24097:2009	USING WEB SERVICES (MACHINE-MACHINE DELIVERY) FOR ITS SERVICE DELIVERY	IS
		DIS 24531:2007	ITS—SYSTEM ARCHITECTURE, TAXONOMY AND TERMINOLOGY—USING XML IN ITS STANDARDS, DATA REGISTRIES AND DATA DICTIONARIES	IS
		TR 24532:2006	ITS — SYSTEMS ARCHITECTURE, TAXONOMY AND TERMINOLOGY— USING CORBA IN ITS STANDARDS, DATA REGISTRIES AND DATA DICTIONARIES	IS
	WG 3 TECNOLOGÍA BASES DE DATOS EN TICS	DIS 14825:2010	GEOGRAPHIC DATA FILES GDF 5.0	DIS, UD
		DIS 24099:2010	NAVIGATION DATA DELIVERY STRUCTURES AND PROTOCOLS	DIS, UD
	WG 5 TARIFAS Y RECAUDACIÓN DE PEAJES	TS 17575:2008	ELECTRONIC FEE COLLECTION (EFC), APPLICATION INTERFACE DEFINITION FOR EFC BASED ON GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM AND CELLULAR NETWORK (GNSS/CN)	UD
	WG 9 GESTIÓN Y CONTROL DE LA INFORMACIÓN DEL TRANSPORTE INTEGRADA	15784-1:2008	ITS -DATA EXCHANGE INVOLVING ROADSIDE MODULES COMMUNICATION PART 1 GENERAL PRINCIPLES AND DOCUMENTATION FRAMEWORK	IS
		AWI 15784:2010	DATA EXCHANGE INVOLVING ROADSIDE MODULES COMMUNICATION PART 2 APPLICATION PROFILE	WD, IS
	WG 10 SISTEMAS DE INFORMACIÓN AL VIAJERO	14819-1:2003	TRAFFIC AND TRAVELLER INFORMATION (TTI) TTI MESSAGES VIA TRAFFIC MESSAGE CODING—PART 1: CODING PROTOCOL FOR RADIO DATA SYSTEM—TRAFFIC MESSAGES CHANNEL RDS-TMC	IS, UR
		TS 14821 -1:2003	TTI—TTI MESSAGES VIA CELLULAR NETWORKS — GENERAL SPECIFICATIONS	PUBLISHED
		TS 14823:2008 EN 12966	TTI—MESSAGES VIA MEDIA INDEPENDENT STATIONARY DISSEMINATION SYSTEMS (VARIABLE MESSAGE SINGS :VMS)	IS
		TS 18234-X:2006	TTI—TTI VIA PROTOCOL EXPERT GROUP (TPEG DATA STREAM)	IS
	WG 11 SISTEMAS DE NAVEGACIÓN Y ORIENTACIÓN DE RUTAS	TR 17384:2008	ITS—INTERACTIVE CENTRALLY DETERMINED ROUTE GUIDANCE (CDGR)—AIR INTERFACE MESSAGE SET CONTENTS AND FORMAT.	IS
	WG 15 COMUNICACIONES DE CORTO ALCANCE DEDICADAS PARA APLICACIONES TICS	15628:2007	ROAD TRANSPORT AND TRAFFIC TELEMATICS - DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATIONS (DSRC)	IS, UR
	WG 16 INTERFACES Y PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES DE ÁREA AMPLIA	21212:2008	ITS—COMMUNICATIONS ACCESS FOR LAND MOBILE (CALM) 2G CELLULAR SYSTEMS	IS
		21213:2008	ITS—COMMUNICATIONS ACCESS FOR LAND MOBILE (CALM) 3G CELLULAR SYSTEMS	IS
		21214:2006	ITS—COMMUNICATIONS ACCESS FOR LAND MOBILE (CALM) INFRARED SYSTEMS	IS, TBR
		21215:2010	I ITS—COMMUNICATIONS ACCESS FOR LAND MOBILE (CALM) CALM M5	DIS, UD
		25112:2010	ITS—COMMUNICATIONS ACCESS FOR LAND MOBILE (CALM) MOBILE WIRELESS BROADBAND USING IEEE 802.16	FDIS
	WG17 DISPOSITIVOS NÓMADAS EN SISTEMAS ITS	TR 10992:2008	NOMADIC DEVICES TO SUPPORT ITS SERVICES AND MULTIMEDIA PROVISION IN VEHICLES	WD, UD

TR = TECHNICAL REPORT, IS = INTERNATIONAL STANDARD, UR = UNDER REVIEW, TBR: TO BE REVISED, FDIS = FINAL DRAFT INTERNATIONAL STANDARD, TS=TECHNICAL SPECIFICATION, UD = UNDER DEVELOPMENT, WD WORKING DRAFT, CD = COMMITTEE DRAFT, AWI = APPROVED WORK ITEM, TICS= TRANSPORT INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS

Como puede apreciarse, la Tabla 17 está compuesta por cinco columnas; la primera asociada al organismo de estandarización TC204; la segunda, recoge el grupo de trabajo que expone la normativa ITS, la tercera, expone el número de especificación de las normativas ITS; la cuarta, recoge el nombre con que se identifica la normativa y la quinta, recoge el estado actual de tales normativas.

Luego de analizar tales normativas, ha sido posible extraer un conjunto tecnológico ITS el cual será desarrollado en el segundo paso de nuestra primera fase es decir, la identificación de las tecnologías ITS.

Identificación de las tecnologías ITS

Luego de realizado el primer paso correspondiente a nuestra metodología de integración, ahora realizaremos el segundo paso enfocado a la identificación de las tecnologías ITS (ver Figura 39).

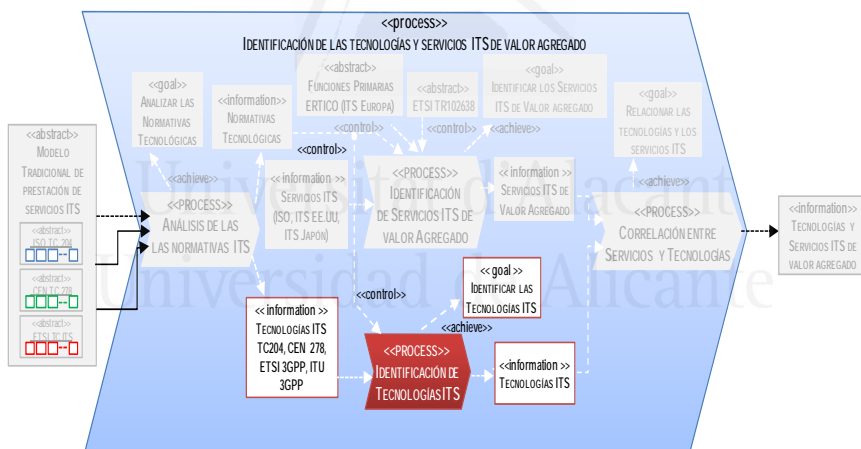


Figura 39. Identificación de las tecnologías ITS

Para llevar a cabo este paso hemos analizado las normativas ITS expuestas en la Tabla 17 para construir un conjunto tecnológico ITS mucho más acotado por ello, a continuación analizamos tal tabla para cada uno de los grupos de trabajo del TC 204 con el fin de extraer las tecnologías ITS más relevantes para la elaboración de nuestro modelo .

Arquitectura ITS y Modelado

Analizando de forma general la Tabla 17, vemos que en el WG1 recoge los estándares asociados a la utilización de tecnologías de TI para la convergencia de servicios. De aquí se destacan el lenguaje de modelado unificado UML, la utilización de servicios web, el uso de esquemas basados en XML y el uso de esquemas CORBA para generar sistemas distribuidos. Tales estándares son de gran importancia a la hora de proponer nuevos modelos que contribuyan a la prestación de servicios ITS por ello, participan activamente en la sección de la arquitectura ITS.

Sistemas de almacenamiento – Bases de datos

Por su parte, el WG3 contempla las tecnologías de bases de datos empleadas en los sistemas de control de información para el transporte, destacando, la utilización de bases de datos especializadas para almacenar los datos geográficos y información perteneciente a la infraestructura de transporte. En dicho grupo, toman importancia los protocolos que son utilizados para la transmisión de información hacia los sistemas de navegación pero sin tener en cuenta las transacciones de negocio que pueden generar dichos protocolos. De aquí, es importante mencionar que el estándar ISO 24099, recientemente publicado, incorpora los mecanismos adecuados para la interacción y actualización de mapas cartográficos dejando ver cómo se buscan día tras día la convergencia de servicios ITS de valor agregado.

Sistemas de tarificación electrónica - Peajes

Es el ámbito en el que se desenvuelve el WG5 por lo que se toman en cuenta los sistemas tecnológicos relacionados con el área de recaudación y tarifas en los peajes, y paralelamente son abordadas las interfaces tecnológicas especiales que los sustentan. En este sentido, los sistemas empleados están basados en EFC-DSRC (Electronic Fee Collection) o en EFC-GNSS-NC donde, los últimos emplean los sistemas de navegación satelital y redes celulares para la transmisión de la información y son más abiertos que los basados en DSRC (Privil & Spalek, 2008).

Gestión y control de la información del transporte - Componente Transversal RSU

El WG9, centrado en los sistemas tecnológicos que hacen posible la gestión y control de la información del transporte integrada, toma una importancia monumental en nuestro modelo debido a que en él se incluyen los dispositivos tecnológicos que han sido instalados a lo largo de la infraestructura de transporte y que tienen por objetivo el control de la información que se genera en la red de transporte. En este sentido, dicho grupo incluye a las Unidades de carreteras o RSU o en su defecto, conocidas también como RSE (Roadside Equipment) o equipamiento de carretera. Dichos dispositivos tienen una altísima relevancia en el espectro de los ITS dado que a través de ellos se gestionan y se logran obtener los datos provenientes de los sistemas de monitorización desplegados sobre la infraestructura de transporte. Normalmente, estos dispositivos son gestionados mediante el protocolo SNMP/STMP desde las centrales de tráfico ya que es bastante útil para controlar las tareas puntuales de la RSU pero resulta ineficiente al momento de recabar grandes cantidades de información las cuales pueden generarse desde la misma RSU. Esto es debido a que el protocolo no está concebido para el intercambio de grandes volúmenes de información característica que actualmente está asociada a gran cantidad de servicios ITS. En este sentido, los institutos de investigación del transporte tienen la visión de incorporar nuevos dispositivos que sean capaces de gestionar de forma más adecuada las aplicaciones de gestión del tráfico de forma más adecuada, incluso, empleado sistemas de computación embebida en los ITS (RITA, 2009a).

Además, el desarrollo de las redes vehiculares (VANETs) provoca que la RSU requiera mayores capacidades de procesamiento y la incorporación de nuevos estándares de comunicaciones por tanto, si lo anterior no se tiene en cuenta la prestación de servicios ITS seguirá viéndose afectada en todos los escenarios de comunicaciones ITS (Chen, W. *et al.*, 2006) (Lee, 2008).

Por este motivo, la Unidad de carretera o RSU se convierte en un elemento transversal para la infraestructura de transporte que hace posible la integración de muchos sistemas de monitorización (redes de sensores, cámaras de video, sistemas de mensajería variable, etc) los cuales, contribuyen de forma directa al despliegue de servicios ITS (Hautière & Boubezoul, 2009; Huang & Ma, 2009).

Sistemas de Información al Viajero – Tecnologías RDS TMC, DAB y DVB

El WG10, enfocado a los sistemas que toman parte en el despliegue de información al viajero, actúa como núcleo fundamental para el desarrollo y despliegue de servicios en los ITS. Dentro de sus funciones, como la de estudiar los diccionarios de datos y la forma en que pueden ser provistos los usuarios de la información de tráfico, nos demuestran su importancia para el despliegue de servicios ITS. Dicho grupo incorpora las tecnologías que fueron mencionadas en el estado del arte con respecto a la difusión de información (RDS, DAB, DVB).

Concretamente las normativas que cubren de forma general los servicios para el viajero son: ISO 12819:2003 enfocada a RDS-TMC, ETSI EN 300 401 y ETSI TS 102447 enfocada a la tecnología DAB y ETSI EN 302304 enfocada a la tecnología para la transmisión de video o DVB (Digital Video Broadcasting - DVB).

A partir de tales normativas hemos extraído las principales características de las tecnologías mencionadas. Por lo tanto, en el caso de RDS, puede extraerse que opera a velocidades demasiado bajas de 1.2Kbps, aunque su rango de alcance es bastante alto llegando hasta los 35 Km y como fue mencionado en el estado del arte, opera en la banda de FM (88-108MHz). En el caso de DAB o Eureka 147, opera en la banda III (174 – 240 MHz) y en la banda L (1452-1492MHz), tiene una tasa de datos de bajada de 2.4 Mbps y no tiene canal de subida de datos (WorldDAB, 2010). Por último, en el caso DVB es preciso aclarar que será tomada la última variante, es decir, DVB-H, recogida en el estándar mencionado. Al igual que DAB, dicha tecnología opera en las mismas bandas de frecuencia salvo que tiene un mayor ancho de banda de bajada que oscila entre 6750 y 39270 Mbps.

Otro de los sistemas destacados en el WG10, son los sistemas de mensajería variable VMS dado que apoyan constantemente el despliegue de información a lo largo de las infraestructuras de transporte.

Sistemas de Navegación, GPS y GIS

La combinación adecuada de los sistemas GPS y GIS dan lugar a los sistemas de navegación, ambos, imprescindibles para el

despliegue de servicios ITS. En lo que respecta a los estándares desarrollados para este ámbito cabe destacar que aún falta mucho por hacer y más, en lo relacionado con el formato de presentación de los datos que aún no está claro.

Actualmente, el WG11 se encuentra en desarrollo y tendrá como objetivo exponer los requerimientos que deben cumplirse para la incorporación de nuevos sistemas de navegación. Recordando lo que expuso (Jenkins, B. & Boucher, 2007), dichos sistemas tienen una altísima repercusión en la generación de servicios ITS dado que son los elementos tecnológicos empleados por los usuarios para interactuar de forma personal con la infraestructura de transporte. Por lo tanto, dichos sistemas son tomados muy en cuenta en nuestra propuesta.

Comunicaciones dedicadas de Corto Alcance o DSRC (Dedicated Short-Range Communications)

Dicha tecnología que fue expuesta en el estado del arte, es abordada por el WG15 dada su alto impacto en los ITS.

Dicha tecnología, enfocada a los sistemas de control integrados para el transporte, emplea las comunicaciones dedicadas de corto alcance para proveer servicios a los usuarios ITS. Básicamente, comprende las comunicaciones entre las RSUs y las OBUs y comúnmente es llamada el sistema de comunicaciones inalámbricas para los ITS (Oyama, 2008).

Los sistemas tecnológicos empleados en las aplicaciones de DSRC intercambian comúnmente mensajes para la prestación de algún servicio donde, uno de los más comunes es el servicio de telepeaje. Es importante mencionar que desde el comienzo dicha tecnología fue similar a la identificación por radio frecuencia o RFID (Radio Frequency Identification: RFID) (Finkenzeller, 2003) por lo que se generó una gran madeja tecnológica alrededor del mundo y más con respecto al servicio mencionado ya que no se tenía claro cuál de ellas emplear y cuando.

En este sentido, el sistema RFID, comúnmente utilizado en configuraciones maestro/esclavo (RSU/OBU), tomó bastante fuerza para el despliegue de dicho servicio y para ello, empleó diversas bandas de frecuencia tales como 6 MHz, 13 MHz, 27 MHz, 40 MHz, 433 MHz, 869 MHz, 915 MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz, y 24 GHz.

Fue tan rápida y tan tediosa la aceptación de RFID en Estados Unidos que cuando se estableció una nueva banda de frecuencia se tardó mucho tiempo en diferenciar a RFID de DSRC (Schnacke, 2006) en especial, por la asignación sobre la misma frecuencia que DSRC. Actualmente, diferentes estándares DSRC más o menos comparables con el sistema tradicional RFID excepto para los estándares Americanos, han sido elaborados, trayendo consigo una gran madeja tecnológica para los sistemas que ofrecen el servicio de telepeaje.

Como se afirmó en el estado del arte, las de comunicaciones dedicadas de corto alcance no están estandarizadas de forma general a nivel mundial debido al empleo de diferentes frecuencias a ambos lados del océano. Por si fuera poco se presenta un nuevo estándar de DSRC para el nuevo escenario VANET donde, funcionarán nuevas aplicaciones orientadas a escenarios V2V, V2I. Por tanto, es posible hablar de dos generaciones de sistemas DSRC, la primera enfocada al sistema de telepeaje y la segunda enfocada al escenario VANET.

Tanto la primera como la segunda generación son altamente dependientes de la frecuencia de operación utilizada por cada país. Por ejemplo como lo explica (Oyama, 2008), la primera generación en Japón, empleó la banda de 5.8 GHz y fue estandarizada por la asociación de industrias de radio y negocios ARIB (Association of Radio Industries and Business: ARIB) mediante el estándar STD-T55 publicado en el año 2001. Por su parte, en Europa, tal generación se estandarizó en la banda de 5.8 GHz lo que se traduce a la normativa ISO 15628 del TC 204 y a las expuestas por el CEN en EN12834 y EN12253. Para el caso Estadunidense tal generación comenzó a funcionar en los 915 MHz comprobándose de ante mano la diferencia de frecuencias. Sin embargo, en Europa últimamente se emplea la banda de los 865 MHz que hace referencia a la tecnología RFID creándose de nuevo la madeja tecnológica mencionada. Una de las razones por la que se optó por este estándar en Europa fue por su capacidad de transmisión de datos que está entre 500Kbps y 1Mbps para Bajada y 250 Kbps para subida y un rango de alcance de 3 a 15 metros.

La segunda generación de DSRC, empleada para el escenario VANET, utiliza la banda de 5.8 GHz para escenarios de comunicaciones de V2V (OBU to OBU) y V2I (OBU to RSU) (Japón). Por su parte, en Estados Unidos y Europa, emplea la banda de 5.9 GHz, llamada WAVE, enfocada directamente a los

escenarios de comunicaciones V2V, V2I e I2V y aún está por desplegarse.

Como vemos, DSRC bastante utilizado a nivel mundial, debe aún ser estandarizado pero es altamente complejo debido a las formas en que los países administran su espectro de frecuencia.

Siguiendo con nuestro análisis, a continuación abordaremos las principales tecnologías empleadas en comunicaciones de área amplia.

Comunicaciones de área amplia en los ITS

El WG16, alberga las tecnologías de comunicaciones que posibilitan el acceso a servicios ITS a lo largo de la infraestructura. De la misma forma, dicho grupo recoge la reciente iniciativa CALM, descrita de forma muy general en el estado del arte. Los estándares CALM proporcionan un conjunto de parámetros y protocolos de una amplia gama de tecnologías de comunicaciones, de las tecnologías propias de la iniciativa CALM y de algunas tecnologías futuras que serán usadas en los ITS (Schalk, A. *et al.*, 2007).

Como lo expresa el plan de negocios para el desarrollo de los ITS propuesto por el comité TC 204 (ISO/TC_204, 2008), las herramientas utilizadas para desplegar la iniciativa CALM afectan de forma general al equipamiento instalado en el vehículo y a gran parte del equipamiento instalado en la infraestructura de transporte. Lo anterior, ocasiona un incremento de los costos de forma general en todo lo concerniente al ámbito ITS. Por tanto, como se concluye en dicho plan, el tiempo de vida de las herramientas ITS es muy poco con respecto al tiempo de vida de los vehículos (ISO/TC_204, 2008).

Como el WG16 incluye de forma general gran parte de las tecnologías ITS, a continuación abordaremos sus normativas de forma separada para así, establecer la importancia que tiene cada una en la prestación de servicios ITS de valor agregado. Al mismo tiempo, haremos uso de otros organismos tales como IEEE, el TC ITS para completar el espectro general de las tecnologías ITS.

CALM 2G: ISO 21212

Incluye las comunicaciones inalámbricas relacionadas con las redes celulares o móviles. Como tal, se refiere directamente a las

redes móviles GSM de segunda generación (2G) o de segunda generación extendida (2.5G). Tales redes, emplean la tecnología de servicio general de paquetes vía radio o GPRS (Global Packet Radio Service) para la transmisión de datos en escenarios de comunicaciones entre la infraestructura y el vehículo o viceversa. Dentro de sus bondades tecnológicas podemos destacar un rango de alcance alrededor de los 10Km, su velocidad para la transmisión de datos, entre 80 y 384Kbps, y su banda de operación, entre 0,8 a 1.9 GHz.

CALM 3G: ISO 21213

Es similar a la anterior con la diferencia de que las redes móviles serán UMTS, es decir, de tercera generación (3G) y de tercera generación extendida (3.5G). Ambas redes emplean la tecnología para el acceso de paquetes de alta velocidad HSPA (High Speed Packet Access) para la transmisión de datos en los mismos escenarios mencionados que para la tecnología anterior. Este estándar es recogido por el ETSI a través del consorcio 3GPP y dentro de sus principales bondades puede destacarse el aumento del ancho de banda que pasa a ser de hasta 7.2 Mbps con alcances que oscilan entre 10 – 35 Km operando en el rango de frecuencia 0.8, 1.9, 2.1 GHz.

Al ver que estamos analizando las tecnologías que comprenden el espectro de las redes móviles, es importante destacar la tecnología LTE (Long Term Evolution), postulada como la cuarta generación (4G) (Gozalvez, 2010), por ello, es destacada en nuestra investigación como una tecnología que puede incluso llegar alterar de forma profunda el escenario VANET dadas sus capacidades y sus bondades, a continuación será analizada.

3GPP LTE Long Term Evolution

Tal tecnología aún no se ve reflejada en los estándares ITS por lo que aún se encuentra en desarrollo. No obstante, describamos de forma general sus potencialidades para ver porque es que puede afectar al escenario VANET. Por ejemplo, tiene una alta capacidad para la transmisión de datos de bajada con anchos de banda de desde 47Mbps hasta de 150 Mbps y latencias muy bajas desde 20ms hasta de 100ms; ofrece una alta capacidad de enlace de subida desde 40 Mbps hasta de 50 Mbps (Montserrat *et al.*, 2009).

La banda de operación de LTE se encuentra ubicada entre los 0,746 GHz a 0,806 GHz, es decir un ancho de banda espectral de

20 MHz (Jeong *et al.*, 2010). Además, si se utilizan antenas tipo MIMO (Múltiples entradas y múltiples salidas) se cuadruplica el ancho de banda a 80MHz logrando velocidades de hasta 600Mbps (Gozalvez, 2010) lo que beneficiaría el despliegue de servicios ITS enfocados a multimedia. Por último, otra de sus características que la hace especialmente útil para el escenario de los ITS es que es capaz de funcionar a velocidades que van desde los 350Km/h hasta los 600 Km/h (Monserrat *et al.*, 2009; Sesia *et al.*, 2009) logrando así, un ambiente de movilidad bastante completo y más de cara a la prestación de servicios.

CALM IR: ISO 21214

Emplea medios de transmisión inalámbricos, concretamente los situados en el espectro de infrarrojo entre los 800nm y 1000nm. Es utilizado principalmente para comunicaciones entre los mismos vehículos o entre el vehículo y la infraestructura (Schalk, Andreas. & Stratil, 2008). Normalmente, dicha tecnología, utilizada con frecuencia en sistemas de peaje automático, es ampliamente extendida en los países asiáticos tales como Japón, Korea, Taiwan, Malasia e India. De sus características principales destacamos su ancho de banda que va desde 1Mbps hasta 128 Mbps (ISO_TC204 & 37, 2005). Su tiempo de enlace con respecto al vehículo oscila entre 1 a 10 ms y funciona para distancias de 10 metros, 100 metros o 1Km.

CALM M5: ISO 21215

Actualmente en desarrollo y estará orientado a satisfacer las comunicaciones entre vehículos, es decir, contribuirá a la formación de redes vehiculares o VANETs. CALM M5 es muy cercana a las tecnologías usadas en la iniciativa WAVE es decir, IEEE 802.11p y IEEE 1609.X (Ernst *et al.*, 2009). Dicha iniciativa ofrece velocidades promedio de 6 a 27 Mbps, rangos de alcance de 1Km y latencias bajas de 200us y opera en los 5.9GHz.

IEEE 802.16- WiMAX

Considerado en la iniciativa CALM al ver las grandes capacidades que puede ofrecerles a los ITS. Según el TC 204 se presenta en la normativa ISO 25112 y es una tecnología de comunicación inalámbrica que tiene un parecido bastante alto con la tecnología inalámbrica WiFi, sólo que WiMAX, trabaja en área amplia cubriendo zonas hasta de 50 Km. Su velocidad de transmisión de

datos oscila entre 1 y 75 Mbps y opera entre las bandas de 2.5 a 5.8 GHz con y sin licencia de operación.

A pesar de que aún está bajo desarrollo, se espera que pueda ofrecer accesos móviles en ambientes vehiculares a velocidades entre 20Km/h y 200Km/h con el objetivo de satisfacer enlaces I2V, V2I, I2I y hasta V2V (Krohn *et al.*, 2009).

WAVE 802.11p

Mencionado de forma general en el estado del arte, WAVE, acceso inalámbrico para el ambiente vehicular, define una arquitectura y un conjunto estándar de servicios e interfaces complementarios que habilitan comunicaciones inalámbricas seguras en escenarios V2V y V2I, utilizando la banda de 5.9 GHz. Como lo expone (Hayashi *et al.*, 2007), WAVE es apoyado por la familia de estándares IEEE 1609.X que se encargan específicamente de aspectos relacionados a:

- IEEE P1609.1 – Gestor de Recursos
- IEEE P1609.2 – Servicios de seguridad para aplicaciones y gestión de mensajes.
- IEEE P1609.3 – Servicios de Red
- IEEE P1609.4 – Operaciones Multicanal.

WAVE, según la comisión federal de comunicaciones (Federal Commission Communication: FCC) opera en América sobre la banda frecuencia ubicada entre los 5,850 y 5.925 GHz lo que representa un ancho de banda de 75 MHz y soporta velocidades entre los 3 Mbps hasta los 27 Mbps y hace parte del ámbito de comunicaciones dedicadas de corto alcance o DSRC (Jiang & Delgrossi, 2008).

Por su parte, en Europa desde marzo de 2008, la Comisión Europea determinó que el rango de frecuencias en el que operaría sería entre 5,875 y 5,925 GHz, representado un ancho de banda de 30MHz (Jiang & Delgrossi, 2008). Por último, Japón ha elegido que DSRC-WAVE opere entre los 5,770 y 5,850 GHz representado un ancho de banda de 80 MHz.

Este estándar es que el está poniendo en jaque el MTPSITS ya que es el que incorpora los nuevos escenarios de comunicación vehicular que tendrán lugar sobre la infraestructura.

Luego de describir los sistemas de comunicaciones empleados en los ITS, a continuación abordemos los sistemas de usuario, imprescindibles para la prestación de servicios ITS.

Sistemas de Usuario.

Recogidos de forma general en el WG 17 de reciente formación (septiembre de 2009,) actualmente sólo elabora de tres estándares enfocados a la especificación de requerimientos que los dispositivos de usuario deben contener para el consumo de servicios ITS (Moon, 2009). Es importante destacar que el estándar expuesto en la Tabla 17, trasladado recientemente a dicho está orientado a establecer los requerimientos mencionados. Igualmente, el WG17 propone los requerimientos para el desarrollo de la OBU, elemento clave para el consumo de servicios.

Es importante mencionar que el comité técnico ISO TC 211 apoya fuertemente el WG17 del TC 204, ya que está encargado principalmente de especificar los estándares asociados a la información geográfica, métodos, herramientas y servicios para la gestión de datos (incluyendo definición y descripción), adquisición, procesamiento, análisis, acceso, presentación y transferencia de dichos datos en forma digital / electrónica entre diferentes usuarios, sistemas y localizaciones. De igual forma, promueve el despliegue de servicios basados en localización o LBS gracias a su modelo de referencia (ISO 19132). Dicho modelo, incluye el tipo de reglas y mensajes que deben tenerse en cuenta para el despliegue adecuado de servicios LBS en los ITS (ISO/TC_211, 2005).

Según el panorama expuesto, el escenario ITS está conformado por una gran cantidad de tecnologías pero aún no falta por incluir sus principales sistemas desde el punto de vista de las TIC. En este sentido, los sistemas heredados, los sistemas corporativos, y los servidores de aplicaciones son identificados e incluidos como el conjunto general de elementos tecnológicos ITS que son empleados para la generación de servicios. Además, el instituto de investigación de IBM enfocado al negocio electrónico, concluye que los sistemas mencionados son fundamentales para desarrollar de forma coherente un ambiente de servicios adecuado para los sistemas de transporte (IBM, 2009).

Por otra parte, vamos a pasar ahora a analizar las tecnologías emergentes, mencionadas en el del estado del arte, ya que

ocupan un lugar de gran relevancia para la construcción de nuevos sistemas de monitorización y de nuevos servicios ITS.

Redes de sensores (WSN)

Se perfilan como una de las tecnologías de mayor envergadura para todo el espectro de los ITS como lo recoge el WG7 del comité técnico para las tecnologías de la información (ISO/JTC1_WG7, 2009). Dicha tecnología como lo expone (Tubaishat *et al.*, 2009), irrumpirá en gran cantidad de áreas relacionadas con el transporte dadas sus característica de funcionamiento para escenarios ubicuos como lo son, los ITS.

Paralelamente, otra de las tecnologías que tiende a perfilarse en el ámbito de los ITS es la tecnología Bluetooth debido a su gran penetración en los dispositivos móviles y además ha sido recientemente incorporada en las OBU de la gran mayoría de vehículos con el objetivo de brindar al conductor algunos servicios locales de transmisión de datos, en especial, los servicios de transmisión de voz. Las características principales de dichas tecnología han sido recogidas en el estado por lo que con estas dos finalizamos el espectro tecnológico de los ITS.

Luego de describir los elementos tecnológicos ITS, pasemos a identificar los servicios ITS de valor agregado.

Identificación de los Servicios ITS

Siguiendo con el desarrollo de nuestra primera fase, continuamos con el tercer paso (ver Figura 40), donde, identificamos y unificamos a partir de las diferentes propuestas realizadas por los organismos ITS internacionales, los principales servicios ITS de valor agregado para luego, correlacionarlos con las tecnologías ITS que han sido identificada y analizadas.

Según este enfoque, las propuestas que hemos utilizado para nuestro estudio y análisis son las expuestas por los organismos más relevantes de los ITS tales como ITS Japón (ITS-JP, 1999), ITS América (US.DOT, 2009) y por ITS Europa. De los tres anteriores, destacamos que hemos tomado como referencia la definición de las necesidades del usuario realizada en el proyecto KAREN e incluimos, la propuesta realizada por el ETSI relacionada con los servicios ITS (TR 102638).

Por tanto, los análisis entre las propuestas mencionadas nos han permitido identificar las principales áreas que contribuyen a la composición de servicios ITS (ver Tabla 18).

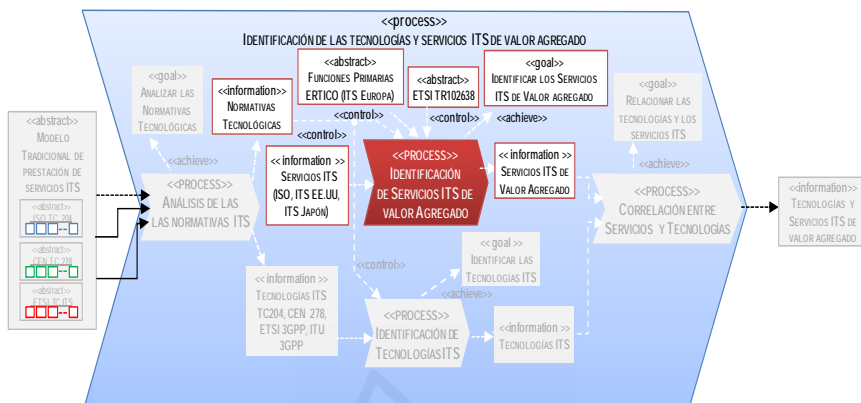


Figura 40. Identificación de los servicios ITS

Tabla 18 Áreas que contribuyen a la composición de servicios ITS (ITS-JP, 1999) (US.DOT, 2009) (E-FRAME, 2008)

ITS JAPON	ITS EUROPA	ITS AMERICA
AVANCES EN LOS SISTEMAS DE NAVEGACIÓN	GENERAL	GESTIÓN DEL TRÁFICO Y VIAJES
SISTEMAS DE TELE-PEAJE	GESTIÓN Y PLANEACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO
SISTEMAS AVANZADOS DE ASISTENCIA AL CONDUCTOR	APLICACIÓN DE LA LEY	PAGO ELECTRÓNICO OPERACIONES DE VEHICULOS COMERCIALES
OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE TRÁFICO	TRANSACCIONES FINANCIERAS	GESTIÓN DE EMERGENCIAS
INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LAS CARRETERAS	SERVICIOS DE EMERGENCIA	GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN
APOYO A LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO	INFORMACIÓN DEL VIAJE Y ORIENTACIÓN	SISTEMAS AVANZADOS DE ASISTENCIA AL CONDUCTOR
INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN OPERACIONES DE VEHICULOS COMERCIALES	GESTIÓN DE TRÁFICO, DE INCIDENTES Y GESTIÓN DE LA DEMANDA	GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO
APOYO A LOS PEATONES	SISTEMAS DE VEHICULOS INTELIGENTES	
APOYO A LAS OPERACIONES DE LOS VEHICULOS DE EMERGENCIA	GESTIÓN DE FLOTAS Y MERCANCIAS	
ÁREA GENERAL	GESTIÓN DEL TRANSPORTE PÚBLICO	

Es importante destacar que luego de analizar las propuestas existentes referentes a los servicios ITS hemos decidido trabajar con la normativa ISO 14813-1:2007 dado que expone los servicios ITS más generales para la infraestructura de transporte

y que pueden ser considerados como servicios ITS de valor agregado.

Los servicios ITS expuestos en tal normativa, presentados de forma general en el estado del arte, no recogen los servicios ITS específicos que pueden tener lugar en cada dominio de servicio (ver Tabla 19). Por tanto, en nuestra investigación se ha profundizado en ellos con el fin de ampliar el panorama de servicios ITS de valor agregado para cada dominio (ver Tabla 19).

Tabla 19. Siglas del dominio del servicio

SIGLA	DOMINIO DEL SERVICIO
INFAV	INFORMACIÓN AL VIAJERO
GTO	GESTIÓN DE TRÁFICO Y OPERACIONES
V	VEHÍCULO
TM	TRANSPORTE DE MERCANCÍAS
TP	TRANSPORTE PÚBLICO
E	EMERGENCIAS
PERT	PAGO ELECTRÓNICO RELACIONADO CON EL TRANSPORTE
SPRT	SEGURIDAD PERSONAL RELACIONADA CON EL TRANSPORTE POR CARRETERA
MCAC	MONITORIZACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS
CGD	COORDINACIÓN DE LA GESTIÓN Y RESPUESTA ANTE DESASTRES
SN	SEGURIDAD NACIONAL

Por este motivo, hemos realizado un análisis general de las principales propuestas relacionadas con los servicios ITS con el objetivo de complementar de forma coherente la propuesta de servicios realizada por la ISO 14183, específicamente, para cada dominio de servicio y su área de desempeño.

En este sentido, siguiendo la normativa ISO 14813:2007, la propuesta de las necesidades del usuario (propuesta en el proyecto KAREN), y la propuesta realizada por el ETSI bajo su reporte técnico TR 102638 hemos construido la Tabla 20, que recoge los servicios ITS más relevantes.

Dicha tabla presenta dos columnas, la primera, expone el dominio del servicio o DS del cual, se presentan 11 dominios; y la segunda, recoge los servicios ITS específicos que pueden presentarse en cada dominio.

Para la elaboración de la Tabla 20, es importante destacar que se han tenido en cuenta los nuevos esquemas de redes vehiculares y a raíz de esto, se han incluido los nuevos servicios directamente relacionados para cada dominio, logrando así, completar de forma coherente, lo que expone la normativa ISO 14813-1:2007.

Tabla 20. Servicios ITS específicos de valor agregado en cada área del transporte

DS	SERVICIOS ITS ESPECÍFICOS
INFAV	VISUALIZACIÓN 2D/3D, SELECCIÓN DE POI
	PLANIFICACIÓN DE RUTA ESTÁTICA
	PLANEACIÓN DE RUTA DINÁMICA
	INFORMACIÓN DE TRÁFICO DINÁMICA (CLIMA, BLOQUEO DE CARRETERAS, ESTADO DE LOS PUENTES, SITIOS DE PARKING, TRABAJOS EN LAS VÍAS, TIEMPO DE VIAJE, LÍMITE DE VELOCIDAD, VELOCIDAD VARIABLE)
	DETECCIÓN DE PEAJES
	PRONÓSTICO DEL CLIMA
	DESCUBRIMIENTO DE TELÉFONOS EN LA VÍA
	ADVERTENCIAS POR VMS
	INFORMACIÓN CULTURAL Y DE ENTRETENIMIENTO (CINES, PELÍCULAS, TEATROS, VIDEO CLIPS, AVISOS PARTICULARES)
	HORARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO
	GUIAS DE RUTA PARA PEATONES Y CICLISTAS
	INTEGRACIÓN DE TRANSPORTE MULTIMODAL
	SERVICIOS DE ÚLTIMA MILLA : DESCUBRIMIENTO DE PLAZAS LIBRES DE APARCAMIENTOS SU RESERVA
	GTO
VELOCIDAD MEDIA	
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y DE CONTAMINACIÓN (CALIDAD DEL AIRE)	
DETECCIÓN Y PRONTA RESPUESTA A LOS INCIDENTES DE TRÁFICO EN LAS VÍAS (CCTV)	
ORDENACIÓN Y REGULACIÓN DEL TRÁFICO BASADOS EN LA CELEBRACIÓN DE PRUEBAS DEPORTIVAS, FERIAS, SEMANA SANTA, OPERACIONES DE SALIDAS Y ENTRADAS DE LOS PERIODOS VACACIONALES	
MENSAJERÍA VARIABLE EN LAS AUTOPISTA Y AUTOVÍAS	
ORIENTACIÓN A LA CIUDADANÍA EN LA CONDUCCIÓN (VMS, DIFUSIÓN DE BOLETINES INFORMATIVOS, RDS).	
INTERCONEXIÓN CON OTROS CENTROS DE GESTIÓN DE TRÁFICO URBANOS O TRANSEUROPEO.	
INFRACCIÓN A LA NORMATIVA DE TRÁFICO	
GESTIÓN DE CARRILES	
INCORPORACIÓN A LA VÍA	
GESTIÓN DE APARCAMIENTOS	
CONGESTIÓN EN UN CARRIL ESPECÍFICO	
GESTIÓN DE DESASTRES: TERREMOTOS, DERRUMBES, INUNDACIONES, GUERRA	
VEHÍCULOS COMO SONDAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA	
CONTROL DE VELOCIDAD	
GESTIÓN DE TRABAJOS EN LA VÍA	
ALMACENAMIENTO DE DATOS	
V	ASISTENCIA DE VEHÍCULO DE EMERGENCIAS (INICIATIVA E-CALL)
	PRIORIDAD DE VEHÍCULO DE EMERGENCIA
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO AVERIADO Y ESTACIONADO EN LA VÍA
	ASISTENCIA EN LA VELOCIDAD EN UNA CURVA
	PREVENCIÓN Y ADVERTENCIA DE COLISIÓN EN UNA INTERSECCIÓN
	ADVERTENCIA COOPERATIVA DE COLISIÓN
	VELOCIDAD ÓPTIMA ACONSEJABLE
	SISTEMA COOPERATIVO DE VEHÍCULOS (PLATOONING)
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN CON SISTEMAS FÉRREOS
	ADVERTENCIA DE ZONA DE TRABAJO
	ADVERTENCIA DE CONDICIONES DE LA CARRETERA
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO VOLCADO
ADVERTENCIA DE PUENTE BAJO	

DS → DOMINIO DEL SERVICIO, INFAV → INFORMACIÓN AL VIAJERO, GTO → GESTIÓN DE TRÁFICO Y OPERACIONES, V → VEHÍCULO

DS	SERVICIOS ESPECÍFICOS
V	PRIORIDAD DE DE TRÁNSITO
	IDENTIFICACIÓN DE FRONTERAS
	ALINEAMIENTO DE VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO
	MANTENIMIENTO EN EL CARRIL
	CARRIL PROHIBIDO
	CARRIL AUXILIAR
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN LONGITUDINAL Y LATERAL
	OPERACIÓN DE APARCAMIENTO AUTOMÁTICO
	CONTROL DE VELOCIDAD DE CRUCERO
	TEMPERATURA DEL MOTOR
TM	PESO EN MOVIMIENTO
	CHEQUEO RÁPIDO DE CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO COMERCIAL
	MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO PARA LA SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL
	LLENADO AUTOMÁTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO A PARTIR DE SUS CREDENCIALES
	DETECCIÓN DE CRUCE DE FRONTERAS
	ACCESO REMOTO A LOS DATOS DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL
	MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARGA DEL VEHÍCULO COMERCIALES
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS COMERCIALES
	RASTREO DE CONTENEDORES DE MERCANCIAS
	INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE LLEGADA TANTO DE CONTENEDORES COMO DE VEHÍCULOS
	FACILIDADES INTERMODALES
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA
	REGISTRO DE DATOS DE MERCANCIAS PELIGROSAS
	COORDINACIÓN DE FLOTAS CON MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA
TP	MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS DE INTERNOS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO
	PLANIFICACIÓN DE HORARIOS
	NOTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA DISCAPACITADOS
	COMPARTICIÓN DINÁMICA DE VEHÍCULOS (TAXIS, BUSES, VANS)
E	NOTIFICACIÓN DE COLISIÓN AUTOMÁTICA
	LLAMADA DE SOCORRO INICIADA POR EL USUARIO SOS (INICIATIVA E-CALL)
	VERIFICACIÓN DE CINTURÓN DE SEGURIDAD ABROCHADO
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIA POR TERCERAS PARTES
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO ROBADO
	RASTREO DE VEHÍCULO ROBADO
	INMOVILIZACIÓN REMOTA DE VEHÍCULO
RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS DE EMERGENCIA	
NOTIFICACIÓN DE MAYDAY	
PERT	PAGO DE TARIFAS DE TRANSITO
	PAGO ELECTRÓNICO DE PEAJES
	PAGO ELECTRÓNICO DE APARCAMIENTOS
	PAGO DE SERVICIOS ELECTRÓNICOS (INFORMACIÓN DE VIAJE, RESERVACIONES, ETC)
	INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE PAGO A NIVEL REGIONAL
SPRT	ADVERTENCIAS DE MAYDAY PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO
	VIGILANCIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS NO MOTORIZADOS
	MONITORIZACIÓN DE PEATONES
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS ESPECIALES (TRACTOR, GRÚA, CAMIÓN DE BOMBEROS)
	MONITORIZACIÓN DE MEDIOS DE TRANSPORTE ESPECIALIZADOS (CARTS, SILLAS DE RUEDAS)
	ADVERTENCIAS DE VISUALIZACIÓN POR SEÑALES DE ALERTA
ADVERTENCIA DE VEHÍCULO APROXIMÁNDOSE	

DS → DOMINIO DEL SERVICIO, V → VEHÍCULO, TM → TRANSPORTE DE MERCANCIAS, TP → TRANSPORTE PÚBLICO, E → EMERGENCIAS, PERT → PAGO ELECTRÓNICO RELACIONADO CON EL TRANSPORTE, SPRT → SEGURIDAD PERSONAL RELACIONADA CON EL TRANSPORTE POR CARRETERA

DS	SERVICIOS ESPECÍFICOS
MCAC	INTENSIDAD DE NIEBLA
	DETECCIÓN DE NIEVE
	DETECCIÓN DE HIELO
	VELOCIDAD DEL VIENTO
	DETECCIÓN DE LLUVIAS Y CALOR
	NIVEL DE AGUA / MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA MAREAS
	MONITORIZACIÓN SÍSMICA
	MONITORIZACIÓN DE AVALANCHAS, DESLIZAMIENTO DE LODO, ROCAS CAYENDO
CGD	RECOPIACIÓN DE DATOS PERTENECIENTES A EMERGENCIAS Y DESASTRES
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE EMERGENCIAS Y DESASTRES
	PLANEACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES
	COORDINACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES
SN	MONITORIZACIÓN DE VEHÍCULOS CON PELIGRO DE EXPLOSIÓN
	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS SOSPECHOSOS
	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS NO REGISTRADOS
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS A LAS PRINCIPALES AGENCIAS
	MONITORIZACIÓN DE EXPLOSIONES

DS → DOMINIO DEL SERVICIO, MCAC → MONITORIZACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS, CGD → COORDINACIÓN DE LA RESPUESTA ANTE DESASTRES, SN → SEGURIDAD NACIONAL

Como ilustra la Tabla 20, hemos incluido una gran variedad de servicios ITS de valor agregado los cuales, de acuerdo al umbral tecnológico expuesto, pueden ser prestados en las infraestructuras de transporte. No obstante, hemos incluido los nuevos servicios que pueden presentarse en cualquiera de los esquemas de comunicaciones que tienen lugar en los ITS, es decir, en esquemas del tipo I2V, V2I, V2V, I2I y V. De los servicios descritos, algunos son únicamente de uso propio por parte de los operadores de infraestructura y otros pueden ser explotados por la mayoría de los usuarios ITS.

Una vez identificados los servicios ITS de valor agregado, vamos a correlacionarlos con las tecnologías ITS con el fin de obtener el resultado inicial de la primera fase. Para hacerlo, tomaremos las tecnologías ITS analizadas y de acuerdo a sus funcionalidades, identificaremos cuales tecnologías apoyan a cada servicio. Lo anterior significa que comenzamos el cuarto paso planteado en nuestra metodología.

Correlación entre tecnologías y servicios ITS

En este cuarto y último paso se desarrolla la correlación correspondiente a las tecnologías y servicios ITS (ver Figura 41),

tomando de base, los resultados obtenidos de los pasos anteriores.



Figura 41. Correlación entre tecnologías y servicios ITS

Para ver con más claridad los resultados de nuestro análisis, hemos construido la Tabla 21 que ilustra la afinidad y la correlación existente entre los servicios y las tecnologías ITS.

Describiendo la Tabla 21, en la parte izquierda aparecen los servicios ITS de valor agregado y en la parte superior derecha aparecen, expuestas por columnas las tecnologías ITS más representativas empleadas en la generación y despliegue de servicios ITS. Igualmente, puede observarse el símbolo de un punto (●) que denota que un servicio emplea o no la tecnología seleccionada, es decir, un servicio ITS de valor agregado puede ser desplegado a través del uso de distintas tecnologías o por una combinación de ellas. De la misma forma, puede observarse el símbolo de (√) que se refiere a que un servicio ITS de valor agregado puede emplear la unidad de carretera RSU para obtener información de la infraestructura, por ello se denota como componente transversal de los ITS.

Con el fin de exponer más claramente lo ilustrado en la Tabla 21, tomemos un servicio ITS y observemos qué tecnologías lo sustentan. De la tabla hemos elegido el servicio ITS de última milla asociado al descubrimiento de plazas libres de parking, subrayado en rojo, para exponer claramente cuál es la correlación de las tecnologías ITS para ese servicio.

Tabla 21. Correlación entre Tecnologías y Servicios ITS

TECNOLOGÍAS ITS		SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO																					
		CALM IR	CEN/DSRC / RFID	WSNs ZIGBEE	BLUETOOTH	WAVE /CALM M5	RDS/HDRADIO/DAB	DVB-T DVB-H	Wi-Fi albi/gln	WIMAX	GSM/GPRS/ CALM 2G	UMTS/HSPA/LTE CALM 3G	GPS & GIS	S. CCTV	VMS	S. DE NAVEGACION (OBU)	S. DE USUARIO	S. DE ALMACENAMIENTO	SERVIDORES DE APPS	S. CORPORATIVOS	S. HEREDADOS	C. TRANSVERSAL RSU	
INFAV	VISUALIZACIÓN 2D/3D, SELECCION DE POI							•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•		
	PLANIFICACIÓN DE RUTA ESTÁTICA							•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	
	PLANEACIÓN DE RUTA DINÁMICA	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	
	INFORMACIÓN DE TRÁFICO DINÁMICA (CLIMA, BLOQUEO DE CARRETERAS, ESTADO DE LOS PUENTES, SITIOS DE PARKING, TRABAJOS EN LAS VIAS, TIEMPO DE VIAJE, LIMITE DE VELOCIDAD, VELOCIDAD VARIABLE)	•		•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	DETECCIÓN DE PEAJES	•	•	•		•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	PRONOSTICO DEL CLIMA			•	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	DESCUBRIMIENTO DE TELÉFONOS EN LA VIA	•	•			•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	ADVERTENCIAS POR VMS					•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	INFORMACIÓN CULTURAL Y DE ENTRETENIMIENTO (CINES, PELÍCULAS, TEATROS, VIDEO CLIPS, AVISOS PARTICULARES)		•		•	•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	HORARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO			•	•	•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	GUÍAS DE RUTA PARA PEATONES Y CICLISTAS			•	•					•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	INTEGRACIÓN DE TRANSPORTE MULTIMODAL	•				•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	SERVICIOS DE ÚLTIMA MILLA: DESCUBRIMIENTO DE PLAZAS LIBRES DE APARCAMIENTO Y SU RESERVA		•	•	•					•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
	GTO	SUPERVISIÓN Y MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL, DEL ESTADO DE LA CIRCULACIÓN Y TRÁFICO IU (CCTV)			•	•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
VELOCIDAD MEDIA			•	•		•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y DE CONTAMINACIÓN (CALIDAD DEL AIRE)				•	•	•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	
DETECCIÓN Y PRONTA RESPUESTA A LOS INCIDENTES DE TRÁFICO EN LAS VIAS (CCTV)						•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	
ORDENACIÓN Y REGULACIÓN DEL TRÁFICO BASADOS EN LA CELEBRACIÓN DE PRUEBAS DEPORTIVAS, FERIAS, SEMANA SANTA, OPERACIONES DE SALIDAS Y ENTRADAS DE LOS PERIODOS VACACIONALES		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
MENSAJERÍA VARIABLE EN LAS AUTOPISTA Y AUTOVIAS									•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	

S.→SISTEMAS C. → COMPONENTE , APPS.→ APLICACIONES, IU→INTERURBANO, INFAV → INFORMACION AL VIAJERO, GTO→ GESTION DE TRÁFICO Y OPERACIONES

TECNOLOGÍAS ITS		SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO																						
		CALM IR	CEN DSRC /RFID	WSNs ZIGBEE	BLUETOOTH	WAVE / CALM M5	RDS/HD-RADIO/DAB	DVB-T DVB-H	WiFi ab/g/n	WIMAX	GSM/GPRS/ CALM 2G	UMTS/HSPA/LTE CALM 3G	GPS & GIS	S. CCTV	VMS	S. DE NAVEGACION (OBU)	S. DE USUARIO	S. DE ALMACENAMIENTO	SERVIDORES DE APPs	S. CORPORATIVOS	S. HEREDADOS	C. TRANSVERSAL RSU		
GTO	ORIENTACIÓN A LA CIUDADANIA EN LA CONDUCCIÓN (VMS, DIFUSIÓN DE BOLETINES INFORMATIVOS, RDS).			•	•	•	•	•	•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	√	
	INTERCONEXIÓN CON OTROS CENTROS DE GESTIÓN DE TRÁFICO URBANOS O TRANSEUROPEO.	•							•	•	•	•					•	•	•	•	•	•		
	INFRACCIÓN A LA NORMATIVA DE TRÁFICO	•				•					•	•	•		•		•	•	•	•	•	•		
	GESTIÓN DE CARRILES	•				•					•	•	•		•		•	•	•	•	•	•	√	
	INCORPORACIÓN A LA VÍA	•	•			•					•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	√	
	GESTIÓN DE APARCAMIENTOS			•		•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
	CONGESTIÓN EN UN CARRIL ESPECIFICO	•				•					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√	
	GESTIÓN DE DESASTRES: TERREMOTOS, DERRUMBES, INUNDACIONES, GUERRA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√
	VEHÍCULOS COMO SONDAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√
	CONTROL DE VELOCIDAD	•	•			•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	√	
	GESTIÓN DE TRABAJOS EN LA VÍA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√
	ALMACENAMIENTO DE DATOS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√
	V	ASISTENCIA DE VEHICULO DE EMERGENCIAS (INICIATIVA E-CALL)	•				•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
		PRIORIDAD DE VEHICULO DE EMERGENCIA	•				•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
		ADVERTENCIA DE VEHICULO AVERIADO Y ESTACIONADO EN LA VÍA	•		•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
ASISTENCIA DE VELOCIDAD EN UNA CURVA		•				•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
PREVENCIÓN Y ADVERTENCIA DE COLISIÓN EN UNA INTERSECCIÓN		•				•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
ADVERTENCIA COOPERATIVA DE COLISIÓN		•	•			•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
VELOCIDAD ÓPTIMA ACONSEJABLE		•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√	
SISTEMA COOPERATIVO DE VEHICULOS (PLATOONING)		•		•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
PREVENCIÓN DE COLISIÓN CON SISTEMAS FÉRREOS		•		•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
GESTIÓN DE TRAFICO - VEHICULO COMO SONDA		•		•	•	•				•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
ADVERTENCIA DE ZONA DE TRABAJO		•	•	•		•	•				•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
ADVERTENCIA DE CONDICIONES DE LA CARRETERA		•		•	•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√	
ADVERTENCIA DE VEHICULO VOLCADO		•				•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
ADVERTENCIA DE PUENTE BAJO		•		•	•	•	•			•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
PRIORIDAD DE DE TRÁNSITO		•				•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
IDENTIFICACIÓN DE FRONTERAS	•				•	•				•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√		
ALINEAMIENTO DE VEHICULOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO	•		•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√		

S.→SISTEMAS C. → COMPONENTE, APPS.→ APLICACIONES, GTO→ GESTIÓN DE TRÁFICO Y OPERACIONES, V → VEHICULO

TECNOLOGÍAS ITS		SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO																					
		CALM IR	CEN DSRC /RFID	WSNs ZIGBEE	BLUETOOTH	WAVE / CALM M5	RDS/HD-RADIO/DAB	DVB-T DVB-H	WiFi ab/g/n	WIMAX	GSM/GPRS/ CALM 2G	UMTS/HSPA/LTE CALM 3G	GPS & GIS	S. CCTV	VMS	S.I. DE NAVEGACION (OBU)	S. DE USUARIO	S. DE ALMACENAMIENTO	SERVIDORES DE APPs	S. CORPORATIVOS	S. HEREDADOS	C TRANSVERSAL RSU	
V	MANTENIMIENTO EN EL CARRIL	•	•	•	•	•									•	•	•	•	•	•	•	•	•
	CARRIL PROHIBIDO	•	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	CARRIL AUXILIAR	•	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN LONGITUDINAL Y LATERAL	•	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	OPERACIÓN DE APARCAMIENTO AUTOMÁTICO	•	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	CONTROL DE VELOCIDAD DE CRUCERO	•	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	TEMPERATURA DEL MOTOR			•	•										•	•	•	•	•	•	•	•	•
TM	PESO EN MOVIMIENTO	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	CHEQUEO RÁPIDO DE CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO COMERCIAL	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO PARA LA SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	LLENADO AUTOMÁTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO A PARTIR DE SUS CREDENCIALES	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	DETECCIÓN DE CRUCE DE FRONTERAS	•	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	ACCESO REMOTO A LOS DATOS DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARGA DEL VEHÍCULO COMERCIALES	•	•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS COMERCIALES	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	RASTREO DE CONTENEDORES DE MERCANCIAS	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE LLEGADA TANTO DE CONTENEDORES COMO DE VEHÍCULOS	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	FACILIDADES INTERMODALES	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
	REGISTRO DE DATOS DE MERCANCIAS PELIGROSAS	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•
COORDINACIÓN DE FLOTAS CON MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA	•	•	•	•						•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
TP	MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS INTERNOS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	•	•	•	•					•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	PLANIFICACIÓN DE HORARIOS								•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	NOTIF. DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA DISCAPACITADOS	•	•	•	•				•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
COMPARTICIÓN DINÁMICA DE VEHÍCULOS (TAXIS, BUSES, VANS)					•			•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	

S.→SISTEMAS C. → COMPONENTE, APPS.→ APLICACIONES NOTIF→ NOTIFICACIÓN, V → VEHÍCULO, TM→ TRANS DE MERCANCIAS, TP → TRANS PUBLICO

TECNOLOGÍAS ITS		SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO																					
		CALM IR	CEN DSRC /RFID	WSNs ZIGBEE	BLUETOOTH	WAVE / CALM M5	RDS/HD-RADIO/DAB	DVB-T DVB-H	WiFi ab/g/n	WIMAX	GSM/GPRS/ CALM 2G	UMTS/HSPA/LTE CALM 3G	GPS & GIS	S. CCTV	VMS	S. DE NAVEGACION (OBU)	S. DE USUARIO	S. DE ALMACENAMIENTO	SERVIDORES DE APPs	S. CORPORATIVOS	S. HEREDADOS	C. TRANSVERSAL RSU	
E	NOTIFICACIÓN DE COLISIÓN AUTOMÁTICA	•				•					•	•				•	•	•	•	•	•	•	√
	LLAMADA DE SOCORRO INICIADA DESDE EL PROPIO VEHÍCULO SOS (INICIATIVA E-CALL)				•	•					•	•				•	•	•	•	•	•	•	
	VERIFICACIÓN DE CINTURÓN DE SEGURIDAD ABROCHADO			•	•												•	•	•	•	•	•	
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIA POR TERCERAS PARTES			•	•						•	•				•	•	•	•	•	•	•	
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO ROBADO	•		•	•	•	•				•	•		•		•	•	•	•	•	•	•	√
	RASTREO DE VEHÍCULO ROBADO					•					•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	
	INMOVILIZACIÓN REMOTA DE VEHÍCULO			•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS DE EMERGENCIA			•							•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
	NOTIFICACIÓN DE MAYDAY				•						•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
PERT	PAGO DE TARIFAS DE TRANSITO	•	•							•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
	PAGO ELECTRÓNICO DE PEAJES	•	•							•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
	PAGO ELECTRÓNICO DE APARCAMIENTOS	•	•							•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
	PAGO DE SERVICIOS ELECTRONICOS (INFORMACIÓN DE VIAJE, RESERVACIONES)	•	•								•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
SPRT	INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE PAGO A NIVEL REGIONAL	•	•							•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
	ADVERTENCIAS DE MAYDAY PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO					•				•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√	
	VIGILANCIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO			•	•	•					•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	√	
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS NO MOTORIZADOS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	√
	MONITORIZACIÓN DE PEATONES	•	•	•	•	•					•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	√
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS ESPECIALES (TRACTOR, GRÚA, CAMIÓN DE BOMBEROS)	•	•	•	•	•					•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	√
	MONITORIZACIÓN DE MEDIOS DE TRANSPORTE ESPECIALIZADOS (CART, SILLAS DE RUEDAS)	•				•										•	•	•	•	•	•	•	√
	ADVERTENCIAS DE VISUALIZACIÓN POR SEÑALES DE ALERTA	•		•		•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	√
MCAC	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO APROXIMÁNDOSE	•				•				•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•		
	INTENSIDAD DE NIEBLA	•		•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	√
	DETECCIÓN DE NIEVE			•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	√
	DETECCIÓN DE HIELO			•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	√
	VELOCIDAD DEL VIENTO			•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	√
DETECCIÓN DE LLUVIAS Y CALOR			•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	√	

S.→SISTEMAS C. → COMPONENTE, APPS.→ APLICACIONES E→ EMERGENCIAS, PERT→ PAGO ELECTRÓNICO RELACIONADO CON EL TRANSPORTE, SPRT→ SEGURIDAD PERSONAL RELACIONADA CON EL TRANS. POR CARRETERA, MCAC→ MONITORIZACIÓN DE COND. AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS

TECNOLOGÍAS ITS		SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO																					
		CALM IR	CEN DSRC /RFID	WSNs ZIGBEE	BLUETOOTH	WAVE / CALM M5	RDS/HD-RADIO/DAB	DVB-T DVB-H	WiFi ab/g/n	WiMAX	GSM/GPRS/ CALM 2G	UMTS/HSPA/LTE CALM 3G	GPS & GIS	S. CCTV	VMS	SIDE NAVEGACION (OBU)	SIDE USUARIO	S DE ALMACENAMIENTO	SERVIDORES DE APPs	S CORPORATIVOS	SIHEREDADOS	C TRANSVERSAL RSU	
MCAC	NIVEL DE AGUA / MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA MAREAS			•	•						•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
	MONITORIZACIÓN SÍSMICA			•	•						•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
CGD	MONITORIZACIÓN DE AVALANCHAS, DESLIZAMIENTO DE LODO, ROCAS CAYENDO			•	•						•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
	RECOPILACIÓN DE DATOS PERTENECIENTES A EMERGENCIAS Y DESASTRES			•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE EMERGENCIAS Y DESASTRES	•		•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	✓
	PLANEACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES				•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	✓
SN	COORDINACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES				•	•			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	✓
	MONITORIZACIÓN DE VEHÍCULOS CON PELIGRO DE EXPLOSIÓN			•	•	•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
	IDENTIFICACIÓN DE VEHICULOS SOSPECHOSOS										•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS A LAS PRINCIPALES AGENCIAS					•					•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	✓
	MONITORIZACIÓN DE EXPLOSIONES			•	•	•					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	✓

S.→ SISTEMAS C. → COMPONENTE, APPS.→ APLICACIONES, MCAC→ MONITORIZACIÓN DE COND. AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS, CGD COORDINACIÓN DE LA GESTIÓN Y RESPUESTA ANTE DESASTRES, SN → SEGURIDAD NACIONAL

El servicio elegido se apoya y se despliega mediante las siguientes tecnologías: ZIGBEE-BLUETOOTH, WAVE/ CALM M5, WiFi, WiMAX, GSM /GPRS / CALM 2G, UMTS / HSPA /LTE /CALM 3G, GPS & GIS, sistemas de navegación, de usuario, de almacenamiento, servidores de aplicaciones, sistemas corporativos y sistemas heredados. Paralelamente, emplea la unidad de carretera o RSU ya que a través de esta se obtiene información acerca del aparcamiento.

Según lo expuesto, la mayoría de servicios que tienen lugar en las infraestructuras de transporte son altamente dependientes de, los sistemas tecnológicos desplegados en la carretera, de los elementos tecnológicos ubicados en las centrales de información de tráfico (organismos de control de tránsito), y de los elementos tecnológicos ubicados al interior del vehículo.

Si analizamos con mayor profundidad la Tabla 21, vemos diversas columnas sombreadas en color verde que representan

las tecnologías ITS de mayor relevancia para el despliegue de servicios ITS y continuación discutimos su importancia.

Por tanto, las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks-WSNs) vuelve a tomar protagonismo debido a lo que concluye el comité técnico ISO para las tecnologías de información “JTC 1” que las expone como una de las tecnologías ITS que permitirán la incorporación de nuevos servicios para el transporte (ISO/JTC1_WG7, 2009). Lo anterior sucede principalmente por dos motivos, el primero, por las características de escalabilidad que poseen y el segundo, por la capacidad que tienen los nodos de dichas redes para ser equipados con una gran variedad de sensores. En este sentido, las WSN pueden constituir un gran sistema de monitorización desplegado a lo largo de la infraestructura de transporte que contribuye a la generación de servicios ITS de valor agregado.

Igualmente, *WAVE* y *CALM M5*, dada su importancia para la formación de nuevos esquemas de redes vehiculares que son propicios para la conformación y el despliegue de nuevos servicios ITS de valor agregado (Lin & Lin, 2009).

Del mismo modo, destacamos las tecnologías basadas en radiodifusión de datos tales como RDS, DAB+ y HD-RADIO, debido a que aprovechan el canal de mensajes de tráfico o TMC (Traffic Message Channel) para la difusión de servicios (Cho *et al.*, 2006).

De la misma forma, las tecnologías basadas en redes celulares (2G, 3G,) toman una gran importancia para el despliegue de servicios ITS de valor agregado dada su madurez (Guo *et al.*, 2009) (Hwang *et al.*, 2009) y su gran velocidad de respuesta. No obstante, las tecnologías de 4G es decir, LTE, aún en desarrollo, se postulan como una plataforma de comunicaciones altamente apropiada para alcanzar el despliegue de servicios ITS.

Si seguimos analizando es el turno para los sistemas de navegación y los dispositivos de usuario (teléfonos inteligentes, navegadores, PDA). Ambos, convertidos en una pieza clave para la prestación y el despliegue de servicios debido a: su fuerte penetración en el mercado, al incremento del equipamiento de este tipo de tecnologías por parte del usuario, a la tendencia del sector automotriz para instalarlas previamente al interior del vehículo y a que gran parte de los dispositivos poseen la funcionalidad de sistema de navegación.

En resumen, las tecnologías ITS cumplen un rol especial dentro de la infraestructura de transporte pero de todas ellas, hemos identificado que las unidades de carretera o RSUs cumplen con una función importantísima para el despliegue de servicios, por ello, han sido presentadas como un componente transversal tanto a las tecnologías como a los servicios ITS.

Como se ha recalcado anteriormente, las RSUs se encargan de interactuar con los sistemas de monitorización (AASHTO *et al.*, 2009) y son capaces de actuar como proveedores de servicios para los vehículos (Zhang *et al.*, 2009). Asimismo, son objeto de investigación constante debido a su rol en los ITS (Lee, 2008), y según el Departamento de Transporte de EEUU, la expansión de las tecnologías embebidas tiende a mejorar dichas unidades dotándolas de elementos de gestión más propicios que fomentan la gestión de tráfico y por consiguiente la generación de servicios ITS (RITA, 2009a).

A continuación, hemos realizado un análisis sobre las perspectivas tecnológicas en que se ven envueltas las tecnologías mencionadas donde, son expuestos sus problemas, sus desventajas y sus bondades.

Análisis de la perspectiva tecnológica ITS para el despliegue de servicios

En cuanto a las WSN, el JTC1 expone que su integración en el ámbito de los ITS puede ser bastante baja dada la gran diversidad de plataformas desarrolladas lo cual, debe ser estandarizado (ISO/JTC1_WG7, 2009). No obstante, (Tubaishat *et al.*, 2009) plantea que las WSN contribuirán al despliegue de servicios, en especial, por las bondades que les caracteriza.

Es cierto que tales redes deben ser estandarizadas y uno de los aspectos más relevantes para lograrlo es el de tener plataformas middleware que sean capaces de embeber los servicios.

En lo que respecta a WAVE, (Rybicki *et al.*, 2007) plantea que una de las grandes cuestiones que más impedirá su despliegue es que la mayoría de vehículos no vienen equipados con este tipo de sistemas tecnológicos y afirma que los mismos, incrementaran los costos del vehículo. Además, plantea como hipótesis que si extendiera adecuadamente tal tecnología, tal vez, podría generarse el escenario VANET adecuado para la prestación de servicios.

Las VANET son muy dependientes de las tecnologías de redes vehiculares, más que nada, por sus restricciones especiales de velocidad, tiempo real, consumo y distancia. Sin embargo, sus servicios proporcionados se convierten para nuestro modelo en un interesante proveedor de servicios que, además de los servicios que prestan, una vez procesados y junto con más información, pueden ser una fuente muy apropiada para ofrecer otros servicios ITS de valor agregado a otros vehículos que estén fuera del ámbito de la red vehicular.

Por consiguiente, resulta evidente que las VANET conformarán un gran esquema para la prestación de servicios ITS de valor agregado pero como lo discute (Santa *et al.*, 2008), tales redes no son las únicas para alcanzar la prestación de servicios. En este sentido, cobran importancia otros tipos de redes de telecomunicaciones más maduras como por ejemplo, las redes móviles o redes celulares que en la actualidad están apoyando la prestación de servicios ITS. Además, gran cantidad de usuarios comienzan a disponer de sistemas móviles altamente equipados (teléfonos inteligentes) que pueden servir para la convergencia dichos servicios.

En cuanto a las tecnologías basadas en radiodifusión de datos RDS, DAB+ y HD-RADIO hemos ya mencionado que existe un problema mayor de cara a la prestación de servicios, principalmente porque los servicios ofrecidos por las centrales de tráfico son de carácter muy plano y además, los usuarios casi no cuentan con dispositivos que manejen este tipo de tecnologías.

Por último, los sistemas de navegación y los sistemas de usuario, son los elementos que van a permitir la convergencia de servicios ITS de manera coherente (Jenkins, Bryan. , 2007). No obstante, no todos los usuarios tienen posibilidad de acceso a dichos dispositivos creando así, una gran cantidad de usuarios al margen de los servicios ITS. Además, no todos los usuarios poseen acceso a internet en dichos dispositivos, capacidad fundamental para lograr la convergencia de servicios. Por otra parte, los planos cartográficos deben ser constantemente mejorados ya que los servicios ITS son muy dependientes de estos y si no es así, es imposible garantizarle al usuario la prestación del servicio por ello, el usuario ITS requiere periódicamente la actualización de la cartografía por donde transita.

En conclusión, los navegadores y dispositivos de usuario actuales, deben equiparse con tecnologías que permitan la interacción con diversas redes de telecomunicaciones, para que la convergencia de servicios sea factible.

Dando por finalizado este apartado, a continuación presentamos nuestra segunda fase relacionada con la catalogación de las tecnologías y servicios ITS.

Catalogación de las tecnologías ITS

Fase definida con el objetivo de catalogar tanto las tecnologías como los servicios ITS, para hacerlo adecuadamente tomaremos de base su funcionalidad, su comportamiento dentro de la infraestructura de transporte y principalmente los esquemas tecnológicos donde cualquier servicio ITS podría ser prestado.

Está constituida por tres pasos fundamentales (ver Figura 42), el primero, asociado a la determinación de las formas de catalogación de las tecnologías ITS; el segundo, asociado a la catalogación de los servicios ITS; y el tercero, determina el catálogo general de las tecnologías y servicios ITS.

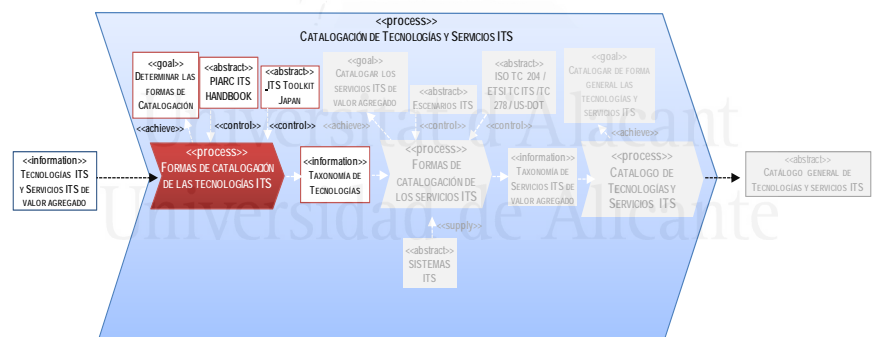


Figura 42. Determinación de las formas de catalogación de las tecnologías ITS

Para desarrollarla, hemos tomado ventaja nuevamente, de los principales organismos de los ITS, de las propuestas realizadas por la asociación mundial de carreteras (PIARC) (PIARC, 2004), y por el ITS toolkit japonés (HIDO, 2004) con lo cual, será posible tomar los lineamientos más importantes para catalogar tanto las tecnologías como de servicios ITS.

La forma de catalogación de las tecnologías depende de los esquemas que sean tomados en cuenta para el despliegue de servicios. Por ejemplo, la PIARC toma diversas áreas para catalogar las tecnologías ITS que son: localización y referenciación, adquisición de datos, procesamiento de datos, comunicaciones, distribución de la información y utilización de la información. Por tanto, concluye que para alcanzar la prestación adecuada de servicios, las tecnologías también deben ser catalogadas de acuerdo al lugar donde se encuentran, es decir, si están desplegadas en la infraestructura o incorporadas en el vehículo como ilustra la Tabla 22.

Tabla 22. Catalogación Tecnológica según la PIARC (PIARC, 2004)

TECNOLOGÍAS ITS	INFRAESTRUCTURA	VEHÍCULO
LOCALIZACIÓN Y REFERENCIACIÓN	MAPAS DIGITALES SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA BASES DE DATOS DE REDES DE TRANSPORTE	LOCALIZACIÓN DESDE DEL TELÉFONO MÓVIL SISTEMAS DE NAVEGACIÓN LOCALIZACIÓN DEL VEHÍCULO AUTOMÁTICA
ADQUISICIÓN DE DATOS	DETECTORES DE TRÁFICO MONITORIZACIÓN DEL CLIMA DETECCIÓN DE INCIDENTES AUTOMÁTICO	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMÁTICA VEHÍCULOS DE PRUEBAS
PROCESAMIENTO DE DATOS	DICCIONARIOS DE DATOS FUSIÓN DE DATOS INTERCAMBIO DE DATOS	COMPUTADORES DE A BORDO COMPARACIÓN DE MAPAS DIGITALES
COMUNICACIONES	ENLACES DE MICROONDAS REDES DE FIBRA ÓPTICA BALIZAS (DSRC) REDES CELULARES	RECEPTORES DAB TELÉFONOS MÓVILES COMO RECEPTORES RECEPTORES RDS-TMC TRANSPONDEDORES
DISTRIBUCIÓN DE LA INFORMACIÓN	SISTEMAS DE MENSAJERÍA VARIABLE VMS INTERNET KIOSCOS REDES CELULARES	ASISTENTES PERSONALES DIGITALES (PDA) UNIDADES EN EL VEHÍCULO
UTILIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	DETECCIÓN DE INCIDENTES GESTIÓN DE LA DEMANDA MONITORIZACIÓN DE LA CONGESTIÓN	ORIENTACIÓN DE RUTAS SISTEMAS AVANZADOS PARA LA SEGURIDAD DEL CONDUCTOR (ADAS)

No obstante, esta no es la única forma de catalogarlas ya que más parámetros pueden ser empleados para acotar tal catalogación, incluso de forma más coherente y asociada a los nuevos escenarios de comunicaciones ITS.

En este sentido proponemos catalogarlas de acuerdo a tales escenarios es decir, a los relacionados directamente con las tecnologías empleadas, al interior del vehículo (V), a las tecnologías utilizadas en la comunicación entre los mismos vehículos (V2V), a las empleadas entre el vehículo y la infraestructura (V2I), a las utilizadas entre la infraestructura y vehículo (I2V), a las que se emplean entre las mismas infraestructuras (I2I) y a las que sólo se focalizan en la infraestructura (I). Siguiendo esta pauta, hemos construido la

Tabla 23 que expone la catalogación de las tecnologías ITS en función del escenario de comunicaciones. Ejemplarizando, en la Tabla 23 puede verse como la tecnología DSRC-RFID funciona sobre dos escenarios de comunicaciones, el V2I y el I2V. Tal tecnología es comúnmente utilizada para sustentar el servicio de telepeaje el cual, infiere la presencia de una OBU o OBE (On board Equipment) instalada en el vehículo y de una RSU o RSE (Roadside Equipment) instalada sobre la infraestructura.

Tabla 23. Catalogación Tecnológica según las Tecnologías de Comunicaciones

TECNOLOGÍAS ITS DE COMUNICACIONES	ESCENARIOS DE COMUNICACIÓN					
	V	V2V	V2I	I2V	I2I	I
CALMIR		•	•	•	•	•
CEN DSRC (RFID)			•	•		
ZIGBEE WSN	•	•	•	•		
BLUETOOTH	•		•*	•*		
WAVE/CALM M5		•	•	•		
RDS / DAB (DIFUSION)				•		
DVB (DIFUSION)				•	•	
WiFi A/b/g/n		•*	•	•		•
WiMax		•	•	•	•	•
GSM / GPRS CALM 2G		•	•	•	•	•
UMTS / CALM 3G / LTE		•	•	•	•	•
RS232 **	•					
CAN / LIN**	•					
RS485 **	•					

ESCENARIOS DE COMUNICACIONES: V → AL INTERIOR DEL VEHICULO, V2V → VEHICULO A VEHICULO, V2I → VEHICULO A INFRAESTRUCTURA, I2V → INFRAESTRUCTURA A VEHICULO, I2I → INFRAESTRUCTURA A INFRAESTRUCTURA, * → MUY LIMITADO, ** → TECNOLOGÍAS QUE UTILIZAN MEDIOS CABLEADOS

Igualmente, de la Tabla 23 extraemos que las tecnologías ITS pueden desenvolverse en varios escenarios de comunicación, por ejemplo, Zigbee, subrayada en rojo, apoya de manera directa o indirecta a los servicios ITS generados al interior del vehículo (V) y a escenarios V2V, V2I e I2V.

Dando paso a otra forma de catalogar las tecnologías ITS de comunicaciones, consideremos los parámetros asociados a las tecnologías basadas en infraestructuras, las tecnologías sin infraestructura y las tecnologías directamente relacionadas con las redes vehiculares (VANET). Para elaborar tal catalogación, hemos extraído las principales bondades de las tecnologías ITS, recogidas a lo largo de nuestra investigación y como resultado, hemos obtenido la Tabla 24.

Tabla 24. Catalogación de las Tecnologías ITS de comunicaciones y sus bondades

TECNOLOGÍAS ITS DE COMUNICACIONES											
CARACTERÍSTICAS DE COMUNICACIÓN	BASADAS EN INFRAESTRUCTURA					SIN INFRAESTRUCTURA				ORIENTADAS A VANETS	
	RDS / DAB/ DVB	Wi-Fi A/B/G/N	WIMAX	GSM / GPRS CALM 2G	UMTS / CALM 3G	CALM IR	CEN DSRC RFID	ZIGBEE WSN	BLUETOOTH	WAVE	CALM M5
ESC. DE COMUNICACIÓN	I2V	V2V, V2I, I2V, I	V2V, V2I, I2V, I2I, I	V2V, V2I, I2V, I2I, I	V2V, V2I, I2V, I2I, I	V2V, V2I, I2V, I2I, I	V2I, I2V	V, V2V, V2I, I2V	V, V2I, I2V	V2V, V2I, I2V	V2V, V2I, I2V
VELOCIDAD DE DATOS (Mbps)	0.0012 / 2.4 / 6750 - 39.2	11-600	1 - 75	0,08 -0,384	7.2	1 - 2	0,5 -1	0,02-0,25	1 - 3	-6	-6
RANGO (KM)	40 / 35 / 16-67	0,1-0,25	50	10	10 -35	0.01-1	0,03-0,035	0,1	0,01 M	-1	-1
BANDA DE OPERACIÓN (GHZ)	6-8 / 174-240 1452-1492 (A)	2.4 -5.2	5x	0.8- 1.9	0.8,1.9,2.1	800- 1000 Nm	5.7-5.8	2.4	5.4	5.8-5.9	5 - 6
MOVILIDAD	SI	MUY LIMITADA	SI	SI	SI	SI	SI	SI	MUY LIMITADA	SI	SI
LATENCIA (MS)	600000 /10000-30000	50	120	500-700	200-300	1-10	20	16	100	0.2	0,2

(A)= AMBAS TECNOLOGÍAS, NM= NANÓMETROS

La Tabla 24 es muy útil momento de analizar cualquier servicio ITS de valor agregado ya que al tener las bondades de las tecnologías ITS y sus escenarios de comunicación, los fabricantes de tecnologías ITS pueden emplearla para que establezcan las tecnologías con las que desplegarían un servicio cualquiera.

Teniendo en cuenta las distintas catalogaciones expuestas hemos construido una taxonomía asociada a las tecnologías ITS (ver Figura 43) que sirve de referencia para la catalogar los servicios.

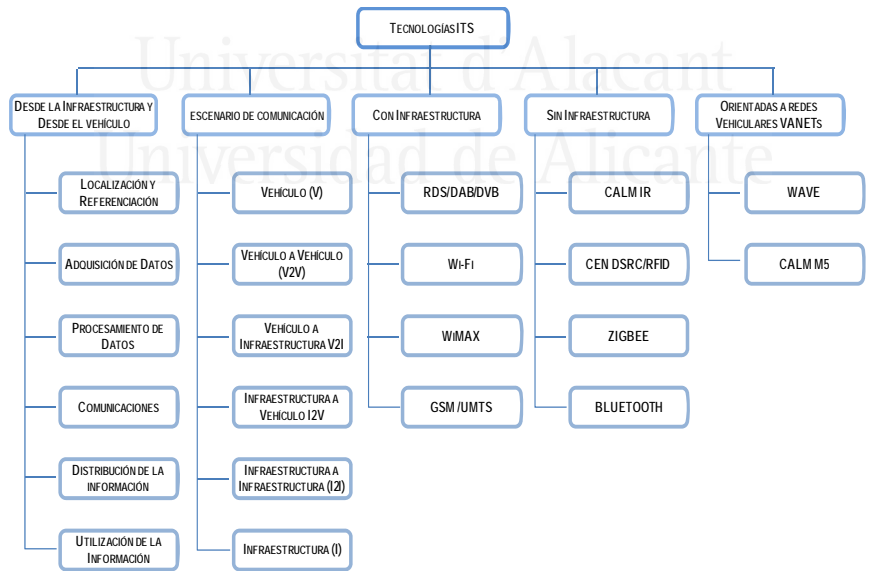


Figura 43. Taxonomía de Tecnologías ITS

Catalogación de los servicios ITS de valor agregado

Teniendo como referencia la taxonomía de las tecnologías ITS propuesta, a continuación se procederá con el análisis de las formas de catalogación de los servicios ITS de valor agregado, paso dos de la metodología (ver Figura 44).

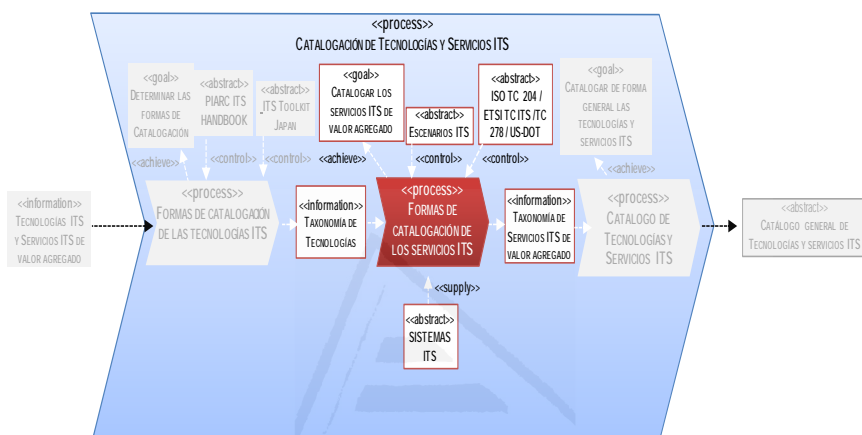


Figura 44. Determinación de las formas de catalogación de los servicios ITS

Catalogar los servicios es algo que tiene gran relevancia para nuestro trabajo dado que son estos, el fin más importante de los ITS.

Para desarrollar la catalogación de manera coherente, es preciso reiterar que hemos tomado las principales recomendaciones realizadas por los organismos ITS y hemos incluido los nuevos escenarios de comunicación, analizados en la fase previa, para obtener una catalogación coherente de los mismos.

Uno de los parámetros que empleamos para catalogar tales servicios son los escenarios ITS de comunicaciones, dado que están impactando fuertemente al MTPSITS. En consecuencia, tomamos los seis escenarios que hemos discutido a partir de nuestra investigación que son: V, V2V, V2I, I2V, I2I, y I con el fin de elaborar una clasificación coherente.

Antes de realizar nuestra catalogación es preciso aclarar, qué es el ambiente de cooperativismo vehicular, el cual, se refiere a la capacidad que tiene un vehículo para comunicarse con la

infraestructura (escenarios I2V o V2I) y con otros vehículos a través de mensajes de difusión (escenario V2V).

Sabiendo lo anterior, los servicios los hemos catalogado de acuerdo a dos ámbitos de prestación de servicio, el primario y el secundario.

El ámbito primario está relacionado con el escenario principal de comunicación ITS donde el servicio normalmente es desplegado, y el ámbito secundario está relacionado con otro escenario de comunicación, diferente al escenario principal, donde también podría desplegarse el servicio. Por tanto, un servicio ITS tendrá sólo un ámbito de prestación primaria y diversos ámbitos de prestación secundaria.

Para entender más detenidamente los ámbitos en que hemos clasificado los servicios ITS de valor agregado, a continuación presentamos una situación real vehicular que suele suceder a lo largo de la infraestructura de transporte.

Tomemos la siguiente situación: si un vehículo averiado, parado en medio de la carretera, no tuviese la posibilidad de enviar su estado actual a los demás vehículos, tal hecho, representa un gran riesgo de colisión para los demás vehículos. Por tanto, si tal vehículo pudiese ser registrado por la infraestructura podría crearse un servicio ITS que alerte al usuario que transita por la carretera pero para ello, es imprescindible conocer la situación del vehículo por tanto ¿cómo la conocemos?.

Si tomamos el caso hipotético de que el vehículo averiado pudiese enviar un mensaje a la infraestructura notificando su situación, es decir, una notificación de avería, el ámbito primario para dicho servicio sería V2I ya que es generado normalmente desde vehículo a la infraestructura. Al tener la infraestructura tal información podría generarse un nuevo servicio de ámbito secundario del tipo I2V para ser desplegado mediante mensajes periódicos a los demás usuarios que transitan por la carretera. Considerando que hipotéticamente estamos en un ambiente VANET, los usuarios desde sus vehículos al recibir tal alerta podrían generar un nuevo servicio de ámbito primario, del tipo V2V, logrando así alertar a nuevos usuarios ITS sobre la situación del vehículo averiado, normalmente este último servicio es conocido como *servicio de advertencia cooperativa*.

Luego del escenario descrito, observemos como otros servicios de información dinámica relacionados con los trabajos en la vía, con

las colisión de vehículos, con la notificación de accidentes, pueden clasificarse a partir de su ámbito de prestación (ver Figura 45).

La Figura 45, presenta dos escenarios, A y B. El A, referente a un servicio de información dinámica relacionado con los trabajos en la vía, el servicio notifica tal hecho a los vehículos para que tomen precauciones al momento de transitar por la zona peligrosa. El servicio es prestado con regularidad desde la infraestructura al vehículo, por tanto, lo hemos catalogado como un servicio de ámbito primario I2V.

Por el contrario, el escenario B, referente al servicio de colisión automática se despliega en el preciso momento en que un vehículo choca con otro, al ocurrir esto y si estamos en un hipotético escenario VANET, inmediatamente se genera un servicio de ámbito primario V2V para alertar a los vehículos que transiten por el lugar de lo sucedido. Paralelamente, se generan servicios de ámbito secundario para que la infraestructura tenga conocimiento de lo sucedido, por ello, se generan servicios del tipo V2I e I2V destacados en rojo en la figura.

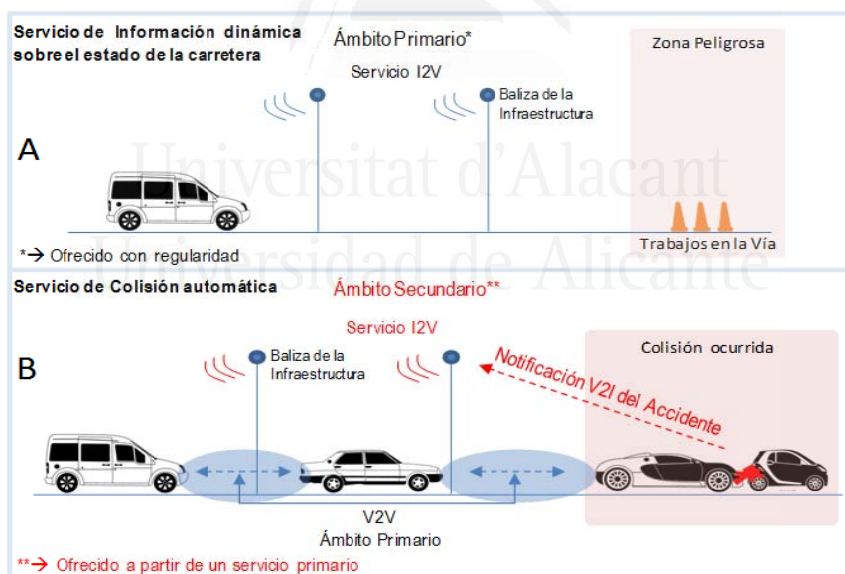


Figura 45. Ámbitos de los Servicios: primario y secundario

Los escenarios A y B son bastante comunes a lo largo de la infraestructura de transporte pero es preciso añadir que no son

los únicos, por tanto, escenarios tales como I2I, V, y I son de igual importancia y son incluidos en nuestro análisis para clasificar los servicios ITS.

A continuación, presentamos la catalogación (ver Tabla 25) de servicios obtenida a partir del análisis que hemos realizado para cada servicio perteneciente a los dominios de servicio descritos anteriormente. De la misma forma, recogemos algunos servicios de ámbito local, es decir, servicios que no son extendidos más allá del vehículo o de la infraestructura. Recordemos que un servicio de ámbito local, por ejemplo, la detección de cinturón de seguridad abrochado, es propio del vehículo y no es extendido a otro escenario de comunicación.

Según lo descrito, en la Tabla 25 hemos clasificado los servicios ITS de valor agregado según su ámbito de prestación tanto primario como secundario y vemos claramente que existe una afinidad entre el dominio del servicio y su ámbito primario. Por ejemplo, si tomamos el dominio del servicio de información al viajero, por sus siglas INFAV, se constata como los servicios pertenecientes a este dominio tienen como ámbito primario el escenario de comunicación I2V. Básicamente, se debe a que la mayoría de los servicios tratados por dicho dominio tienen su origen en los sistemas instalados sobre la infraestructura de transporte. No obstante esto no significa que los servicios I2V no puedan verse como servicios de ámbito secundario para otros dominios.

Por otra parte, si observamos el dominio de gestión de tráfico y operaciones (GTO) vemos que la mayoría de servicios son originados en la infraestructura por lo que su ámbito de prestación es I2V. Sin embargo, algunos servicios se originan únicamente en la central de información de tráfico o lo que es lo mismo en la Infraestructura (I) y luego son desplegados mediante otros canales de comunicaciones como servicios de ámbito secundarios.

En el caso del dominio (V), referente al vehículo, la mayoría de servicios tiene como ámbito primario el escenario V2V debido a la capacidad de cooperativismo de las VANETs, además, su mayor aplicabilidad es la generación de servicios de seguridad para el conductor y sus ocupantes.

Tabla 25. Catalogación de los servicios ITS de valor agregado según el ámbito del servicio

DS	SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	ÁMBITO DEL SERVICIO	
		PRIMARIO	SECUNDARIO
INFAV	VISUALIZACIÓN 2D/3D, SELECCIÓN DE POI	I2V	V2V
	PLANIFICACIÓN DE RUTA ESTÁTICA	I2V	V2V
	PLANEACIÓN DE RUTA DINÁMICA	I2V	V2V
	INFORMACIÓN DE TRÁFICO DINÁMICA (CLIMA, BLOQUEO DE CARRETERAS, ESTADO DE LOS PUENTES, SITIOS DE PARKING, TRABAJOS EN LAS VÍAS, TIEMPO DE VIAJE, LÍMITE DE VELOCIDAD, VELOCIDAD VARIABLE)	I2V	V2V, V2I
	DETECCIÓN DE PEAJES	I2V	V2V
	PRONÓSTICO DEL CLIMA	I2V	V2V
	DESCUBRIMIENTO DE TELÉFONOS EN LA VÍA	I2V	V2V, V2I
	ADVERTENCIAS POR VMS	I2V	I2I
	INFORMACIÓN CULTURAL Y DE ENTRETENIMIENTO (CINES, PELÍCULAS, TEATROS, VIDEO CLIPS, AVISOS PARTICULARES)	I2V	V2V
	HORARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO	I2V	NA*
	GUIAS DE RUTA PARA PEATONES Y CICLISTAS	I2V	V2V
	INTEGRACIÓN DE TRANSPORTE MULTIMODAL	I2V	I2I
SERVICIOS DE ÚLTIMA MILLA : DESCUBRIMIENTO DE PLAZAS LIBRES DE APARCAMIENTOS	I2V	V2V, V2I	
GTO	SUPERVISIÓN Y MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL ESTADO DE LA CIRCULACIÓN Y TRÁFICO INTERURBANO (CCTV)	I2I	I2V, V2I
	VELOCIDAD MEDIA	I2V	V2V
	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y DE CONTAMINACIÓN (CALIDAD DEL AIRE)	I	I2I, I2V
	DETECCIÓN Y PRONTA RESPUESTA A LOS INCIDENTES DE TRÁFICO EN LAS VÍAS (CCTV)	I	I2I, I2V, V2V
	ORDENACIÓN Y REGULACIÓN DEL TRÁFICO BASADOS EN LA CELEBRACIÓN DE PRUEBAS DEPORTIVAS, FERIAS, SEMANA SANTA, OPERACIONES DE SALIDAS Y ENTRADAS DE LOS PERÍODOS VACACIONALES	I	I2I, I2V, V2V
	MENSAJERÍA VARIABLE EN LAS AUTOPISTA Y AUTOVÍAS	I2V	V2V
	ORIENTACIÓN A LA CIUDADANÍA EN LA CONDUCCIÓN (VMS, DIFUSIÓN DE BOLETINES INFORMATIVOS, RDS).	I2V	V2V
	INTERCONEXIÓN CON OTROS CENTROS DE GESTIÓN DE TRÁFICO URBANOS O TRANSEUROPEO.	I2I	I
	INFRACCIÓN A LA NORMATIVA DE TRÁFICO	I2V	V2V
	GESTIÓN DE CARRILES	I2V	V2V, V2I, I2I
	INCORPORACIÓN A LA VÍA	I2V	V2V
	GESTIÓN DE APARCAMIENTOS	I2V	V2I, I2I
	CONGESTIÓN EN UN CARRIL ESPECÍFICO	I2V	V2V, V2I, I2I
	GESTIÓN DE DESASTRES: TERREMOTOS, DERRUMBES, INUNDACIONES, GUERRA	I2I	V2I, V2V, V2I
	VEHÍCULOS COMO SONDAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA	V2I	I2I
CONTROL DE VELOCIDAD	I2V	V2V	
GESTIÓN DE TRABAJOS EN LA VÍA	I2V	I2I, I2V	
ALMACENAMIENTO DE DATOS	I	I2I, I2V	
V	ASISTENCIA DE VEHÍCULO DE EMERGENCIAS (INICIATIVA E-CALL)	V2I	I2I
	PRIORIDAD DE VEHÍCULO DE EMERGENCIA	V2V	V2I, I2V, I2I
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO AVERIADO Y ESTACIONADO EN LA VÍA	V2V	I2V
	ASISTENCIA EN LA VELOCIDAD EN UNA CURVA	V	I2V
	PREVENCIÓN Y ADVERTENCIA DE COLISIÓN EN UNA INTERSECCIÓN	V2V	I2V, V2I
	ADVERTENCIA COOPERATIVA DE COLISIÓN	V2V	V2I, I2V
	VELOCIDAD ÓPTIMA ACONSEJABLE	V	I2V, V2V
	SISTEMA COOPERATIVO DE VEHÍCULOS (PLATOONING)	V2V	V2I, I2V
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN CON SISTEMAS FÉRREOS	V2V	V2I, I2V, I2I
ESCENARIO DEL SERVICIO: I → PROPIO DE LA INFRAESTRUCTURA, V → PROPIO DEL VEHÍCULO, I2I → INFRAESTRUCTURA A INFRAESTRUCTURA, I2V → INFRAESTRUCTURA A VEHÍCULO, V2V → VEHÍCULO A VEHÍCULO, V2I → VEHÍCULO A INFRAESTRUCTURA, NA* → NO APLICA.			

DS	SERVICIOS ESPECIFICOS	ÁMBITO DEL SERVICIO	
		PRIMARIO	SECUNDARIO
V	ADVERTENCIA DE ZONA DE TRABAJO	I2V	V2V
	ADVERTENCIA DE CONDICIONES DE LA CARRETERA	V2I	I2V,V2V
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO VOLCADO	V2V	V2I, I2V
	ADVERTENCIA DE PUENTE BAJO	I2V	V2I,V2V
	PRIORIDAD DE DE TRÁNSITO	V2V	V2I, I2V
	IDENTIFICACIÓN DE FRONTERAS	I2V	I2I
	ALINEAMIENTO DE VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO	V2V	I2V
	MANTENIMIENTO EN EL CARRIL	V	V2V, V2I, I2V
	CARRIL PROHIBIDO	I2V	V2V
	CARRIL AUXILIAR	I2V	V2V
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN LONGITUDINAL Y LATERAL	V	V2V, V2I, I2V
	OPERACIÓN DE APARCAMIENTO AUTOMÁTICO	V	NA*
	CONTROL DE VELOCIDAD DE CRUCERO	V	I2V, V2V
	TEMPERATURA DEL MOTOR	V	NA*
TM	PESO EN MOVIMIENTO	V2V	V2I, I2V
	CHEQUEO RÁPIDO DE CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO COMERCIAL	I2V	V2I
	MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO PARA LA SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL	I2V	I2I
	LLENADO AUTOMÁTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO A PARTIR DE SUS CREDENCIALES	I2V	V2I, V2V
	DETECCIÓN DE CRUCE DE FRONTERAS	I2V	I2I, I2V
	ACCESO REMOTO A LOS DATOS DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL	I2V	I2I
	MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARGA DEL VEHÍCULO COMERCIALES	V	V2I, I2I
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS COMERCIALES	I2V	I2I, V2I
	RASTREO DE CONTENEDORES DE MERCANCIAS	I2V	I2I
	INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE LLEGADA TANTO DE CONTENEDORES COMO DE VEHÍCULOS	V2I	I2I, I2V
	FACILIDADES INTERMODALES	I2V	I2I
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA	V2V	V2I, I2V
	REGISTRO DE DATOS DE MERCANCIAS PELIGROSAS	V2I	I2V, I2I
COORDINACIÓN DE FLOTAS CON MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA	V2V	V2I,I2V,I2I	
TP	MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS DE INTERNOS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	V	V2I, I2I
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	I2V	I2I
	PLANIFICACIÓN DE HORARIOS	I2V	I2I
	NOTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA DISCAPACITADOS	V2I	V2V, I2V
	COMPARTICIÓN DINÁMICA DE VEHÍCULOS (TAXIS, BUSES, VANS)	V	I2V
E	NOTIFICACIÓN DE COLISIÓN AUTOMÁTICA	V2V	V2I, I2V,I2I
	LLAMADA DE SOCORRO INICIADA POR EL USUARIO SOS	V2I	I2I, I2V,I2V
	VERIFICACIÓN DE CINTURÓN DE SEGURIDAD ABROCHADO	V	NA*
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIA POR TERCERAS PARTES	V2I	I2V, I2I
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO ROBADO	V2I	I2V, I2I, V2V
	RASTREO DE VEHÍCULO ROBADO	I2V	I2I
	INMOVILIZACIÓN REMOTA DE VEHÍCULO	I2V	I2I
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHÍCULOS DE EMERGENCIA	V2I	I2V, V2V
NOTIFICACIÓN DE MAYDAY	V2I	I2I, I2V, V2V	
PERT	PAGO DE TARIFAS DE TRANSITO	I2V	I2V, I2I
	PAGO ELECTRÓNICO DE PEAJES	I2V	V2I,I2I
	PAGO ELECTRÓNICO DE APARCAMIENTOS	I2V	V2I, I2I
	PAGO DE SERVICIOS ELECTRÓNICOS (INFORMACIÓN DE VIAJE, RESERVACIONES, ETC)	I2V	V2I, I2I
	INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE PAGO A NIVEL REGIONAL	I2I	I

ESCENARIO DEL SERVICIO: I→ PROPIO DE LA INFRAESTRUCTURA, V→ PROPIO DEL VEHÍCULO, I2I→INFRAESTRUCTURA A INFRAESTRUCTURA, I2V→INFRAESTRUCTURA A VEHÍCULO, V2V→ VEHÍCULO A VEHÍCULO, V2I→VEHÍCULO A INFRAESTRUCTURA, NA→ NO APLICA.

DS	SERVICIOS ESPECÍFICOS	ÁMBITO DEL SERVICIO	
		PRIMARIO	SECUNDARIO
SPRT	ADVERTENCIAS DE MAYDAY PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO	I2V	V2V,I2I
	VIGILANCIA DEL TRANSPORTE PÚBLICO	I2V	I2I
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS NO MOTORIZADOS	I2V	V2V,V
	MONITORIZACIÓN DE PEATONES	I2V	V2V
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS ESPECIALES (TRACTOR, GRÚA, CAMIÓN DE BOMBEROS)	V2V	V2I, I2V
	MONITORIZACIÓN DE MEDIOS DE TRANSPORTE ESPECIALIZADOS (CARTS, SILLAS DE RUEDAS)	I2V	V2V, I2I
	ADVERTENCIAS DE VISUALIZACIÓN POR SEÑALES DE ALERTA	V	V2V, V2I, I2V
ADVERTENCIA DE VEHÍCULO APROXIMÁNDOSE	V2V	V2I, I2V	
MCAC	INTENSIDAD DE NIEBLA	I2V	I2I, V2V,V2I,
	DETECCIÓN DE NIEVE	I2V	I2I, V2V,V2I,
	DETECCIÓN DE HIELO	I2V	I2I, V2V, V2I
	VELOCIDAD DEL VIENTO	I2V	I2I, V2V,V2I,
	DETECCIÓN DE LLUVIAS Y CALOR	I2V	I2I, V2I
	NIVEL DE AGUA / MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA MAREAS	I2V	I2I
	MONITORIZACIÓN SÍSMICA	I	I2I, I2V
MONITORIZACIÓN DE AVALANCHAS, DESLIZAMIENTO DE LODO, ROCAS CAYENDO	I2V	V2V, V2I, I2I	
CGD	RECOPIACIÓN DE DATOS PERTENECIENTES A EMERGENCIAS Y DESASTRES	I2I	I2V
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE EMERGENCIAS Y DESASTRES	I2I	I2V
	PLANEACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES	I2I	I2V
	COORDINACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES	I2I	I2V, V2V
SN	MONITORIZACIÓN DE VEHÍCULOS CON PELIGRO DE EXPLOSIÓN	I	I2V, V2I
	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS SOSPECHOSOS	I	I2I, I2V
	IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS NO REGISTRADOS	I	I2I
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS A LAS PRINCIPALES AGENCIAS	I2I	I2V, V2V
	MONITORIZACIÓN DE EXPLOSIONES	I	I2I, I2V,V2V,V2I
ESCENARIO DEL SERVICIO: I→ PROPIO DE LA INFRAESTRUCTURA, V→ PROPIO DEL VEHÍCULO, I2I→INFRAESTRUCTURA A INFRAESTRUCTURA, I2V→ INFRAESTRUCTURA A VEHÍCULO, V2V→ VEHÍCULO A VEHÍCULO, V2I→VEHÍCULO A INFRAESTRUCTURA, NA→ NO APLICA.			

Continuando con la catalogación, para el dominio del transporte de mercancías (TM), los ámbitos primarios predominantes son los escenarios I2V y V2I debido a que los sistemas de monitorización de carga emplean en su mayoría dispositivos tecnológicos pertenecientes a tales escenarios. Además, es muy importante destacar que los servicios de este dominio tienen muy en cuenta la característica de intermodalidad según el destino de la carga transportada.

Para el dominio del transporte público (TP), no hay un ámbito primario concreto que tenga afinidad con los diferentes escenarios de comunicación ITS. No obstante, el servicio más demandado por los usuarios ITS es el de conocer los horarios del transporte público, perteneciente al ámbito primario I2V.

Por su parte, el dominio de servicios orientados a Emergencias (E), tiene una altísima relación con el ámbito primario V2I. No obstante, el ámbito primario I2V también resulta importante dada la gestión que realiza el centro de tráfico con cualquier emergencia que tenga lugar en la infraestructura de transporte.

El dominio de pago electrónico para el transporte (PERT) tiene alta relación con el ámbito primario I2V dada su concepción característica enfocada para que el usuario ITS pague las tasas respectivas de los servicios prestado por la infraestructura.

El dominio de la seguridad personal relacionada con el transporte por carretera (SPRT), claramente está liderado por el ámbito primario I2V dado que las infraestructuras de transporte tienen como objetivo fundamental la seguridad urbana. No obstante, los nuevos escenarios cooperativos permiten difundir esta información generando así, servicios secundarios que también cumplen dicha función.

El dominio enfocado a la monitorización de las condiciones ambientales y climáticas (MCAC) produce servicios en su mayoría de ámbito primario I2V debido a que la infraestructura frecuentemente envía mensajes sobre tal hecho a los usuarios.

El dominio de coordinación y gestión de la respuesta ante desastres (CGD) tiene como máximo representante al ámbito primario I2I. Lo anterior, principalmente sucede ya que el fin de los ITS es el de garantizar en todo momento la seguridad de sus usuarios en cualquier punto de la infraestructura. Por este motivo, las centrales de información de tráfico generan gran cantidad de servicios de alerta hacia otros organismos de asistencia para que, coordinadamente puedan ejercer funciones de rescate. Asimismo, gran cantidad de servicios de ámbito secundario pueden ser generados principalmente por la magnitud del problema.

Por último, el dominio de servicios de seguridad nacional (SN) enfocado a la vigilancia de la infraestructura de transporte presenta en su mayoría, servicios de ámbito primario (I) (infraestructura) que incluso pueden ser privados dependiendo de las políticas o de protección establecidas por los operadores de la infraestructura.

Ahora, damos paso a otra de las formas que hemos empleado para catalogar los servicios ITS de valor agregado, en la cual hemos tomando en cuenta, los parámetros fundamentales que persiguen los ITS, las categorías de aplicación y las tecnologías comunes que pueden ser aplicadas.

Los parámetros fundamentales, la seguridad, la eficiencia y el confort son afines a distintas categorías generales de aplicación que recogen un subconjunto de servicios ITS de valor agregado.

Para llevar a cabo esta nueva catalogación, consideremos las tecnologías y los sistemas ITS que sustentan tales parámetros y las categorías generales de aplicación.

Tomando los parámetros mencionados, hemos catalogado los servicios ITS de valor agregado como se ilustra en la Tabla 26.

De la Tabla 26 puede extraerse que el parámetro de seguridad presenta cuatro aplicaciones generales, los sistemas cooperativos, notificación de señales de tráfico, sistemas de mensajería variable y gestión de incidencias.

Las categorías mencionadas agrupan una gran cantidad de servicios ITS de valor agregado de forma general, por ejemplo, la categoría general de aplicación llamada sistemas cooperativos perteneciente en su mayoría al ámbito primario (V2V), recoge servicios basados en advertencias tales como: el estado del vehículo, el tipo de vehículo, tráfico peligroso, adelantamiento de vehículo y riesgo de colisión entre otros.

Tabla 26. Catalogación de los Servicios de acuerdo a los parámetros fundamentales que persiguen los ITS

PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LOS ITS	CATEGORÍAS DE APLICACIÓN	TECNOLOGÍAS EMPLEADAS COMÚNMENTE	
		TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN	SISTEMAS GENERALES
SEGURIDAD	SISTEMAS COOPERATIVOS (SCOO)	WAVE, DSRC, CALM IR, CALM M5, GSM, UMTS, LTE* Wi-Fi	OBU, SU, SA, SAPP, SC**, SH, CCTV, RSU
	NOTIFICACIÓN DE SEÑALES DE TRÁFICO (NST)		
	SISTEMAS DE MENSAJERÍA VARIABLE (VMS)		
	GESTIÓN DE INCIDENCIAS (GI)		
EFICIENCIA	GESTIÓN DE LA VELOCIDAD (GV)	CALM IR, DSRC, WAVE, RDS, DAB, GSM, UMTS, LTE*, ZIGBEE, GPS, GIS	OBU, SU, SA, SAPP, SC**, SH, CCTV, RSU
	GESTIÓN DE TRÁFICO (GT)		
	NAVEGACIÓN COOPERATIVA (NC)		
	MONITORIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA (MI)		
CONFORT	ENTRETENIMIENTO (ENTO)	WIMAX*, LTE*, DVB GSM, UMTS, LTE*, RDS, DAB	OBU, SU, SA, SAPP, SC**, SH, RSU
	DESCARGAS DE CONTENIDOS (DC)		
	PAGOS, FINANZAS Y DE SEGUROS (PFS)		
	INFORMACIÓN DE CONTEXTO (IC)		

SCOO → SISTEMAS COOPERATIVOS, NST → NOTIFICACIÓN DE SEÑALES DE TRÁFICO, VMS → SISTEMAS DE MENSAJERÍA VARIABLE, GI → GESTIÓN DE INCIDENCIAS, GV → GESTIÓN DE LA VELOCIDAD, GT → GESTIÓN DE TRÁFICO, NC → NAVEGACIÓN COOPERATIVA, MI → MONITORIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA, ENTO → ENTRETENIMIENTO, DC → DESCARGAS DE CONTENIDOS, PFS → PAGOS, FINANZAS Y DE SEGUROS, IC → INFORMACIÓN DE CONTEXTO, SN → SISTEMAS DE NAVEGACIÓN (VISTOS COMO OBU), SU → SISTEMAS DE USUARIO, SA → SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO, SAPP → SERVIDORES DE APLICACIONES, SC → SISTEMAS CORPORATIVOS, SH → SISTEMAS HEREDADOS, RSU → UNIDADES DE CARRETERA, * → PRÓXIMA TECNOLOGÍA, ** EN ALGUNOS CASOS

De la misma forma, la Tabla 26 recoge las *Tecnologías Empleadas Comúnmente* en cada parámetro fundamental y estas han sido subdivididas en dos clases, tecnologías de comunicación y sistemas generales. Por tanto, este apartado de la tabla representa los subconjuntos tecnológicos que tienen una completa afinidad a los servicios recogidos en las categorías de

aplicación y pueden ser utilizados como base para la toma de decisiones sobre qué tipo de tecnología y de sistemas son necesarios para la prestación de un servicio ITS de valor agregado.

Asimismo, la Tabla 26 expone que diversos sistemas sustentan los servicios ITS de valor agregado y de ellos, los sistemas de navegación (vistos como OBU), los sistemas de usuario (SU), los sistemas de almacenamiento (SA), los servidores de aplicaciones (SAPP), los sistemas corporativos (SC), los sistemas heredados (SH), y los componentes transversales RSU son denotados como elementos fundamentales para la prestación de servicios.

Por otra parte, vemos que el esquema de servicios ITS de valor agregado es bastante amplio por tanto, centralicemos nuestro análisis sobre el dominio del servicio de información al viajero (INFAV). Actualmente, sus servicios asociados son altamente demandados por los usuarios por lo que requieren nuevos modelos de negocio que sean capaces de sustentarlos (Berg Insight, 2009a). Su importancia se ve reflejada en la necesidad frecuente del usuario por conocer el estado de la carretera tanto en las situaciones antes del viaje como después del viaje. En este sentido, tomemos entonces tal dominio y realicemos un análisis específico para catalogarlo adecuadamente.

El dominio INFAV, si recordamos posee seis áreas de desempeño y diversos servicios ITS específicos (ver Tabla 27).

A continuación tomaremos dicho dominio para catalogarlo de acuerdo a los parámetros más relevantes de prestación de servicios que son:

- El tiempo de uso del servicio: antes del viaje o en el viaje (ambos dependientes del dispositivo a utilizar), el lugar de utilización del servicio (oficina, casa o desde el vehículo, utilizando los puntos de interés -POI (igualmente dependiente del dispositivo a utilizar)
- El canal de comunicación empleado para consumir el servicio
- La información de salida y la visualización del servicio (dependiente del dispositivo de usuario a utilizar)

De forma general, los parámetros elegidos son muy dependientes de los dispositivos de usuario, por tanto, observemos como los hemos escalado al dominio INFAV (ver Tabla 28).

Tabla 27. Servicios de Información al viajero (INFAV)

DS	ÁREA DE DESEMPEÑO	SERVICIOS ITS ESPECÍFICOS DE VALOR AGREGADO
INFAV	INFORMACIÓN ANTES DEL VIAJE	VISUALIZACIÓN 2D/3D, SELECCIÓN DE POI
		PLANIFICACIÓN DE RUTA ESTÁTICA
		PLANEACIÓN DE RUTA DINÁMICA
	INFORMACIÓN EN EL VIAJE	INFORMACIÓN DE TRÁFICO DINÁMICA (CLIMA, BLOQUEO DE CARRETERAS, ESTADO DE LOS PUENTES, SITIOS DE PARKING, TRABAJOS EN LAS VÍAS, TIEMPO DE VIAJE, LÍMITE DE VELOCIDAD, VELOCIDAD VARIABLE)
	INFORMACIÓN DE SERVICIOS DE VIAJE	DETECCIÓN DE PEAJES
	ORIENTACIÓN DE RUTAS Y NAVEGACIÓN ANTES DEL VIAJE	PRONÓSTICO DEL CLIMA
		DESCUBRIMIENTO DE TELÉFONOS EN LA VÍA
	ORIENTACIÓN DE RUTAS Y NAVEGACIÓN EN EL VIAJE	ADVERTENCIAS POR VMS
		INFORMACIÓN CULTURAL Y DE ENTRETENIMIENTO (CINES, PELÍCULAS, TEATROS, VIDEO CLIPS, AVISOS PARTICULARES)
	APOYO A LA PLANEACIÓN DEL VIAJE	HORARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO
		GUÍAS DE RUTA PARA PEATONES Y CICLISTAS
		INTEGRACIÓN DE TRANSPORTE MULTIMODAL
		SERVICIOS DE ÚLTIMA MILLA: DESCUBRIMIENTO DE PLAZAS LIBRES DE APARCAMIENTOS

En la Tabla 28 puede apreciarse como la utilización de las redes móviles tales como GSM o UMTS o redes básicas de comunicación son empleadas para alcanzar la prestación de dichos servicios, principalmente debido a la madurez de las mismas. Por otra parte, tecnologías que facilitan el acceso a Internet móvil tales como HSPA y GPRS son ampliamente utilizadas por los dispositivos de usuario ya que ofrecen un canal altamente adecuada para alcanzar la prestación y el consumo de de servicios.

Luego de analizado lo referente a los servicios ITS, a continuación presentamos la taxonomía de los mismo, basada en las catalogaciones realizadas previamente.

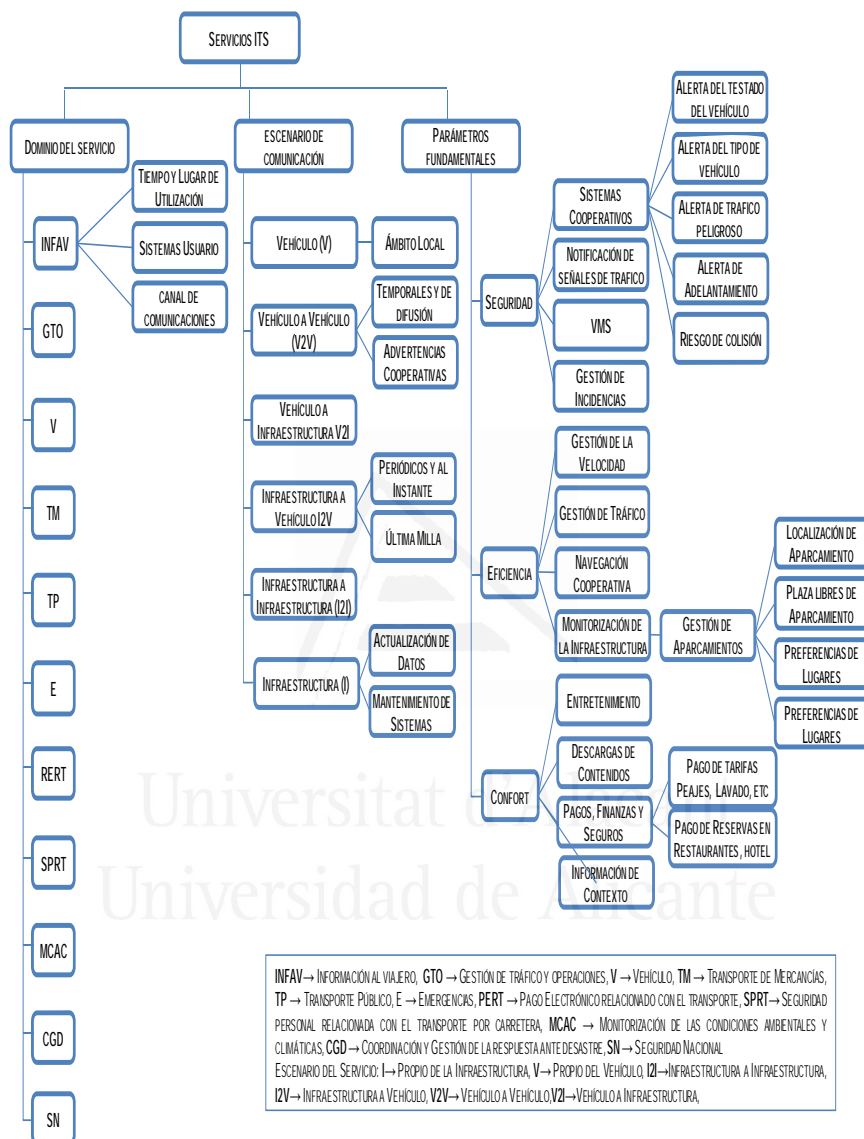
La taxonomía expone tres principales vertientes donde los servicios ITS pueden ser catalogados. La primera, según el dominio del servicio; la segunda, según el escenario de comunicación; y la tercera, según los parámetros ITS fundamentales (Ver Figura 46). Del mismo modo, las vertientes principales son subdivididas en diferentes dominios, en distintos escenarios de comunicación ITS y en distintos parámetros fundamentales.

Tabla 28. Catalogación de los servicios INFAV según el tiempo y lugar de utilización del servicio

SERVICIOS ITS	PARÁMETROS DE CATALOGACIÓN		TIEMPO Y LUGAR UTILIZACIÓN		SISTEMAS DE USUARIO					CANAL DE COMUNICACIONES						
	CARACTERÍSTICAS		DESDE EL VEHÍCULO—EN EL VIAJE	DESDE EL ORIGEN- - ANTES DEL VIAJE	EN INTERCAMBIOS DE VÍAS	SISTEMAS EN EL VEHÍCULO	PC ESTACIONARIO	PDA	TELÉFONO INTELIGENTE	TELÉFONO MÓVIL (MENSAJES SMS)	TERMINAL DE INFORMACIÓN KIOSCO	SISTEMAS DE MENSAJERÍA VARIABLE	GSM/UMTS CALM 2G CALM 3G	CEN DSRC	WAVE/CALM M5	RDS/DAB/DVB
VISUALIZACIÓN 2D/3D, SELECCIÓN DE POI	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PLANIFICACIÓN DE RUTA ESTÁTICA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PLANEACIÓN DE RUTA DINÁMICA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
INFORMACIÓN DE TRÁFICO DINÁMICA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
DETECCIÓN DE PEAJES	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
PRONOSTICO DEL CLIMA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
DESCUBRIMIENTO DE TELÉF. EN LA VÍA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
ADVERTENCIAS POR VMS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
INFORMACIÓN CULTURAL Y DE ENTRETENIMIENTO	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
HORARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
GUÍAS DE RUTA PARA PEATONES Y CICLISTAS	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
INTEGRACIÓN DE TRANSPORTE MULTIMODAL	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
SERVICIOS DE ÚLTIMA MILLA : DESCUBRIMIENTO DE PLAZAS LIBRES DE APARCAMIENTOS Y SU RESERVA	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Por ejemplo, si tomamos de base la vertiente del escenario de comunicación, en los anteriores análisis fue expuesto que la mayoría de servicios de dicho dominio, enfocados al escenario I2V, proveen información al viajero y si observamos, dicho escenario tiene dos subvertientes. La primera, asociada a la periodicidad del servicio y la segunda, asociada a los servicios de última milla, por tanto, es posible catalogar de forma general los servicios del dominio INFAV a partir de las dos subvertientes mencionadas.

De la subclasificación anterior destacamos que los servicios de última milla, es decir, los servicios ITS demandados por el usuario antes de llegar a su destino, tienen una gran relevancia ya que son servicios prestados al instante de su demanda. Por ejemplo, la localización de lugares de estacionamiento y sus posibles plazas libres encaja dentro de un servicio de dichas características.



INFAV → INFORMACIÓN AL VIAJERO, GTO → GESTIÓN DE TRÁFICO Y OPERACIONES, V → VEHÍCULO, TM → TRANSPORTE DE MERCANCIAS, TP → TRANSPORTE PÚBLICO, E → EMERGENCIAS, RERT → PAGO ELECTRÓNICO RELACIONADO CON EL TRANSPORTE, SPRT → SEGURIDAD PERSONAL RELACIONADA CON EL TRANSPORTE POR CARRETERA, MCAC → MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES Y CLIMÁTICAS, CGD → COORDINACIÓN Y GESTIÓN DE LA RESPUESTA ANTE DESASTRE, SN → SEGURIDAD NACIONAL
 ESCENARIO DEL SERVICIO: I → PROPIO DE LA INFRAESTRUCTURA, V → PROPIO DEL VEHÍCULO, I2I → INFRAESTRUCTURA A INFRAESTRUCTURA, I2V → INFRAESTRUCTURA A VEHÍCULO, V2V → VEHÍCULO A VEHÍCULO, V2I → VEHÍCULO A INFRAESTRUCTURA,

Figura 46. Taxonomía de los Servicios ITS

En resumen, la taxonomía resultante y general de los servicios ITS de valor agregado puede ser empleada por un proveedor servicios, una entidad pública, o una entidad privada, para clasificar los servicios que ofrecerá.

Catálogo general de tecnologías y servicios ITS

Este apartado, asociado con el último paso de nuestra metodología general (ver Figura 47), incluye los principales análisis que nos llevan a la construcción de un catálogo general de las tecnologías y servicios ITS (ver Tabla 29). Para su elaboración, hemos tomado de referencia los parámetros fundamentales (PF) de los ITS, es decir, la seguridad, la eficiencia y el confort dado que son estos, el fin principal de los ITS.

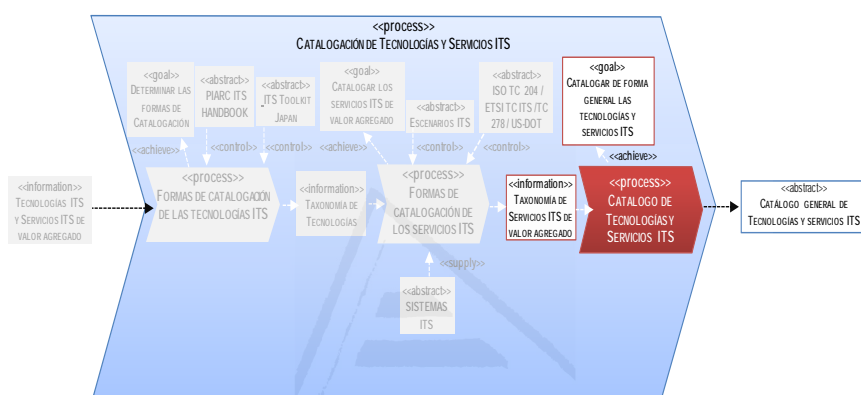


Figura 47. Catálogo general de las tecnologías y servicios ITS

Además, recoge las tecnologías afines a cada servicio ITS pero de forma específica para su sustentación. Del mismo modo, recoge el ámbito de prestación de los servicios ITS, las tecnologías de comunicación empleadas para cada servicio y los sistemas ITS relacionados con la prestación del servicio.

Con el fin de determinar específicamente cuáles son las tecnologías que sustentan un servicio ITS, hemos planteado cinco subconjuntos tecnológicos conceptuales denotados de la siguiente forma:

- Tecnologías de Apoyo (▼),
- Tecnologías Fundamentales (■)
- Tecnologías Empleadas Regularmente (●)
- Tecnologías Alternativas (▶)
- Tecnologías de Nueva Generación (◆)

Tabla 29. Catálogo general de tecnologías y servicios ITS

CATÁLOGO GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO			TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN												SISTEMAS EMPLEADOS								
PF	SERVICIO ITS DE VALOR AGREGADO	ÁMBITO DEL SERVICIO		CALMIR	CEN DSRC /RFID	ZIGBEE	WAVE/ CALM M5	RDS/DAB	DVB-T DVB-H	WI-FI a/b/g/n	WIMAX. LTE	GSM/GPRS	UMTS/HSPA	SN (OBU)	SU	SA	SAPPS	S. CCTV	SC**	SH	RSU		
		PRIMARIO	SECUNDARIO																				
SEGURIDAD	ADVERTENCIAS POR VMS	I 2 V	I2I																				
	ADVERTENCIA DE ZONA DE TRABAJO		V2V																				
	ADVERTENCIA DE PUENTE BAJO		V2I,V2V																				
	ADVERTENCIAS DE MAYDAY PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO		V2V,I2I																				
	MONITORIZACIÓN DE PEATONES		V2V																				
	MONITORIZACIÓN DE MEDIOS DE TRANSPORTE ESPECIALIZADOS (CARTS, SILLAS DE RUEDAS)		V2V, I2I																				
	MONITORIZACIÓN DE AVALANCHAS, DESLIZAMIENTO DE LODO, ROCAS.		V2V, V2I, I2I																				
	MONITORIZACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA MAREAS (NIVEL DEL AGUA)		I2I																				
	MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO PARA LA SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL		I2I																				
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS NO MOTORIZADOS		V2V,V																				
	DETECCIÓN DE LA INTENSIDAD DE NIEBLA		I2I,V2V,V2I,																				
	DETECCIÓN DE NIEVE		I2I,V2V,V2I,																				
	DETECCIÓN DE HIELO		I2I ,V2V,V2I																				
	VELOCIDAD DEL VIENTO		I2I, V2V,V2I,																				
	DETECCIÓN DE LLUVIAS Y CALOR		I2I, V2I																				
	DETECCIÓN DE CRUCE DE FRONTERAS		I2I, I2V																				
	CARRIL PROHIBIDO		V2V																				
	RASTREO DE VEHÍCULO ROBADO		I2I																				
	DESCUBRIMIENTO DE TELÉF. EN LA VÍA		V2V, V2I																				
	PRIORIDAD DE VEHÍCULO DE EMERGENCIA		V2I,I2V,I2I																				
	PRIORIDAD DE DE TRÁNSITO		V2I, I2V																				
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO AVERIADO Y ESTACIONADO SOBRE LA VÍA		I2V																				
	ADVERTENCIA COOPERATIVA DE COLISIÓN		V2I, I2V																				
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO VOLCADO		V2I, I2V																				
	ADVERTENCIA DE VEHÍCULO APROX.		V2I, I2V																				
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN CON SISTEMAS FÉRREOS		V2I, I2V, I2I																				
	PREVENCIÓN Y ADVERTENCIA DE COLISIÓN EN UNA INTERSECCIÓN		I2V, V2I																				
	NOTIFICACIÓN DE COLISIÓN AUTOMÁTICA		V2I, I2V,I2I																				
	DETECCIÓN DE VEHÍCULOS ESPECIALES (TRACTOR, GRÚA, CAMIÓN DE BOMBEROS, ETC)		V2I, I2V																				
	PESO EN MOVIMIENTO		V2I, I2V																				
	COMPARTICIÓN DE DATOS - MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA		V2I, I2V																				

TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS: ■ → FUNDAMENTAL, ● → UTILIZADA, ▼ → APOYO, ▶ → ALTERNATIVA, ◆ → NUEVO ESQUEMA TECNOLÓGICO, SN → SISTEMAS DE NAVEGACIÓN, SU → SISTEMAS DE USUARIO, SA → SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO, SAPP → SERVIDORES DE APLICACIONES, SH → SISTEMAS HEREDADOS, SC → SISTEMAS CORPORATIVOS, * → TECNOLOGÍA EN EXPANSIÓN, ** → NUEVA PROPUESTA ITS

CATALOGO GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO			TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN										SISTEMAS EMPLEADOS								
			CALM IR	CEN D SRC /RFID	ZIGBEE	WAVE/ CALM M5	RDS/DAB	DVB-T DVB-H	Wi-Fi/b/g/n	WIMAX. LTE	GSM/GPRS	UMTS/HSPA	SN (OBU)	SU	SA	SAPP's	S. CCTV	SC**	SH	RSU	
PF	SERVICIO ITS DE VALOR AGREGADO	ÁMBITO DEL SERVICIO																			
		PRIMARIO	SECUNDARIO																		
SEGURIDAD	NOTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO PARA DISCAPACITADOS	V 2 I	V2V, I2V	▶	▼	◆		▶	▼	▼	■	▶	●	●	▶	▼	■	■			
	LLAMADA DE SOCORRO INICIADA POR EL USUARIO SOS (INICIATIVA E-CALL)		I2I, I2V, I2V					◆	■	■	▼	▶	●	●	●	●	▼				
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIA POR TERCERAS PARTES		I2V, I2I							●	●	■	▶	●	■	●	▼				
	ADVERTENCIA DE VEHICULO ROBADO		I2V, I2I, V2V	▶	▼	◆	▶			■	■	■	▶	●	●	●	●	▼	■		
	ADVERTENCIAS DE VISUALIZACIÓN POR SEÑALES DE ALERTA	V	V2V, V2I, I2V	▶	▼	◆				▼	▼	●	●	●	●		▼	■			
	PREVENCIÓN DE COLISIÓN LONGITUDINAL Y LATERAL		V2V, V2I, I2V	●	▶	◆				▼	▼	■	●	●	▼	▶	▼				
	VERIFICACIÓN DE CINTURÓN DE SEGURIDAD ABROCHADO		NA*		●								●	▼	●						
	CONTROL DE VELOCIDAD DE CRUCERO		I2V, V2V	▶	▶	◆						■	▼	▼	▼						
	MANTENIMIENTO EN EL CARRIL	V2V, V2I, I2V	●	●	◆						●	▼	▼								
	MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS DE INTERNOS DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO	V2I, I2I	●	■	◆					▼	▼	■	▶	●	●	●	▼				
	NOTIFICACIÓN DE EMERGENCIAS A LAS PRINCIPALES AGENCIAS	I2I	I2V, V2V			◆				■	■	▶	●	●	●	●	▼	■			
	MONITORIZACIÓN SISMICA	I	I2I, I2V		●	◆				▼	▼	●	▶	●	●		▼	■			
	MONITORIZACIÓN DE VEHÍCULOS CON PELIGRO DE EXPLOSIÓN		I2V, V2I		▼	◆				▼	▼	■	▶	●	●	●	▼	■			
	MONITORIZACIÓN DE EXPLOSIONES		I2I, I2V, V2I, V2V		●	◆				▼	▼	■	■	●	●	●	▶	▼	■		
IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS SOSPECHOSOS	I2I, I2V								▼	▼	■	▶	●	●	●	●	▼	■			
EFICIENCIA	MENSAJERÍA VARIABLE EN LAS AUTOPISTA Y AUTOVIAS	I 2 V	V2V						◆	■	■		●	●			▼	■			
	ORIENTACION A LA CIUDADANIA EN LA CONDUCCION (VMS, DIFUSION DE BOLETINES INFORMATIVOS, RDS).		V2V		▼	◆	■	●	◆	■	■	■	■	●	●			▼	■		
	VELOCIDAD MEDIA		V2V	▶	▼	◆				▼	▼	■	▶	●	●	●	▼	■			
	CONTROL DE VELOCIDAD		V2V	▶	▶	◆				▼	▼	■	▶	●	●	●	▼	■			
	VIGILANCIA DEL TRANSPORTE PUBLICO		I2I		●	◆				■	■	▼	▶	●	●	●	●	■			
	IDENTIFICACIÓN DE FRONTERAS		I2I	▶		◆	●			▼	▼	■	▶	●	●	●	▼	■			
	FACILIDADES INTERMODALES		I2I	▶	▼	◆				●	●	▶	●	●	●	▼	■				
	RASTREO DE FLOTAS DE VEHICULOS COMERCIALES		I2I, V2I	▶		◆				●	●	■	▶	●	●	▼	▼	■			
	RASTREO DE CONTENEDORES DE MERCANCIAS		I2I		▼					●	●	■	▶	●	●	▼	▶	▼			

TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS: ■ → FUNDAMENTAL, ● → UTILIZADA, ▼ → APOYO, ▶ → ALTERNATIVA, ◆ → NUEVO ESQUEMA TECNOLÓGICO, SN → SISTEMAS DE NAVEGACIÓN, SU → SISTEMAS DE USUARIO, SA → SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO, SAPP → SERVIDORES DE APLICACIONES, SH → SISTEMAS HEREDADOS, SC → SISTEMAS CORPORATIVOS, * → TECNOLOGÍA EN EXPANSIÓN, ** → NUEVA PROPUESTA ITS

CATÁLOGO GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO				TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN										SISTEMAS EMPLEADOS								
PF	SERVICIO ITS DE VALOR AGREGADO	ÁMBITO DEL SERVICIO		CALMIR	CEN DSRC/RFD	ZIGBEE	WAVE/ CALM M5	RDS/DAB	DVB-T DVB-H	Wi-Fi a/b/g/n	WIMAX, LTE	GSM/GPRS	UMTS/HSPA	SN (OBU)	SU	SA	SAPPs	S. CCTV	SC**	SH	RSU	
		PRIMARIO	SECUNDARIO																			
EFICIECIA	CHEQUEO RÁPIDO DE CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO COMERCIAL	I 2 V	V2I	■	▼							▼	▼	▶	▶	●	●	●	▼	▼		
	ACCESO REMOTO A LOS DATOS DE SEGURIDAD DEL VEHÍCULO COMERCIAL		I2I	●									▼	▼	▶	▶	●	●	●	▼	▼	■
	LLENADO AUTOMÁTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO A PARTIR DE SUS CREDENCIALES		V2I, V2V	▶	■	◆							▼	▼	▶	▶	●	●		▶	▼	■
	SUPERVISIÓN Y MONITORIZACIÓN EN TIEMPO REAL DEL ESTADO DE LA CIRCULACIÓN Y TRÁFICO IU (CCTV)	I 2 I 1 2 I I	I2V, V2I		●	◆				◆	▼	▼	▶	▶	▶	●	●	▼		▼	▼	■
	INTERCONEXIÓN CON OTROS CENTROS DE GESTIÓN DE TRÁFICO URBANOS O TRANSEUROPEO.		I	▶						▶	◆	■	■			■	■	■		■	▼	
	GESTIÓN DE DESASTRES: TERREMOTOS, DERRUMBES, INUNDACIONES, GUERRA		V2I, V2V, V2I	▶	▶	▶	◆	▼	▼	▶	◆	■	■	▶	▶	●	●	●	▼	●	▼	■
	RECOPIACIÓN DE DATOS PERTENECIENTES A EMERGENCIAS Y DESASTRES		I2V			▼	◆						▼	▼	▶	▶	●	●		▶	▼	■
	COMPARTICIÓN DE DATOS DE EMERGENCIAS Y DESASTRES		I2V	▶		▼	◆				■	◆	■	■	▶	▶	●	●		▶	▼	■
	PLANEACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES		I2V				◆			■	◆	■	■	▶	▶	▶	●	●		▶	▼	▼
	COORDINACIÓN DE RESPUESTA ANTE DESASTRES		I2V, V2V				◆			■	◆	■	■	▶	▶	▶	●	●		●	▼	▼
	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS Y DE CONTAMINACIÓN (CALIDAD DEL AIRE)		I2I, I2V				■	◆					◆	▼	▼	▶	▶	●	●	▶	▼	■
	DETECCIÓN Y PRONTA RESPUESTA A LOS INCIDENTES DE TRÁFICO EN LAS VIAS (CCTV)		I2I, I2V, V2V					▶						▼	▼	▶	▶	●	●	▼	▼	■
	ORDENACIÓN Y REGULACIÓN DEL TRÁFICO BASADOS EN LA CELEBRACIÓN DE PRUEBAS DEPORTIVAS, FERIAS, SEMANA SANTA, OPERACIONES DE SALIDAS Y ENTRADAS DE LOS PERÍODOS VACACIONALES		I2I, I2V, V2V			●	▼	◆	■	■	▼	▼	■	■	●	●	●	●	▼	▶	▼	●
	ALMACENAMIENTO DE DATOS	I2I, I2V			▼	▼	▼	◆	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	■	■	▼	●	▼	▼	
	MONITORIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA CARGA DEL VEHÍCULO COMERCIALES	V 2 V	V2I, I2I	▶	▶	■	◆			▶	▶	▶	▶	■	■	●	●		▶	▼	▶	
	ALINEAMIENTO DE VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE PÚBLICO		I2V	■	■	◆						▼	▼	▶	▶	▼	▼				▼	
	COORDINACIÓN DE FLOTAS CON MOVIMIENTO DE CARGA PELIGROSA	V2I, I2V, I2I			●	●	◆						●	●	▶	▶	●	▼		●	▼	

TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS: ■→ FUNDAMENTAL, ●→ UTILIZADA, ▼→APOYO, ▶→ ALTERNATIVA, ◆→ NUEVO ESQUEMA TECNOLÓGICO, SN→SISTEMAS DE NAVEGACIÓN, SU→SISTEMAS DE USUARIO, SA→ SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO, SAPP→ SERVIDORES DE APLICACIONES, SH→ SISTEMAS HEREDADOS, SC→ SISTEMAS CORPORATIVOS, *→TECNOLOGÍA EN EXPANSIÓN, **→ NUEVA PROPUESTA ITS

CATÁLOGO GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS Y SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO			TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN										SISTEMAS EMPLEADOS									
PF	SERVICIO ITS DE VALOR AGREGADO	ÁMBITO DEL SERVICIO		CALM IR	CEN DSRC /RFID	ZIGBEE	WAVE/ CALM M5	RDS/DAB	DVB-T DVB-H	Wi-Fi a/b/g/n	MIMAX, LTE	GSM/GPRS	UMTS/HSPA	SU (OBU)	SA	SAPPS	S. CCTV	SC**	SH	RSU		
		PRIMARIO	SECUNDARIO																			
EFICIECIA	VEHÍCULOS COMO SONDAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA	V 2 1	I2I	▼		▼	◆		▶	◆	▼	▼	▶	▶	■	■	▶	▶	▼	■		
	INTERCAMBIO DE INFORMACION DE LLEGADA TANTO DE CONTENEDORES COMO DE VEHÍCULOS		I2I, I2V	●	●							▼	▼	▶	▶	●	●	▶	▶	▼	■	
	REGISTRO DE DATOS DE MERCANCIAS PELIGROSAS		I2I, I2V		■							▼	▼	●	■	■	■	▶	▶	▶	▼	■
CONFORT	PLANEACIÓN DE RUTA ESTÁTICA	I 2 V	V2V						▼	◆	▼	▼	■	■	■	■	▶	▶	▶	▶		
	PLANEACIÓN DE RUTA DINAMICA		V2V	●	▼	◆	■	▼		◆	■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■	
	SERVICIOS DE ULTIMA MILLA : DESCUBRIMIENTO DE PLAZAS LIBRES DE APARCAMIENTOS		V2V, V2I	▶	▼	◆				◆	■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■	
	INFORMACIÓN DE TRÁFICO DINAMICA (CLIMA, BLOQUEO DE CARRETERAS, ESTADO DE LOS PUENTES, SITIOS DE PARKING, TRABAJOS EN LAS VÍAS, TIEMPO DE VIAJE, LIMITE DE VELOCIDAD, VELOCIDAD VARIABLE)		V2V,V2I	▼		▼	◆	●		▶	◆	■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■
	INFORMACIÓN CULTURAL Y DE ENTRETENIMIENTO (CINES, PELÍCULAS, TEATROS, VIDEO CLIPS, AVISOS PARTICULARES)		V2V		▼		◆	●		▶	◆	●	●	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▶	▼
	PRONOSTICO DEL CLIMA		V2V			▼	◆	●		▶	◆	▼	▼	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▶	▼
	INTEGRACIÓN DE TRASPORTE MULTIMODAL		I2I	▼			◆			▶	◆	▼	▼	▶	▶	■	■	▶	▶	▶	▶	■
	VISUALIZACIÓN 2D/3D, SELECCIÓN DE POI		V2V				◆					●	●	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▶	■
	HORARIOS DEL TRANSPORTE PÚBLICO		NA*				◆				▶	▼	▼	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▶	▼
	DETECCIÓN DE PEAJES		V2V	▼	■	▼	◆				◆	▼	▼	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▶	■
	GUIAS DE RUTA PARA PEATONES Y CICLISTAS		V2V			▼					◆	▼	▼	▶	▶	●	●				▶	▼
	PAGO ELECTRÓNICO DE PEAJES		V2I,I2I	▼	■		◆					■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■
	PAGO DE TARIFAS DE TRANSITO		I2V, I2I	▼	■		◆					■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■
	PAGO DE APARCAMIENTOS ELECTRÓNICO		V2I,I2I	▼	■		◆					■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■
	PAGO DE SERVICIOS ELECTRÓNICOS		V2I,I2I	▼	■		◆					■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	■
OTROS	OPERACIÓN DE APARCAMIENTO AUTOMÁTICO	V	NA*	▼	●								▶	▶	●	●						
	TEMPERATURA DEL MOTOR		NA*		●									▶	▶	●	●	▶	▶			
	COMPARTICIÓN DINAMICA DE VEHÍCULOS (TAXIS, BUSES, VANS)		I2V				▼		▶	◆				▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▼	
	INMOVILIZACIÓN REMOTA DE VEHICULO		I2V	I2I		●	◆					■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▼	
SISTEMA COOPERATIVO DE VEHÍCULOS (PLATOONING)	V2V	V2I, I2V	■	●	◆					■	■	■	▶	▶	●	●	▶	▶	▶	▼		

TECNOLOGÍAS Y SISTEMAS: ■ → FUNDAMENTAL, ● → UTILIZADA, ▼ → APOYO, ▶ → ALTERNATIVA, ◆ → NUEVO ESQUEMA TECNOLÓGICO, SN → SISTEMAS DE NAVEGACION, SU → SISTEMAS DE USUARIO, SA → SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO, SAPP → SERVIDORES DE APLICACIONES, SH → SISTEMAS HEREDADOS, SC → SISTEMAS CORPORATIVOS, * → TECNOLOGIA EN EXPANSIÓN, ** → NUEVA PROPUESTA ITS, NA** → NO APLICA

Los subconjuntos propuestos, engloban diversas tecnologías ITS empleadas en el contexto general de los servicios ITS y para comprender que hace cada subconjunto tecnológico conceptual miremos sus definiciones.

Tecnologías de apoyo: Empleadas de forma indirecta para sustentar la prestación del servicio ITS.

Tecnologías Fundamentales: Sin ellas, el servicio ITS no podría ser prestado.

Tecnologías Alternativas: Empleadas de forma paralela para alcanzar la prestación adecuada de servicios y ayudan a suplir las deficiencias de los canales de comunicación.

Tecnologías Empleadas Regularmente: Utilizadas de forma general para la prestación del servicio. Se relacionan con tecnologías maduras que sustentan el servicio.

Tecnologías de Nueva Generación: Son nuevas propuestas tecnológicas enfocadas al cooperativismo vehicular y pretenden mejorar el MTPSITS actual.

Lo anterior, hace del catálogo general un instrumento completo para analizar qué tipo de sistemas y tecnologías ITS pueden ser utilizados para el ofrecimiento de servicios ITS de forma específica o generalizada.

De lo expuesto, el catálogo general de las tecnologías y servicios ITS, destaca que la unidad de carretera o RSU es un elemento fundamental para la creación y generación de servicios dado que permite la integración, la expansión, la interoperabilidad y la compatibilidad entre las tecnologías y los mismos servicios. Asimismo, expone que las redes de telefonía móvil son y serán indiscutiblemente fundamentales para la consolidación del escenario de servicios ITS, dado que en su mayoría, apoyan a los sistemas más importantes para la prestación, la generación y el despliegue de servicios.

Del mismo modo, los sistemas de navegación, fundamentales para la ubicación a lo largo de la infraestructura, se perfilan como un elemento imprescindible para la generación de servicios y muchos de ellos están siendo embebidos en la unidad de abordaje OBU, consiguiendo así, un elemento que promueve la convergencia de servicios.

Por último, de la gran variedad de tecnologías orientadas a la monitorización de fenómenos, destacamos a las WSN debido a su alta capacidad para recolectar datos desde el entorno y a su facilidad para desplegarlas por la infraestructura de transporte.

Conclusiones

En este capítulo se han presentado la fases de identificación y catalogación de tecnologías y servicios ITS, ambas, resultan fundamentales para el desarrollo coherente de la investigación.

Del mismo modo, el capítulo expuesto presentó diversas formas de catalogación tanto de tecnologías como de servicios ITS, por tanto, ha dado lugar a la creación de las taxonomías respectivas de tecnologías y servicios ITS las cuales, ayudan a los fabricantes de tecnologías establecer cuáles tecnologías ITS deben emplearse para cada servicio.

Igualmente, se han discutido y analizado las nuevas formas de prestación de los servicios ITS y como éstas impactan al MTPSITS por lo que se ha visto que los nuevos escenarios de comunicación vehicular son los que pretenden más contribuyen a la prestación de los servicios.

En la clasificación de los servicios ITS se emplearon dos parámetros que permiten conocer el ámbito general de un servicio ITS, el primario y el secundario, ambos fundamentales para identificar como un servicio ITS puede ser prestado a lo largo de la infraestructura de transporte.

Del análisis realizado puede constatarse que los servicios ITS emplean tecnologías y dispositivos bastante heterogéneos entre sí, destacando de estos, la utilización del componente RSU tanto para el ámbito de monitorización normal generado en los ITS como en para el ámbito de servicios en las redes vehiculares.

Por último, se ha destacado que los últimos planteamientos industriales y científicos tales como WAVE y las WSN están generando y generarán un cambio sustancial al MTPSITS. Por lo tanto, es imprescindible considerarlos para el planteamiento de nuestro modelo con el fin de alcanzar la heterogeneidad de sistemas, su compatibilidad, su expansión, y su interoperabilidad que lleve a la prestación de servicios de forma adecuada.

Capítulo Quinto

Desacoplamiento Tecnológico y Modelado

El presente capítulo aborda la fase de desacoplamiento tecnológico y modelado, fase tres de la metodología general de nuestra investigación. Su objetivo principal es el de proponer la forma más adecuada para desacoplar las tecnologías ITS y el de proponer un modelo para su integración capaz de acoplarlas de forma débil, adecuada y coherente para que se facilite la prestación de los servicios ITS de valor agregado.

Con el fin de alcanzar el objetivo descrito, los resultados expuestos en el capítulo anterior han sido considerados, en especial, porque allí se obtuvieron las principales funcionalidades de tales tecnologías y, a su vez, los servicios ITS que sustentan.

Siguiendo la metodología de integración planteada (ver Figura 48), la fase de desacoplamiento y Modelado está compuesta por cuatro pasos fundamentales: El primero asociado a la propuesta de desacoplamiento de las tecnologías ITS; el segundo enfocado a la creación de la capa de servicios; el tercero centrado en la creación de la capa de comunicaciones y el cuarto centrado en el planteamiento general de nuestro modelo que empleará como paradigma de integración tecnológica, las tecnologías orientadas a servicios.

Centrándonos en el primer paso de la metodología (ver Figura 48), el desacoplamiento tecnológico es propuesto con el objetivo

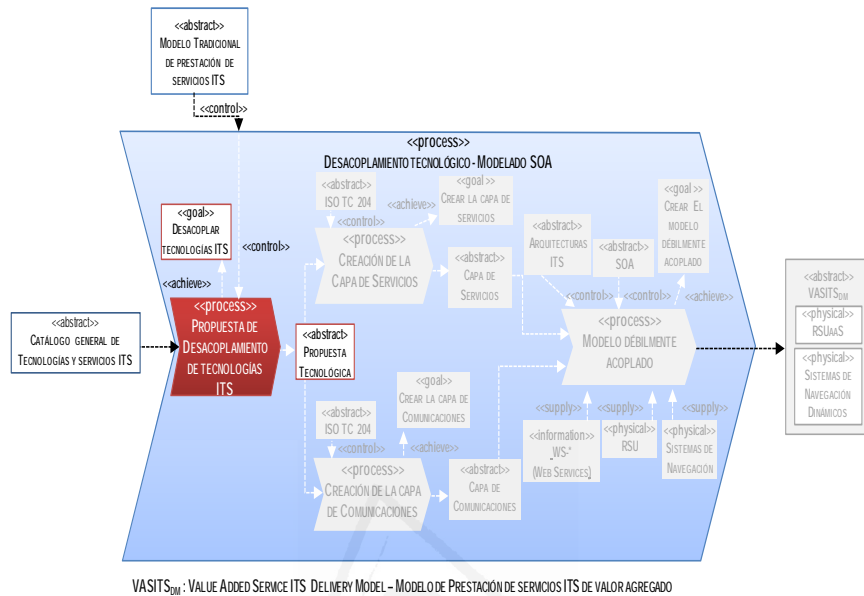


Figura 48. Desacoplamiento tecnológico

de establecer los principales subconjuntos tecnológicos ITS que tengan funcionalidades afines a la hora de apoyar a los servicios ITS. Dentro de tales funcionalidades, las tecnologías ITS se destacan por estar orientadas a: la monitorización y control, al procesamiento de la información, a los usuarios, y a las comunicaciones dentro y fuera de la infraestructura ITS.

Tomando de referencia lo anterior nuestra propuesta de desacoplamiento tecnológico está basada como tal, en dos capas fundamentales, la capa de servicios y la capa de comunicaciones. Ambas capas contienen niveles tecnológicos, los cuales representan los subconjuntos tecnológicos ITS mencionados anteriormente.

A partir de tal propuesta, las tecnologías ITS adquieren un orden característico que contribuirá a la prestación de servicios de forma general sobre la infraestructura de transporte.

Concretando, la capa de servicios encapsulará tres niveles específicos, el nivel de monitorización, el nivel de negocio y el nivel del usuario. De la misma forma, los niveles ofrecerán una gama de servicios empleados para desacoplar de forma débil las tecnologías involucradas.

La capa de comunicaciones, encapsulará un solo nivel, el nivel transversal de comunicaciones que tiene por objetivo apoyar de forma transversal a los niveles suscritos en la capa de servicios.

De forma general, las capas y los niveles mencionados componen nuestra propuesta de desacoplamiento tecnológico (ver Figura 49), base, para desarrollar adecuadamente nuestro modelo.

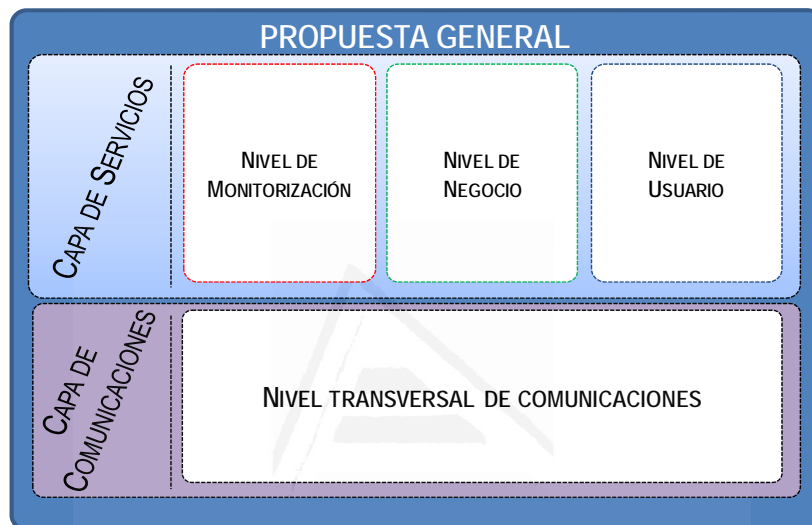


Figura 49. Propuesta de desacoplamiento de las tecnologías ITS

A continuación expondremos de forma conceptual, los componentes tecnológicos ITS asociados a cada capa, con el fin de analizar cuáles son y, a su vez para analizar los servicios que pueden generarse.

Capa de Servicios

Para desarrollar el segundo paso de la metodología, (ver Figura 50), hemos empleado las principales propuestas de estandarización referidas a los niveles mencionados para distribuir adecuadamente las tecnologías ITS.

Para comprender y aclarar más a fondo cuáles serán las tecnologías y los servicios que deberán ser encapsulados, a continuación describimos las principales funcionalidades que cumple cada nivel a lo largo de la capa de servicios.

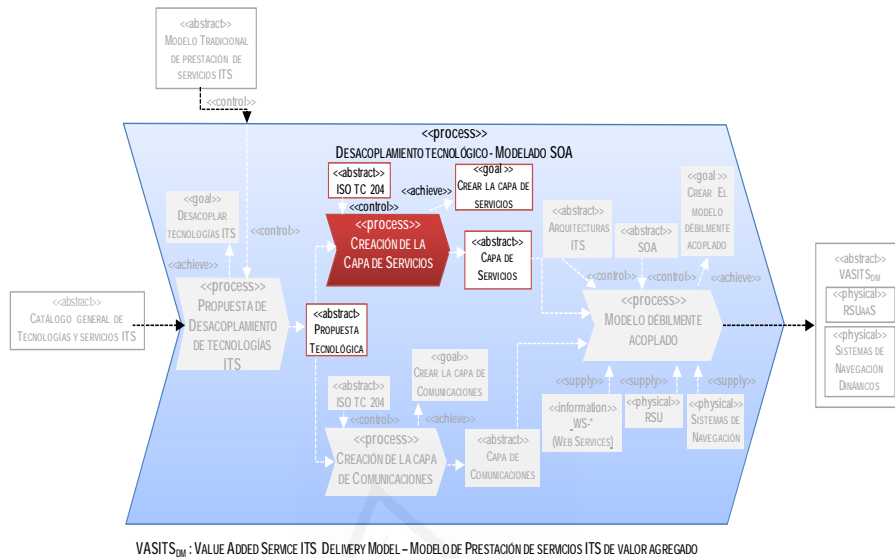


Figura 50. Planteamiento de la capa de servicios

Nivel de Monitorización

Luego de identificar y catalogar las tecnologías ITS en el capítulo anterior pudo constatar que gran parte de ellas está focalizada a la monitorización o vigilancia de la infraestructura de transporte. Por este motivo, hemos elaborado un nivel afin a dichas tecnologías, donde pueden ser agrupadas y concentradas permitiendo así, su organización coherente para que contribuya al despliegue y a la prestación de servicios.

En este sentido, este nivel incluye tecnologías tales como: las redes de cámaras o circuito cerrado de televisión-CCTV, las redes de sensores (WSNs), las redes vehiculares VANETs consideradas como redes móviles de sensores inalámbricos, sistemas DSRC/RFID, y los sistemas basados en CALM IR. Las dos últimas empleadas regularmente en sistemas de peaje electrónico.

Actualmente, las tecnologías mencionadas operan de forma ad-hoc y presentan grandes bondades para ser integradas pero es preciso aplicar los estándares y modelos adecuados para lograrlo.

Por otra parte, en el capítulo anterior se expuso que la unidad de carretera o RSU es uno de los principales componentes de los

sistemas de monitorización y del nuevo enfoque de redes vehiculares (VANET). Paralelamente, la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO) expone la importancia de la RSU, planteando que la mayoría de sistemas de monitorización emplean este tipo de dispositivos para lograr una mejor gestión de los sucesos ocurridos en la infraestructura (AASHTO *et al.*, 2009).

Del mismo modo, (Lee, 2008) expone que la RSU está siendo objeto de estudio en grandes proyectos de investigación relacionados con los ITS y esto se debe a su importancia en todo el espectro de la gestión de tráfico.

Por lo tanto, en aras de desacoplar de forma coherente las tecnologías presentadas en este nivel, es de suma importancia destacar que la RSU se convierte en uno de los componentes transversales que nos ayudaran a la integración, la expandibilidad, la interoperabilidad y la compatibilidad entre gran cantidad de sistemas tecnológicos ITS y más, si éstas incorporan los nuevos paradigmas de TI orientados a servicios.

Nivel de Negocio

Su objetivo fundamental es el de albergar los sistemas ITS más adecuados que propicien la creación y generación de servicios ITS de valor agregado, por ello, hemos considerado a los sistemas capaces de procesar y almacenar la información extraída desde la infraestructura de transporte.

Al igual que el nivel de monitorización, el nivel de negocio concentra distintos sistemas tecnológicos que ayudan a controlar, administrar, y supervisar una amplia variedad de parámetros relacionados no sólo con el transporte sino también con los mismos elementos tecnológicos ITS. Por este motivo, este nivel tiene una alta relación con los sistemas tecnológicos presentes en las centrales de información de tráfico debido a que desde estas, no sólo se controla el flujo de vehículos producidos en las carreteras, o los componentes tecnológicos que ayudan a identificar dicho flujo, sino también, la información que se generará para los usuarios ITS (centros de emergencia, la policía, peatones, viajeros, etc).

En este sentido, incluiremos las tecnologías ITS comúnmente presentes en tales centrales junto con otras que permitan la

incorporación de paradigmas de TI avanzados para alcanzar la generación y prestación de servicios.

De esta forma nuestra propuesta incluye a, los sistemas de almacenamiento normalmente asociados a servidores de bases de datos, a los servidores de aplicaciones (que incluso pueden formar sistemas Grid –Grid Systems) normalmente asociados a los sistemas que albergan las aplicaciones que gestionan la infraestructura de transporte, y a los sistemas heredados asociados a sistemas ITS antiguos que ofrecen funcionalidades de monitorización o gestión de la infraestructura.

Del mismo modo que destacamos a las centrales de información de tráfico, es preciso mencionar que los controladores de tráfico cumplen a su vez una labor fundamental debido a que son las personas encargadas de administrar y gestionar en todo momento lo sucedido sobre la infraestructura de transporte.

En conclusión, el nivel de negocio es el repositorio principal de datos al que también le serán aplicados los nuevos paradigmas TI para que sea posible la generación adecuada de servicios ITS de valor agregado.

Nivel de Usuario

Su objetivo primordial es el de recoger las tecnologías ITS más representativas relacionadas con el usuario para que de cara a nuestro modelo sea posible el consumo de los servicios.

Las tecnologías ITS orientadas al usuario son muy variadas, por ello, nuestra propuesta las divide en tres categorías. La primera, relacionada con las tecnologías de usuario final tales como: los teléfonos inteligentes, ordenadores portátiles, dispositivos de navegación personal (PND), netbooks, y los asistentes personales digitales o PDA.

La segunda, relacionada con los sistemas corporativos debido a su importancia futura en el despliegue de servicios. De los sistemas corporativos incluimos entonces, a los sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) y a los sistemas CRM (Customer Relationship Management) dado que ocupan una posición privilegiada en el espectro ITS ya que permitirán analizar las preferencias de cada viajero lo cual, será muy útil para conformar un portafolio de servicios adecuado para cada usuario ITS (IBM, 2009).

La tercera, constituida por los dispositivos que despliegan información visual de forma dinámica sobre la infraestructura de transporte, es decir, por los sistemas de mensajería variable (VMS). Aunque dichos sistemas son altamente cuestionados por el plan de negocios de los ITS dados sus costos elevados (ISO/TC_204, 2008), hemos decidido incluirlos porque representan un apoyo visual bastante importante para los usuarios, en especial, para los que no poseen sistemas de navegación en sus vehículos.

Por último exponemos que los usuarios demandantes de servicios de este nivel serían las entidades que suelen hacer uso de los servicios generados por las centrales de información de tráfico tales como los hospitales, la policía, los centros de emergencia, los centros de asistencia en carretera, el conductor, los viajeros, y los peatones, entre algunos otros.

Capa de Comunicaciones

Siguiendo nuestra metodología (ver Figura 51), es el tercer paso planteado para alcanzar nuestro modelo y sigue uniformemente los lineamientos propuestos por el comité TC 204, en especial, los del WG16.

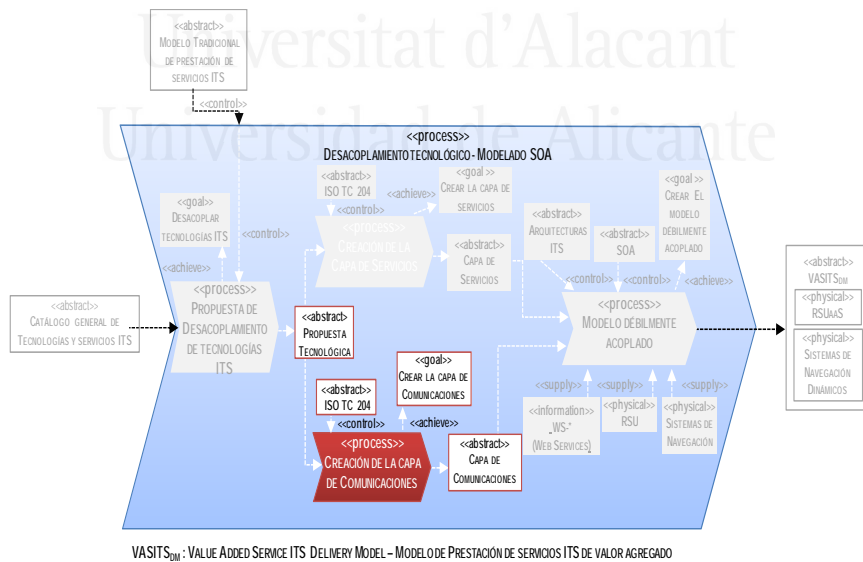


Figura 51. Planteamiento de la capa de comunicaciones

Su objetivo principal es el de apoyar permanentemente a la capa de servicios a través de las tecnologías ITS de comunicaciones involucradas en la generación de servicios.

La capa de comunicaciones, compuesta por un nivel único llamado nivel transversal de comunicaciones, sustenta de forma adecuada los servicios generados en la capa de servicios. Dicho nivel, enfocado a apoyar la funcionalidad ad-hoc de cada sistema tecnológico de comunicación específico, de cara a nuestro modelo ayudará a desacoplar débilmente las tecnologías de comunicaciones y a continuación es descrito.

Nivel Transversal de Comunicaciones

Su objetivo es el de concentrar las tecnologías ITS de comunicaciones más relevantes implicadas en la generación de servicios tanto de forma directa como indirecta. Lo anterior quiere decir que, cuando un servicio es generado debe ser apoyado no sólo por una, dos, o tres tecnologías sino por un subconjunto de ellas y de estas, solo una, apoyará directamente el servicio de cara al usuario dado que las demás lo harán indirectamente.

Como nuestro modelo busca seguir los parámetros de estandarización ITS, es importante destacar las pautas planteadas por la iniciativa CALM y del mismo modo por otras tecnologías ITS que apoyan la prestación de servicios.

En este sentido, este nivel, alberga las tecnologías y protocolos específicos tales como Zigbee, DSRC-RFID/CALM IR, WAVE CALM M5, WiFi, Ethernet, Coaxial, protocolos tales como RS232, RS422, y RS485 (utilizado por los VMS).

De la misma forma, alberga tecnologías de comunicaciones de internetworking tales como routers, switchs, hubs, y hosts. Estas últimas apoyan de manera directa e indirecta la conectividad básica entre las distintas redes de datos que tienen lugar en la infraestructura de transporte y que se ven reflejadas en los niveles de la capa de servicios.

Asimismo, utiliza las redes maduras de telecomunicaciones como por ejemplo la red de telefonía celular y sus tecnologías de transmisión de datos tales como GPRS y HSPA ya que estas, sin lugar a dudas son las que establecen un ambiente propicio de prestación de servicios ITS para el usuario. Además, en este nivel incluimos tecnologías futuras tales como LTE y WiMAX ya que

son soluciones futuras que apoyarán la convergencia y la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Del mismo modo, incluye tecnologías de comunicaciones relacionadas con los sistemas de navegación (GPS-GIS) dado que son sin lugar a dudas otras tecnologías fundamentales que apoyan la generación de servicios ITS.

En conclusión, el nivel transversal de comunicaciones es imprescindible para la prestación, la generación, y el despliegue adecuado de servicios ITS de valor agregado.

Teniendo en cuenta lo expuesto en cada capa, a continuación, presentamos la propuesta general de desacoplamiento tecnológico (ver Figura 52).

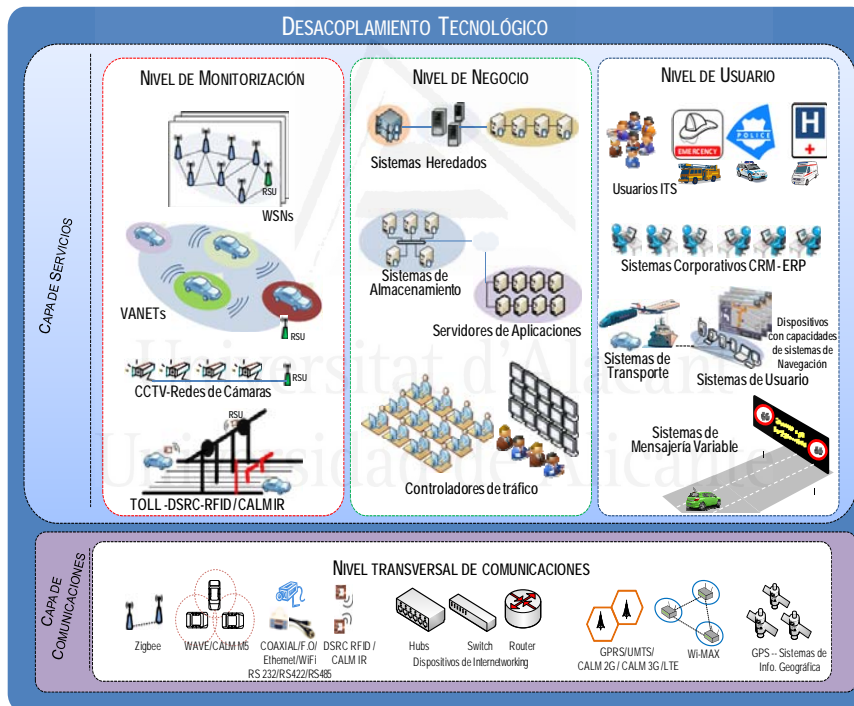


Figura 52. Tecnologías ITS desacopladas por capas y niveles

De lo expuesto anteriormente, es preciso destacar que las tecnologías pertenecientes a los niveles de la capa de servicios tienen apoyo tanto directo como indirecto de la capa de

comunicaciones. Lo anterior, quiere decir que los sistemas empleados por la capa de servicios son apoyados directamente por alguna de las tecnologías ITS de comunicaciones por lo que contribuyen indirectamente a la generación de servicios ITS de valor agregado.

Luego de elaborar nuestra propuesta de desacoplamiento tecnológico, a continuación proponemos el modelo para la prestación de servicios e integración tecnológica, cuarto paso de nuestra metodología general con el fin de alcanzar la prestación de servicios ITS de forma adecuada.

Planteamiento del Modelo VASITS_{DM}

En este apartado plantemos nuestro modelo, último paso de nuestra metodología general (ver Figura 53), el cual hemos llamado VASITS_{DM} que traduce modelo de prestación de servicios ITS de valor agregado (*Value Added Services ITS Delivery Model –VASITS_{DM}*). Su planteamiento sigue las recomendaciones de las arquitecturas ITS más representativas y emplea los nuevos paradigmas de TI que permitirán la convergencia de servicios.

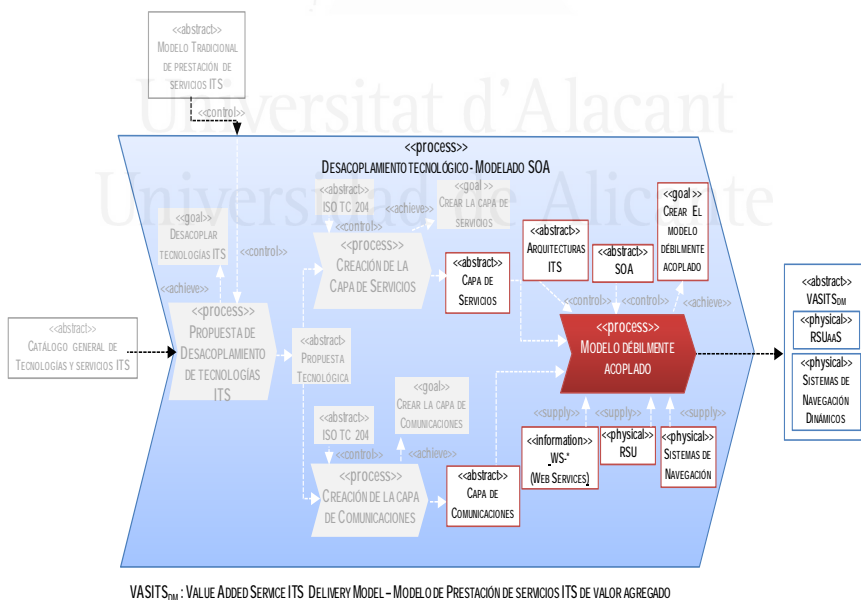


Figura 53. Planteamiento del modelo VASITS_{DM}

Si tomamos como referencia el planteamiento de desacoplamiento tecnológico (ver Figura 52), nuestra propuesta permitirá acoplar de forma débil sus elementos para cada una de las capas ilustradas obteniendo así, un modelo débilmente acoplado que contribuye a la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Para lograrlo, es preciso aplicar paradigmas de TI coherentes que puedan ser aceptados y adaptados por el sector ITS, que permitan de alguna u otra forma la convergencia de servicios ITS de valor agregado y que cumplan con los requisitos de estandarización exigidos por parte de los principales organismos de los ITS.

Por este motivo, nuestra propuesta está controlada directamente por paradigma de TI emergente basado en las Arquitecturas Orientadas a Servicios (SOA) dado que responde de manera coherente y adecuada a las exigencias demandadas por el sector ITS.

El paradigma SOA ha tenido mucho éxito en otros ámbitos tecnológicos y recientemente los organismos de estandarización ITS le prestan una mayor atención, es más, ha comenzado a tener una alta repercusión en el sector ITS en lo concerniente a la interconexión de centrales de tráfico (ISO_24097, 2009).

En nuestra propuesta pretendemos extender el paradigma SOA de forma general al escenario de los ITS tomando como referencia el escenario ilustrado en la Figura 52. Por lo tanto, no sólo buscamos que las centrales de tráfico estén interconectadas, sino que también, buscamos extenderlo a los elementos ITS más representativos para lograr la prestación y el despliegue de servicios de forma adecuada.

Al aplicar de forma precisa el paradigma SOA a nuestra propuesta, podrá disminuirse en gran medida las restricciones causadas por los sistemas ad-hoc, podrá obtenerse la convergencia de servicios y podrá lograrse la especialización de los fabricantes. Del mismo modo, se alcanzaran conceptos como la integración, la escalabilidad, la interoperabilidad y la compatibilidad tanto de los elementos tecnológicos como de los sistemas que conforman el espectro de los ITS.

Como puede apreciarse en la Figura 54, hemos añadido tres elementos que representan de forma conceptual nuestra propuesta, todos asociados al paradigma SOA. Dos de ellos son dos pequeñas nubes que integran los niveles asociados a la

propuesta de desacoplamiento tecnológico y el tercer elemento es un sistema de registro y descubrimiento, encerrado en un recuadro azul ubicado en el nivel transversal de comunicaciones. Las dos pequeñas nubes han sido ubicadas estratégicamente entre los niveles asociados a la prestación de servicios con el fin de integrar las tecnologías ITS de forma adecuada. En este sentido, la aplicación del paradigma SOA nos lleva a integrar de forma débil las capas y por ende los niveles mencionados.

Con el fin implementar adecuadamente el paradigma SOA para nuestra propuesta, la tecnología emergente de los servicios web será utilizada ya que es una de las formas más adecuadas para lograr la integración, la compatibilidad y la interoperabilidad y la expansión coherente de servicios (Papazoglou & Van Den Heuvel, 2007).

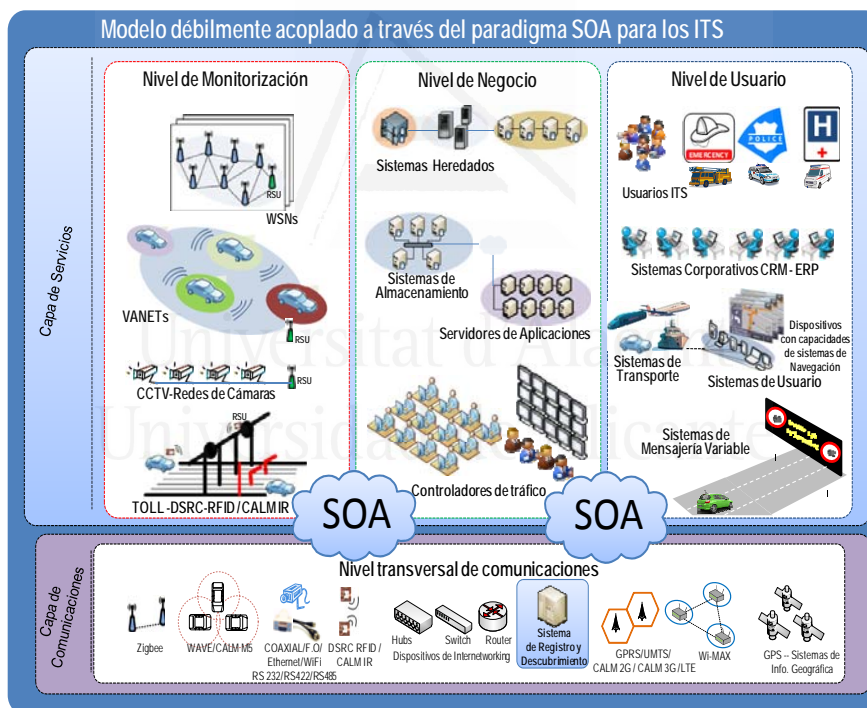


Figura 54. Propuesta del modelo débilmente acoplado a través del paradigma SOA

Teniendo de referencia el escenario de la Figura 54, a continuación presentamos las cuatro interfaces adecuadas que

permiten la interacción coherente de las capas y por ende de los niveles que han sido creados. Dichas interfaces establecen las principales relaciones desde el punto de vista de servicios e involucran los dispositivos tecnológicos ITS más relevantes para conseguirlas.

Primera Interfaz: Nivel de Monitorización y el Nivel de Negocio

Relaciona el nivel de monitorización con el nivel de negocio provocando que sean producidos una serie de servicios desde el nivel de monitorización que serán consumidos posteriormente por el nivel de negocio. Para que su funcionamiento sea el correcto, la interfaz emplea el nivel transversal de comunicaciones ya que apoya de forma indirecta la creación de servicios.

Los servicios producidos en el nivel de monitorización, llamados, *servicios de monitorización y de gestión*, se encargan de recolectar la información que ofrecen los sistemas de monitorización instalados a lo largo de la infraestructura de transporte y a su vez, de gestionar dichos sistemas.

En síntesis, al aplicar el paradigma SOA para la integración de los niveles mencionados se logra una alta independencia tecnológica y un acoplamiento débil de los mismos, es decir, entre el nivel de monitorización y el nivel de negocio, de forma que es posible crear un ambiente coherente orientado a servicios.

Como ha sido reiterado en varias ocasiones, identificamos que las unidades de carretera o RSUs son los elementos que permiten el acceso a un gran número de sistemas de monitorización, por ello, para nuestro modelo resultan imprescindibles para alcanzar la prestación de servicios de forma adecuada.

La cuestión más álgida a analizar es que actualmente las capacidades de cómputo que poseen las RSUs son bastante reducidas pero como lo exponen, el Departamento de Investigación e innovación en Tecnologías de los EEUU, ERTICO (ITS Europa) y ITS Japón, las RSU deben incorporar más inteligencia y esto obedece a que dichos dispositivos son fundamentales para el control y la monitorización de muchos sucesos relacionados no sólo con el tráfico sino también con las otras áreas que comprenden los ITS.

En base a lo anterior, para nuestro modelo hemos decidido aplicar las nuevas tecnologías embebidas que tienen altas prestaciones de computo y los nuevos paradigmas de TI sobre éstas, para crear un nuevo concepto de RSU que permitirá integrar de manera coherente los servicios de monitorización y de gestión que tienen lugar en el nivel de monitorización.

Actualmente las RSUs por si solas no ofrecen las capacidades para generar un ambiente de servicios, por lo que para lograrlo, es preciso extenderles el paradigma SOA. Por tanto, si conocemos las funcionalidades de los sistemas de monitorización y estas pueden ser descritas como servicios y a su vez, integradas gracias al paradigma SOA, será posible alcanzar un nuevo concepto para las RSUs.

En este sentido nuestro modelo propone un nuevo concepto para la RSU, el cual hemos llamado RSU_{AAAS} (Unidad de carretera como servicio ó RSU as a Service) y se debe principalmente a la incorporación del paradigma SOA sobre la misma unidad. Por tanto, la RSU_{AAAS} tendrá como características principales, la capacidad de entender, publicar y consumir servicios web asociados a los sistemas de monitorización e incluso a los asociados a las VANETS.

En este sentido, los dispositivos que toman parte en la infraestructura de transporte y que forman parte de las WSNs, las VANET, las redes de cámaras y los sistemas basados en CEN DSRC/RFID, podrán publicar sus servicios lo que infiere directamente un acoplamiento débil entre los niveles tecnológicos propuestos. Además, la inteligencia de la nueva RSU_{AAAS} no sólo se limita a vigilar la infraestructura de transporte sino que contribuye también a su gestión. Lo anterior hace más cercanos los aspectos clave de interoperabilidad, compatibilidad, expansión y especialización que son necesarios en los ITS.

Segunda Interfaz: Creación de los Servicios ITS de Valor Agregado

Tiene su base en el nivel de negocio perteneciente a la capa de servicios simultáneamente apoyada por el nivel transversal de comunicaciones.

De acuerdo a nuestro planteamiento inicial, el nivel de negocio recoge diversas tecnologías y sistemas que forman parte de las centrales de información de tráfico y de ellas, habíamos

destacado a, los servidores de almacenamiento, a los servidores de aplicaciones y a los sistemas heredados; todos elementos tecnológicos fundamentales para la creación de servicios ITS de valor agregado.

Como ha sido expuesta la RSU_{AA}S, responsable de ofrecer los servicios de monitorización al nivel de negocio, emplea el paradigma SOA para desacoplar e integrar las tecnologías de monitorización con el nivel de negocio. En este sentido, se puede deducir que el nivel de negocio cuenta con la información respectiva que tiene lugar en la infraestructura de transporte por ello, mediante la utilización coherente de los sistemas tecnológicos pertenecientes al nivel de negocio será posible la creación de los servicios ITS de valor agregado.

En este sentido, los servicios de valor agregado no sólo surgen a partir de los servicios de monitorización publicados por las RSU_{AA}Ss, sino también por la información extraída de los sistemas heredados y de los sistemas externos a la central de información tráfico.

Llegados a este punto es importante aclarar que los sistemas heredados son poseedores de información valiosa sobre algunos sistemas de monitorización rezagados en la infraestructura en los que lastimosamente no existe un ambiente orientado a servicios, pero tales sistemas, pueden aportar sus bondades para la creación de nuevos servicios o servicios compuestos que podrían ser consumidos por los usuarios ITS.

Por otra parte, para la creación de los servicios de valor agregado es importante resaltar el papel desempeñado por los controladores de tráfico ya que son ellos los que tienen el control de la mayoría de elementos desplegados en la infraestructura y por ende de sus servicios.

De la misma forma, diversos sistemas y tecnologías son empleados para la creación de tales servicios en nuestro modelo, por ello, los sistemas de almacenamiento ofrecen una plataforma adecuada para recolectar la información perteneciente a la infraestructura de transporte logrando así, apoyar el proceso de composición de servicios, elaborado actualmente por los controladores de tráfico.

Del mismo modo, los sistemas que contienen las aplicaciones ITS, es decir, los servidores de aplicaciones, son elementos fundamentales para la creación el despliegue y la prestación de

servicios. Tales servidores contienen las interfaces que visita el usuario ITS para consumir los servicios por lo que son de gran relevancia para nuestro modelo ya que sin ellos los servicios no podrían ser consumidos.

Por último, es imprescindible mencionar que esta interfaz tiene un comportamiento bidireccional de servicios tanto desde y hacia el nivel de monitorización como desde y hacia el nivel de usuario. De lo anterior exponemos que existen también los *servicios de gestión* encargados de la configuración y control de las RSU_{AA}S y por ende de los sistemas de monitorización.

Tercera Interfaz: Nivel de Negocio y Nivel del Usuario

Como fue expuesto en la Figura 54, hemos ubicado de igual forma el paradigma SOA entre los niveles de negocio y el nivel de usuario, apoyados ambos por el nivel de comunicaciones. Por lo tanto, hemos contemplado un nuevo ambiente orientado a servicios para integrar de forma coherente los dispositivos tecnológicos pertenecientes a ambos niveles con el fin de eliminar sus restricciones que imposibilitan la prestación de servicios.

Al igual que ha sido destacada la RSU para el nivel de monitorización, en esta interfaz destacaremos los componentes tecnológicos pertenecientes al nivel del usuario y de estos, los dispositivos de usuario final que poseen la capacidad de ofrecer el servicio de navegación, principalmente porque es un servicio fundamental que permite al usuario conocer su ubicación en todo momento sobre la infraestructura.

Lo anterior quiere decir que los dispositivos que dispongan del servicio singular de navegación (SPS) junto con otras bondades tecnológicas, son el conjunto de elementos tecnológicos que permitirá el consumo de los servicios ITS de valor agregado al usuario, siempre y cuando, tales dispositivos dispongan de la conectividad adecuada para acceder no sólo al servicio de navegación sino como tal, a los servicios adicionales que son para nuestro caso los servicios ITS de valor agregado, los cuales, mejoraran en gran medida la interacción del usuario con la infraestructura.

De la misma forma, otro de los componentes que resaltamos son los sistemas corporativos, encargados de la generación y despliegue de servicios especiales relacionados con las

preferencias de los viajeros al momento de iniciar su viaje. Para que su despliegue sea mucho más acotado, específico y filtrado es preciso contar con el conocimiento de las preferencias del usuario ITS al momento de iniciar su viaje.

Por último, en esta interfaz se contemplan los sistemas de mensajería variable o VMS, dada su importancia para el usuario ITS (Rämä & Kulmala, 2000). Dada la característica inherente de estos sistemas, la aplicación del paradigma SOA en los VMS permitirá desplegar de forma más ágil servicios asociados a las condiciones del camino, advertencias en la vía, orientación a los usuarios y demás. Por lo tanto, los usuarios ITS que no dispongan de sistemas tecnológicos adecuados para el consumo de servicios, podrán apoyarse en los VMS para consumirlos de forma visual.

Cuarta Interfaz: Niveles de Monitorización, Negocio, Usuario y Nivel Transversal de Comunicaciones

Por último, se va a describir el tercer elemento del modelo propuesto, el sistema de registro y descubrimiento de servicios, empleado en esta interfaz. Dicho sistema se ha ubicado en el nivel de comunicación debido a que posibilita la interacción entre servicios la capa de servicios y la capa de comunicaciones, principalmente porque permite el registro y la localización de los servicios generados en los niveles mencionados anteriormente permitiendo su consumo de forma desacoplada. De esta manera, el modelo SOA propuesto en este trabajo sigue el patrón MatchMaker (Dillon et al., 2007), donde las funciones del agente intermediario son llevadas a cabo por el sistema de registro y descubrimiento mencionado anteriormente y, que para este caso, ha sido implementado mediante un registro UDDI (Curbera *et al.*, 2002) (Wu & Wu, 2005).

Según las interfaces descritas anteriormente asociadas a nuestra propuesta, a continuación, tomamos las características principales del paradigma SOA para construir la integración de servicios requerida para alcanzar la prestación de servicios ITS de forma adecuada, incluyendo todos los elementos que han sido mencionados.

Integración tecnológica de los elementos ITS

Dado que nuestra propuesta también está enfocada a la integración de los elementos tecnológicos ITS ubicados en cada uno de los niveles mencionados, a continuación presentamos las tres fases que seguimos para alcanzarla. Como hemos discutido a lo largo del capítulo hemos elegido el paradigma SOA para acoplar débilmente los niveles mencionados, por ello, las fases de publicación, descubrimiento y consumo de servicios deben ser abordadas adecuadamente.

Las tres fases mencionadas se asocian a las interfaces recientemente descritas y son un aspecto de suma relevancia para alcanzar de forma adecuada la prestación de servicios ITS de valor agregado, describámoslas a continuación.

Publicación

Su objetivo principal es la publicación de servicios, concretamente, de los servicios generados por el nivel de monitorización y los generados por el nivel de negocio. En este sentido, el nivel de monitorización asociado directamente a la primera interfaz, generará los *servicios de monitorización y de gestión* ya que en nuestra propuesta hemos extendido el paradigma SOA a la unidad de carretera convirtiéndola entonces en una unidad de carretera capaz de generar, descubrir y publicar servicios.

Seguidamente, el nivel de negocio asociado directamente a la segunda interfaz, generará los servicios ITS de valor agregado a partir de los servicios de monitorización expuestos por la $RSU_{AA S}$. Concretamente, los elementos tecnológicos que generarán tales servicios serán los servidores de aplicaciones ya que son estos los que proveen las aplicaciones que el usuario ITS consulta para saber el estado de la infraestructura de transporte (en un caso puntual). Ambos tipos de servicios son entonces publicados mediante el sistema de registro de servicios (UDDI), lo cual nos permitirá la prestación adecuada de servicios hacia el usuario ITS.

En este sentido, la $RSU_{AA S}$ y los servidores de aplicaciones son los proveedores principales de servicios para nuestro modelo.

Desde el punto de vista tecnológico, con el fin de lograr dicha publicación, el intercambio de hojas WSDL y mensajes SOAP resulta imprescindible, por lo que los principales elementos

tecnológicos incluidos en nuestra propuesta deben albergar un sistema capaz de interpretar y consumir servicios web. En este sentido, de nuevo, las unidades de carretera como servicio (RSU_{AA}S) toman protagonismo así como también, los servidores de aplicaciones y los dispositivos de usuario en especial los que dispongan del servicio SPS (servicio de navegación).

Si especificamos un poco más, los sistemas pertenecientes al nivel de monitorización, es decir, sistemas tales como las WSN, las VANETs, las CCTV, los sistemas DSRC/RFID, o basados en CALM IR deben incorporar un sistema que permita publicar, consumir y descubrir servicios web.

En tal sentido, nuestra propuesta establece que las diversas unidades de carretera que monitorizan y gestionan los sistemas de monitorización para la red de transporte deben emplear una RSU_{AA}S. Por ello, para las redes de sensores inalámbricos planteamos la WSN-RSU_{AA}S (Wireless Sensor Network – Roadside Unit as a Service) que tiene como función principal monitorizar la actividad de la red de sensores y de gestionarla como tal. En este sentido, gracias a que la WSN-RSU_{AA}S incorpora el paradigma SOA es capaz de publicar los *servicios de monitorización y de gestión* asociados a dichas redes y como tal, los servicios de gestión para la misma RSU. Lo anterior ocasionará que desde las centrales de información tráfico sea posible alcanzar el control total para las WSNs desplegadas a lo largo de la infraestructura, incluso, si tales redes son elaboradas mediante tecnologías heterogéneas ya que gracias a la capacidad de integración tecnológica expuesta por el paradigma SOA, el acoplamiento débil siempre será alcanzado y así, la prestación de servicios.

Para el caso de los sistemas de monitorización basados en redes vehiculares VANET, igualmente, proponemos la utilización de una VANET-RSU_{AA}S la cual ofrecerá directamente *servicios de monitorización y de gestión* a los nodos de la red vehicular o incluso, otro tipo de servicios ya que la VANET tiene una interacción más dinámica sobre la infraestructura de transporte. Concretamente debido al ambiente VANET, la VANET-RSU_{AA}S interactúa con los vehículos a lo largo de la carretera por lo que si tales vehículos detectan alguna incidencia (servicios de ámbito primario) será posible que reciba su servicio asociado y así difundirlo como un servicio de ámbito secundario sobre la red vehicular.

En lo que respecta a la publicación del servicio, la VANET-RSU_{AA}S incorporaría el paradigma SOA y los elementos adecuados para intercambiar servicios por lo que podrá ponerse en contacto directamente con el sistema de registro de servicios UDDI y así notificar ante tal sistema sus servicios ofrecidos. Al hacerlo, desde la central de información de tráfico el controlador de tráfico sabe qué tipo de servicios se presentan en la red vehicular y con ello puede componer nuevos servicios ITS de valor agregado los cuales, pueden ser lanzados por él, empleando otras redes de telecomunicaciones como por ejemplo la red celular.

En el caso de los sistemas de monitorización basados en CCTV, sucede algo muy similar así que, hemos propuesto la creación de la CCTV-RSU_{AA}S que de nuevo, ofrecerá distintos *servicios de monitorización y de gestión* sobre los circuitos cerrados de televisión desplegados sobre la infraestructura de transporte. Por lo tanto, mediante la CCTV-RSU_{AA}S, gracias a la incorporación de paradigma SOA, permitirá de forma flexible la integración tecnológica de forma adecuada y paralelamente la integración de sus servicios. En este sentido, desde la central de información de tráfico será posible generar nuevos servicios ITS de valor agregado asociados a los datos recabados por las redes de cámaras de la misma red de transporte.

En lo que respecta a la publicación de servicios, la CCTV-RSU_{AA}S publicará en el registro UDDI sus servicios y con ello, la central de información de tráfico conocerá en todo momento los servicios que generarían tales redes.

Por último, para los sistemas de monitorización basados en DSRC-RFID (empleados normalmente en sistemas de telepeaje) o en CALM IR (empleados en distintas aplicaciones IT) se plantea la DSRC-RSU_{AA}S o la CALM_IR-RSU_{AA}S que permitirían ofrecer distintos *servicios de monitorización y de gestión* para tales sistemas. Lo anterior infiere que de nuevo, el paradigma SOA sería incorporado sobre estos dispositivos y así sería posible una integración tecnológica a gran escala basada en un ambiente oriente a servicios.

En cuanto a la publicación de servicios seguiría los parámetros normales establecidos en SOA para tal hecho y con ello desde la central de información de tráfico se conocerá en todo momento los servicios que desde tales unidades se estarían publicando.

Luego de describir los elementos que conforman los proveedores de servicios en el nivel de monitorización, a continuación son presentados los proveedores de servicios del nivel de negocio.

Como fue mencionado, los servidores de aplicaciones sustentan la generación de servicios ITS de valor agregado. Por tanto, para conseguirla se toman de base los servicios de monitorización ofrecidos por todos los tipos de RSU_{AA}S descritos, junto con otra información alterna si es el caso, de otros sistemas. Al hacerlo, podrán ser generados servicios más complejos mediante la orquestación referida a la conexión de servicios web desde la central de información de tráfico la cual para este caso sería realizada por los controladores de tráfico.

La publicación de servicios es una de las fases más importantes de nuestra propuesta porque permite componer un directorio coherente de servicios asociados a las tecnologías ITS y a los servicios ITS de valor agregado, ambos, esenciales para la prestación, el despliegue y la provisión coherente y adecuada de servicios no solo de cara a la infraestructura sino también de cara al usuario ITS.

Descubrimiento

Su objetivo principal es el de conocer los servicios publicados actualmente en el directorio de servicios dado que son estos, los que permitirán la composición de servicios ITS de valor agregado.

Por lo tanto, dicha fase es alcanzada cuando la fase de publicación ha culminado, es decir, la fase de descubrimiento de servicios es factible siempre y cuando haya un directorio de servicios adecuado para la composición de servicios ITS de valor agregado. Asimismo, vuelve a ser entonces participe el sistema de registro y descubrimiento de servicios (UDDI) dado que es quien alberga la información relacionada con los servicios publicados por todos los tipos de RSU_{AA}S y por otros sistemas que operen en un ambiente orientado a servicios. A continuación, describamos como sería su funcionamiento.

Los sistemas de almacenamiento, pertenecientes al nivel de negocio, albergan la información sobre los sistemas de monitorización desplegados sobre la infraestructura. En este sentido para que tal hecho ocurra es preciso que tales sistemas consulten el sistema de registro de servicios UDDI y así descubran los servicios de monitorización publicados por los diversos tipos de RSU_{AA}S. Por ello, hemos propuesto los servicios

de búsqueda de servicios de monitorización (Lookup-MonitoringServices) encargados de extraer la información referente a los fenómenos que suceden en la infraestructura de transporte. Tales servicios son fundamentales para la construcción de servicios ITS de valor agregado.

Por otra parte, desde los sistemas de usuario se consulta el registro UDDI (Lookup-S-ITS-VA) para que los usuarios ITS descubran los servicios ITS de valor agregado que son ofrecidos desde las centrales de información de tráfico.

Otros servicios que son descubiertos en esta fase son los servicios de gestión ya que los servidores de aplicaciones demandan controlar los sistemas de monitorización instalados a lo largo de la infraestructura, por ello, sus aplicaciones emplean concretamente servicios de búsqueda de servicios de gestión (Lookup-ManagementServices) asociados a cualquiera de los tipos de RSU_{AA}S descritos anteriormente. En este sentido, mediante tales servicios será posible la realización de los procedimientos adecuados de mantenimiento y calibración para los elementos tecnológicos desplegados sobre la infraestructura de transporte.

Lo anterior quiere decir que la WSN-RSU_{AA}S, la VANET-RSU_{AA}S, la CCTV-RSU_{AA}S, la DSRC-RSU_{AA}S o la CALM_IR-RSU_{AA}S exponen tanto servicios de monitorización como servicios de gestión, ambos, descubiertos de forma general desde el nivel de negocio.

Consumo

Su objetivo principal es como tal, proveer a nuestro modelo de las aplicaciones ITS enfocadas al consumo de servicios tanto de monitorización y gestión como para el consumo de los servicios ITS de valor agregado. De acuerdo a nuestra propuesta, el nivel de negocio consume los servicios generados por los diversos tipos de RSU_{AA}S, es decir que luego de haber alcanzado las fases de publicación y descubrimiento de servicios, el modelo puede hacer uso de ellos con el fin de gestionar y establecer mediante diversas aplicaciones ITS, los servicios adecuados que ofrecerá el nivel de negocio tanto a los usuarios ITS y como a la infraestructura de transporte.

Debido a que nuestro modelo emplea el paradigma SOA y por ende los servicios web, el protocolo SOAP se convierte en una herramienta fundamental para intercambiar y consumir los servicios expuestos por los diversos tipos de RSU_{AA}S es decir, los

servicios de monitorización (MonitoringServicesResponse), los servicios de gestión (ManagementServiceResponse).

De la misma forma, dado que los diversos tipos de RSU_{AA}S no son el único proveedor de servicios, el nivel de negocio publica, descubre y crea servicios ITS de valor agregado mediante las aplicaciones ITS respectivas que funcionan sobre los servidores de aplicaciones. Por tanto, el nivel de usuario, demandante de servicios ITS de valor agregado, realiza las peticiones adecuadas para saber extraer servicios (S-ITS-VA Request) y desde el nivel de negocio, luego de la composición de servicios, se responde adecuadamente con la información asociada solicitada (S-ITS-VA Response) por el usuario ITS.

En este sentido, los servidores de aplicaciones hacen uso de la información contenida en los sistemas de almacenamiento y a través del sistema orquestador de servicios, es decir, de los controladores de tráfico, se componen los servicios ITS de valor agregado. No obstante, para la creación de dichos servicios también pueden ser tomados en cuenta a los sistemas heredados (Legacy S-ITS-Request) ya que ofrecen otra información alterna sobre la infraestructura de transporte y tal información podría ser empleada para la construcción de servicios ITS más complejos.

A continuación presentamos un diagrama de secuencia de las fases descritas las cuales, promueven la prestación, la generación, la provisión y el despliegue de servicios ITS de valor agregado (ver Figura 55). De la misma forma, tales fases enfrentan el problema de integración tecnológica y logran abordarlo claramente mediante el acoplamiento débil entre cada uno de los niveles que como tal incluyen gran cantidad de tecnologías ITS.

Partiendo de lo todo lo que ha sido expuesto en cuanto a las capas, los niveles, las interfaces y a las fases que componen nuestro modelo, a continuación presentamos los mecanismos de desacoplamiento empleados en nuestra propuesta. En este sentido presentamos la Tabla 30 que expone las clases de servicios generadas y sus mecanismos de integración, interoperabilidad, compatibilidad y escalabilidad que son los que permitirán alcanzar el acoplamiento débil de las tecnologías ITS y al mismo tiempo, la prestación adecuada y coherente se los servicios ITS de valor agregado.

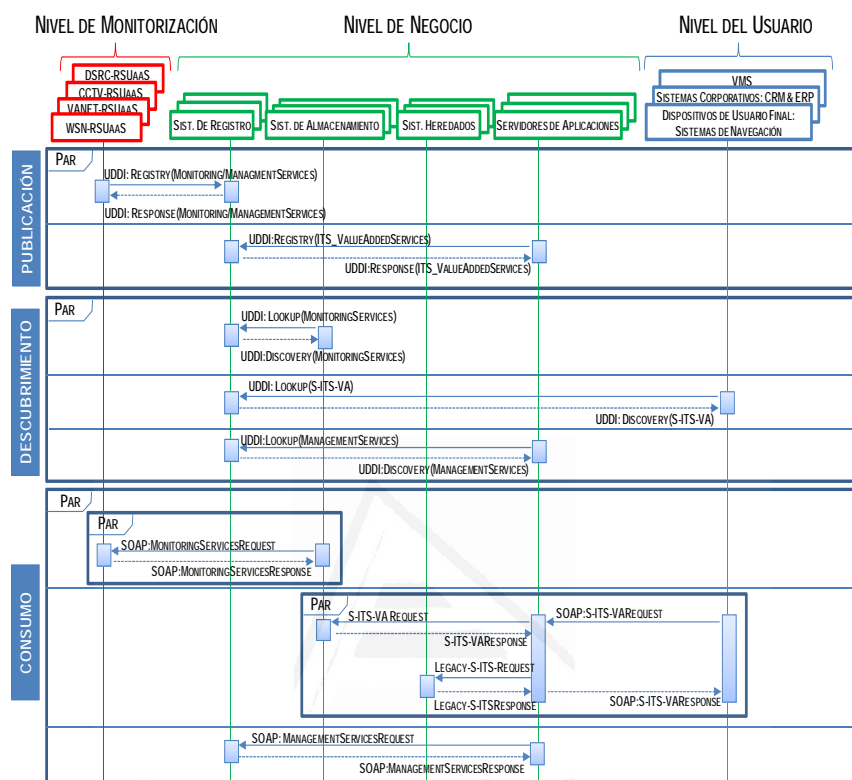


Figura 55. Diagrama de secuencia: fases de publicación, descubrimiento y consumo de servicios

Igualmente, la Tabla 30 recoge los principales proveedores y consumidores de servicios pertenecientes al modelo basado en SOA permitiéndonos así, identificarlos para que los servicios ITS sean desplegados de forma adecuada.

De la Tabla 30 puede observarse que hemos introducido nuevos servicios, enfocados a la gestión de tareas producidas entre cada sistema que toma parte en nuestro modelo, dichos servicios, llamados *servicios internos* denotados con el símbolo *, son empleados precisamente para garantizar la viabilidad del despliegue adecuado de los servicios y por ende su prestación.

Del mismo modo, es importante resaltar que gracias a la identificación y a la catalogación de las tecnologías y servicios ITS expuesta en el capítulo anterior, ha sido posible el planteamiento general del nuestro modelo y por ende de las fases mencionadas.

Tabla 30. Mecanismos de desacoplamiento para el nuestra propuesta VASITS_{DM}

CLASES DE SERVICIOS PARA NUESTRO MODELO	MECANISMOS DE DESACOPLAMIENTO INTEGRACIÓN, INTEROPERABILIDAD COMPATIBILIDAD, EXPANDIBILIDAD Y	PROVEEDORES DE SERVICIOS	CONSUMIDORES DE SERVICIOS
SERVICIOS DE MONITORIZACIÓN (WSN-RSU _{AA} S/VANET-RSU _{AA} S /CCTV-RSU _{AA} S/DSRC-RSU _{AA} S)	SOA (SOAP)	RSU _{AA} S (WSN-RSU _{AA} S/ VANET-RSU _{AA} S o NODO VANET /CCTV-RSU _{AA} S/ DSRC-RSU _{AA} S) (NM)	SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO / SERVIDORES DE APLICACIONES (NN)
SERVICIOS DE GESTIÓN PARA LAS RSU _{AA} S	SOA(SOAP)	RSU _{AA} S (NM)	SERVIDORES DE APLICACIONES (NN)
SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO	SOA(SOAP)	SERVIDORES DE APLICACIONES - SISTEMAS HEREDADOS(NN)	SISTEMAS DE NAVEGACIÓN/ SISTEMAS CORPORATIVOS/ VMS (NU)
SERVICIOS DE REGISTRO Y DESCUBRIMIENTO PARA LOS SERVICIOS DE MONITORIZACIÓN *	SOA(UDDI) CATÁLOGO DE SERVICIOS	SERVIDOR DE REGISTRO DE SERVICIOS (NTC)	SERVICIOS DE MONITORIZACIÓN(NM)
SERVICIOS DE REGISTRO Y DESCUBRIMIENTO PARA LOS SERVICIOS DE GESTIÓN DE LAS RSU _{AA} S*	SOA(UDDI) CATÁLOGO DE SERVICIOS	SERVIDOR DE REGISTRO DE SERVICIOS (NTC)	SERVICIOS DE GESTIÓN PARA LAS RSU _{AA} S (NM)
SERVICIOS DE REGISTRO Y DESCUBRIMIENTO PARA LOS SERVICIOS DE VALOR AGREGADO*	SOA(UDDI) CATÁLOGO DE SERVICIOS	SERVIDOR DE REGISTRO DE SERVICIOS(NTC)	SERVICIOS ITS DE VALOR AGREGADO (NN)

NM: Nivel de Monitorización, NN: Nivel de Negocio, NTC: Nivel transversal de comunicaciones, NU: Nivel del usuario. *.Servicios Internos

De las cuestiones más relevantes tanto para el MTPSITS como para nuestro modelo tiene que ver con el ofrecimiento de servicios ITS de valor agregado en tiempo real ya que es uno de los requerimientos más demandados por los usuarios ITS.

Por este motivo, es preciso aclarar que el escenario de los ITS es muy dependiente de las tecnologías instaladas a lo largo de la infraestructura ya que ellas, presentan niveles de latencia diferentes como fue observado anteriormente en la Tabla 24 perteneciente al capítulo 4.

Lo anterior implica que la prestación de servicios ITS de valor agregado depende en gran parte de la velocidad de los sistemas adyacentes que apoyan el escenario de servicios planteado, es decir, de las tecnologías que indirectamente apoyan el servicio. No obstante, algunos de los servicios ITS no se ven afectados de forma grave por los niveles de latencia de las tecnologías adyacentes ya que son servicios prestados periódicamente (como el caso I2V). Uno de los escenarios que teóricamente responde en tiempo real es el ambiente VANET pero esto aún está supremamente inmaduro y aún no se ha probado en grandes

escenarios extensos como una cantidad de vehículos considerable.

En principio, nuestro modelo albergará servicios ITS de valor agregado que estén en un margen de latencia de al menos sesenta (60) segundos de actualización con el objetivo de brindarle al usuario la información más precisa en el menor tiempo posible.

Tal nivel de latencia no es arbitrario ya que normalmente los servicios producidos en los sistemas de transporte tienen altos índices de retraso con rangos que van desde los 10 hasta los 15 o incluso 30 minutos, en especial, los que funcionan sobre el sistema de radiodifusión RDS. Del mismo modo los servicios ITS de valor agregado para el escenario VANET exponen niveles de retraso que van desde los 30 segundos a hasta los 5 minutos dependiendo del procesamiento de la información realizado desde la central de información de tráfico (Böhm & Frötscher 2009).

En este sentido y para finalizar, los servicios proporcionados por nuestro modelo podrán ser consumidos por el nivel del usuario a través de diversos dispositivos que dispongan de la característica SPS o, por dispositivos que tengan acceso a la red internet. Tales dispositivos deberán soportar entonces una plataforma de mapas para que la información asociada a la infraestructura u otra información sea correctamente desplegada de acuerdo a la posición del usuario sobre la infraestructura de transporte.

Lo anterior significa que los sistemas de navegación podrán ofrecer servicios dinámicos, es decir, servicios periódicamente actualizables y consumibles por el usuario ITS.

Conclusiones

En el presente capítulo hemos planteado el modelo para la prestación, la generación, el despliegue y la provisión de servicios ITS de valor agregado con el objetivo alcanzar la integración, la interoperabilidad, la compatibilidad y la expansión de los sistemas pertenecientes a los ITS.

Paralelamente hemos desacoplado de forma coherente las tecnologías ITS más relevantes, y se han constituido los niveles adecuados que permiten organizarlas de forma acotada para que

pueda obtenerse el ambiente orientado a servicios propicio para alcanzar la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Del mismo modo, se observó que uno de los componentes de mayor relevancia para el planteamiento de nuestro modelo son las unidades de carretera a las cuales, se ha propuesto extenderles el paradigma SOA con el objetivo de conseguir, unidades de carretera orientadas a servicios o RSU_{AA}S. Dichas Unidades, se coinvertirán entonces en uno de los aportes más valiosos de nuestra investigación ya que la extensión del paradigma SOA a las mismas, permitirá ofrecer un ambiente de servicios adecuado y coherente para lograr la prestación de servicios ITS de forma independiente de las tecnologías y sistemas presentes sobre la infraestructura de transporte.

De igual forma, los sistemas de navegación son elementos esenciales para el despliegue de servicios ITS y bajo nuestro modelo adquieran un mayor dinamismo dado que ofrecen servicios dinámicos y consumibles por el usuario.

Por último, el nivel transversal de comunicaciones, responsable del sistema de registro de servicios, es el gran sustento de la capa de servicios y gracias a la inclusión de tecnologías de comunicación tales como HSPA o GPRS, es posible apoyar de forma general, el consumo, la prestación y la convergencia de servicios ITS de valor agregado de forma adecuada.

Capítulo Sexto

Arquitectura del Sistema

Partiendo del modelo que ha sido planteado en el capítulo anterior, donde se ha visto que para la prestación de servicios ITS de valor agregado se han desacoplado coherentemente las tecnologías ITS y, a su vez, se ha seguido una metodología clara basada en los principales estándares de los ITS, es preciso establecer una arquitectura conceptual que haga viable nuestro modelo y, por lo tanto este capítulo la aborda.

Para la construcción de la arquitectura conceptual vamos a tener en cuenta los parámetros que presentan mayor relevancia, relacionados con el diseño de sistemas basados en servicios.

Como es sabido, los ITS están compuestos por multitud de sistemas heterogéneos y sistemas ad-hoc, por lo tanto, nuestro objetivo es aplicar los nuevos enfoques en TI no sólo al modelo sino también a la arquitectura que lo sustenta para poder enfrentar de forma general los problemas de incompatibilidad, de interoperabilidad, de escalabilidad, de especialización y de integración que están dificultando la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Igualmente, en el capítulo previo hemos identificado que las unidades de carretera (RSU), las centrales de información de tráfico y los sistemas de navegación son elementos esenciales para el despliegue adecuado y coherente de servicios ITS y, por esta razón, se perfilan como elementos clave e imprescindibles para la realización de nuestra arquitectura.

La arquitectura que se propondrá para el modelo planteado será lo bastante abierta para recoger de forma general la gran cantidad de sistemas que intervienen en la infraestructura de transporte, incluyendo el nuevo enfoque de servicios generado por las redes vehiculares ad-hoc (VANETs).

No obstante, es preciso aclarar que para nuestro modelo y para su arquitectura, las unidades de carretera o RSU se convierten en un elemento determinante para la prestación adecuada de servicios tanto de cara a la central de información de tráfico como de cara al usuario ITS.

Teniendo en cuenta todos los elementos que hemos analizado en los capítulos previos, es preciso destacar que nuestro modelo y por ende su arquitectura deben:

- ir más allá del soporte de protocolos de comunicación específicos o ad-hoc;
- involucrar plataformas abiertas y escalables de computación distribuida;
- ser capaces de incorporar los estándares más utilizados en los ITS;
- sustentar de forma coherente la gran cantidad de servicios ITS de valor agregado.

Según los requerimientos descritos, es imprescindible que nuestra arquitectura cuente con los últimos paradigmas de las TI, por ello, en el capítulo anterior se eligió al paradigma SOA como mecanismo de integración general, no sólo de los servicios ITS de valor agregado, sino también de sus tecnologías que los hacen viables. La utilización del paradigma SOA en nuestro modelo, y en nuestra arquitectura, proporcionará un enfoque con características tales como: el acoplamiento débil, la reusabilidad composición y abstracción de servicios, la interoperabilidad de plataformas, la integración tecnológica y facilitará la especialización de los fabricantes.

No obstante, antes de comenzar con el análisis general de nuestra arquitectura conceptual vamos a mencionar que la aplicación del paradigma SOA genera algunos riesgos de seguridad que actualmente están siendo abordados por la comunidad científica.

En este sentido, en (Bhargavan *et al.*, 2006) del instituto de investigación de Microsoft, han verificado que los protocolos de

seguridad relacionados con los servicios web (WS-Security) se acoplan de forma general a las necesidades de las aplicaciones, tanto en sistemas de gran escala como, en sistemas de pocos elementos. Incluso, se han diseñado nuevas librerías que facilitan los requerimientos de interoperabilidad y seguridad presentados en las distintas aplicaciones. Igualmente, en (Geric, 2010) se está profundizando en los mecanismos de seguridad que deben tener los servicios web para mejorar la estabilidad del esquema orientado a servicios. Por último, cabe mencionar que las nuevas tendencias de seguridad en los servicios web se dan a partir de las firmas especializadas de los documentos XML (Gu *et al.*, 2009) los cuales son la base de la tecnología de servicios web (Miyauchi, 2005).

A partir de todo lo que ha sido expuesto, a continuación nos centraremos en desarrollar la arquitectura conceptual de nuestro modelo.

Arquitectura Conceptual

La arquitectura conceptual parte, no sólo de las diferentes arquitecturas ITS mencionadas en el estado del arte, sino también, de los nuevos paradigmas y arquitecturas e-business que son empleados para la prestación adecuada de los servicios ITS de valor agregado a lo largo de infraestructura de transporte.

No obstante, nuestra arquitectura conceptual se centra en los elementos más determinantes que posibilitan la prestación adecuada de dichos servicios dado que son estos los que posibilitaran la concepción de nuevos modelos de negocio y, asimismo su explotación.

En este sentido, a continuación presentamos el esquema general en el que ha sido compactada nuestra arquitectura (ver Figura 56), el cual será expandido de forma gradual y coherente en consonancia con los criterios tanto de las arquitecturas e-business como de las arquitecturas ITS.

Nuestro modelo involucra, para la incorporación de esquemas e-business tres tipos de arquitecturas distribuidas: arquitecturas de N-niveles, arquitecturas orientadas a servicios y arquitecturas de componentes de software distribuidos.

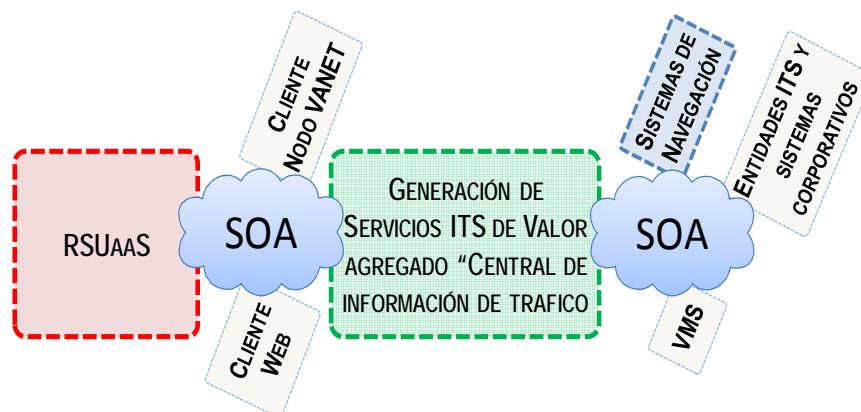


Figura 56. Arquitectura generalizada y compacta del modelo VASITS_{DM}

Como se observa en la Figura 56, la arquitectura propuesta contempla los elementos más representativos que intervienen en el despliegue de los servicios ITS de valor agregado tales como las unidades de carretera como servicio (RSU_{AA}S) y a los centros de generación de servicios ITS de valor agregado ya que ambos, constituyen el núcleo principal de toda nuestra propuesta.

Para desarrollar la arquitectura, es preciso involucrar patrones arquitectónicos y de diseño que respondan a los requerimientos de las tres arquitecturas distribuidas mencionadas anteriormente y a los requerimientos de las arquitecturas ITS. Por ello, a continuación se describirá la arquitectura técnica de cada elemento. En este sentido, para la concepción de la arquitectura conceptual general, componentes arquitecturales de negocio electrónico definidos por (Harmon *et al.*, 2001) y componentes arquitecturales ITS definidos por los principales organismos ITS tales como (US.DOT, 2009), (Bossom, Richard. & Jesty, 2009b), (ITS-JP, 1999) y por el comité técnico ISO TC 204 serán aplicados.

Antes de comenzar establezcamos cuáles son los parámetros que involucra una arquitectura técnica, descrita bajo el contexto de los nuevos paradigmas TI enfocados al negocio electrónico, con el fin de desarrollar nuestro modelo.

En este sentido, (Harmon *et al.*, 2001) nos plantea que la arquitectura técnica y su modelo conceptual deben proporcionar y describir los detalles de dos conceptos básicos, asociados a la

arquitectura e-business que son: las capas funcionales y los niveles de distribución.

Por su parte, las capas funcionales describen las responsabilidades que tendrán los diferentes tipos de componentes e involucran características tales como la distribución, la escalabilidad, la separación, la independencia de la tecnología, la independencia de los dispositivos, la integración de las aplicaciones, las mejoras futuras y las posibles migraciones hacia nuevos sistemas.

En el caso de los niveles de distribución, describen como los diferentes tipos de componentes son mapeados a un sistema de computación distribuida e involucran patrones de propósito general para el despliegue de sistemas distribuidos.

Teniendo de base los conceptos mencionados y centrándonos en la arquitectura compacta propuesta, en este punto vamos a aplicar dichos conceptos a cada elemento principal de nuestra arquitectura (ver Figura 57), es decir, a las RSU_{AA}S y a la central de generación de servicios ITS de valor agregado (central de información de tráfico) ambos inclusive, vistos como módulos en nuestra propuesta. Todo esto se hará sin dejar de lado los principales sistemas demandantes de servicios de nuestra arquitectura, denotados en línea azul punteada.

Como se observa de la Figura 57, la arquitectura conceptual generalizada presenta dos módulos fundamentales para la generación de servicios ITS de valor agregado, el primero, asociado a las Unidades de carretera como servicio (módulo de monitorización) y el segundo, asociado a la generación como tal, de los servicios ITS de valor agregado (Centrales de información de tráfico). Cada módulo presenta las capas funcionales y los niveles de distribución adecuados relacionados con las arquitecturas mencionadas. A su vez, se observa que cada módulo tiene diversos demandantes de servicios que involucran arquitecturas orientadas a componentes de software distribuidos para permitir la convergencia de los servicios ITS de valor agregado.

A continuación, describiremos la arquitectura conceptual planteada para cada módulo, por ello, comenzamos con el módulo referente a las Unidades de Carretera (RSU), en las que extenderemos el paradigma SOA y las estrategias de negocio electrónico con el fin de alcanzar nuestro nuevo concepto de Unidad de carreta como servicio o RSU_{AA}S.

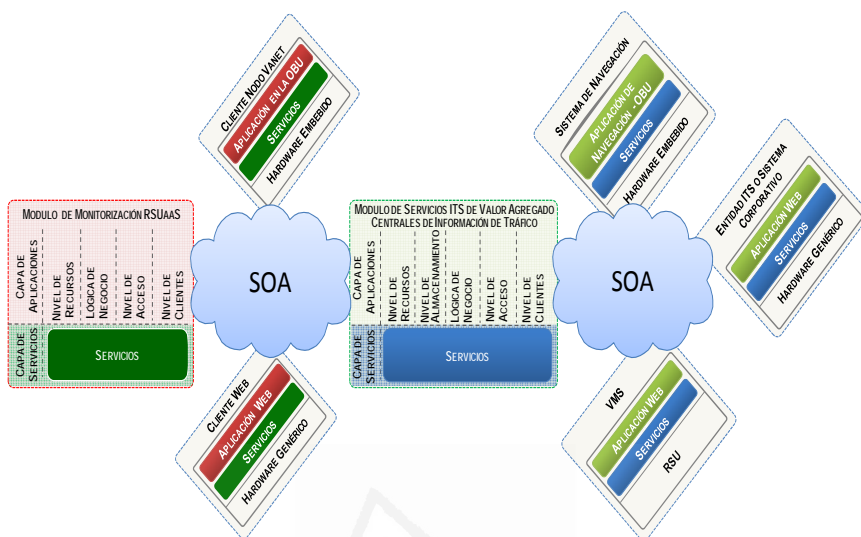


Figura 57. Arquitectura conceptual generalizada para el modelo VASITS_{DM}

Módulo de Monitorización - RSU_{AA}S

En nuestra arquitectura conceptual general, desempeña un rol bastante importante dado que permitirá integrar los sistemas de monitorización, instalados a lo largo de la infraestructura de transporte, mediante los paradigmas TI más adecuados que facilitarán el despliegue de servicios ITS de valor agregado para los usuarios. Por este motivo, involucra patrones de diseño arquitectónico, basados en esquemas e-business y en arquitecturas orientadas a servicios. En este sentido una simple Unidad de carretera RSU, será transformada en una RSU_{AA}S que garantizará, mediante sus componentes arquitectónicos, un ambiente adecuado y acotado para el despliegue de servicios de monitorización y gestión que son la base para la generación de servicios ITS de valor agregado.

De esta forma, la arquitectura conceptual de la RSU_{AA}S (ver Figura 58), presenta los componentes asociados al esquema e-business y al paradigma SOA para facilitar el despliegue de los servicios mencionados desde y hacia los diferentes demandantes de servicios.

Como se observa en la Figura 58, las Unidades de carretera como servicio presentan dos capas funcionales, la capa de servicios y la capa de aplicaciones.

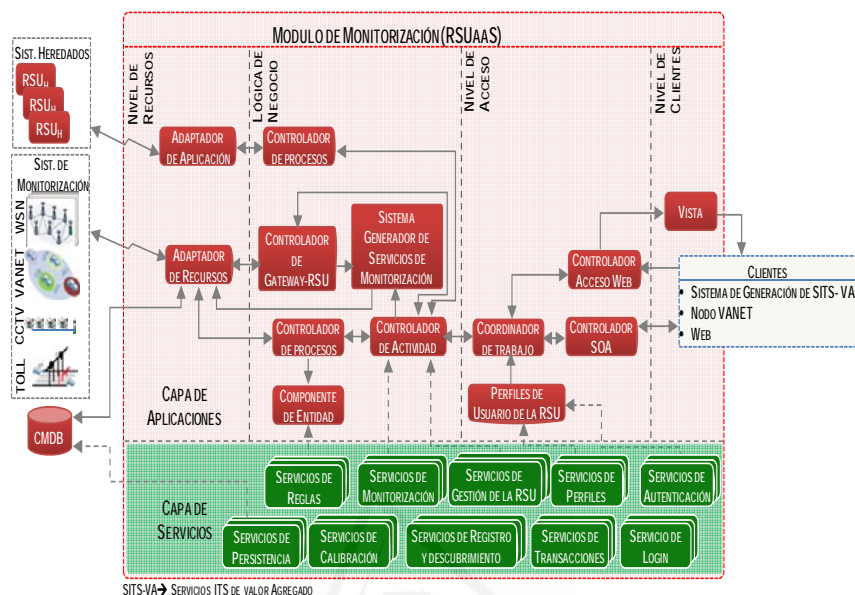


Figura 58. Arquitectura conceptual para las RSU_{AA}S

Ambas capas, responden de forma coherente a las exigencias demandadas por los solicitantes de servicios tanto externos como internos dependiendo del tipo de componente de software distribuido que haga uso de sus servicios ofertados. En aras de comprender mas afondo la arquitectura de la RSU_{AA}S, a continuación, detallamos cada capa.

Capa de Servicios

Como se observa de la Figura 58, la capa de servicios como tal alberga un conjunto de servicios relacionados con las aplicaciones que se ejecutan en la RSU_{AA}S y son dependientes del sistema de monitorización gestionado. Sin embargo, los servicios de monitorización pueden ser extrapolados a diversos sistemas de monitorización dependiendo de los diccionarios de datos empleados por la RSU_{AA}S. Los servicios que se han integrado en la RSU_{AA}S son los que se presentan a continuación:

Servicio de Persistencia: encargado de apoyar las operaciones que se generan en los sistemas de almacenamiento o bases de datos ya sea, por los ubicados al exterior de la RSU_{AA}S o en su interior.

Servicio de Reglas: establece las políticas y las estrategias globales requeridas para la gestión adecuada de la RSU_{AA}S. Como tal, este servicio define las relaciones tanto simples como complejas, asociadas a los sistemas gestionados por la misma RSU_{AA}S, es decir, de los sistemas de monitorización.

Servicio de Calibración: establece los parámetros adecuados de calibración entre la RSU_{AA}S y la unidad de abordaje ó OBU, facilitando así, el intercambio de servicios en los escenarios V2I o I2V (escenarios VANET).

Servicio de Monitorización: servicio base de la RSU_{AA}S y dependerá del sistema de monitorización que sea gestionando a través de ella. Los sistemas que pueden ser gestionados de acuerdo a nuestra propuesta son: sistemas basados en redes de sensores inalámbricas, en sistemas CCTV, en sistemas VANETs, en sistemas DSRC/RFID o CALM IR. Además, este servicio tiene la finalidad de recolectar la información perteneciente a la infraestructura de transporte cualquiera que fuere su naturaleza, para luego, ser utilizada como parámetro esencial para la creación de servicios ITS de valor agregado.

Servicio de Registro y Descubrimiento: encargados de sustentar tecnológicamente el paradigma SOA y concretamente apoyarán los procesos de publicación y descubrimiento de servicios tanto de monitorización como de gestión para las RSU_{AA}S.

Servicios de Gestión de la RSU: referentes a la administración de cada sistema de monitorización que gestiona la RSU_{AA}S es decir, los servicios relacionados con los parámetros de configuración de cada sistema de monitorización. Dando un ejemplo concreto, para el caso de las redes de sensores inalámbricas, la RSU_{AA}S podrán configurar los parámetros más relevantes, asociados a la red de sensores tales como: el identificador de nodo, el reinicio de nodo, cambio de red del nodo, umbrales de medición de los sensores, etc.

Servicios de Transacciones: encargado de apoyar el soporte de las transacciones de servicios generados entre la RSU_{AA}S y sus demandantes de servicios. Concretamente, apoya a las actividades de los componentes distribuidos de forma local o externa, permitiendo mejorar su control, y a su vez, garantizando que la RSU_{AA}S en todo momento asegure la prestación de servicios.

Servicio de Perfiles: asociado al almacenamiento de la información sobre los usuarios que hacen uso directo de la RSU_{AA}S. Además, proporciona el conocimiento necesario que requieren los administradores de las RSU_{AA}S para configurar y administrar los perfiles de usuario o los perfiles de la organización que intentará acceder a la información de la infraestructura de transporte.

Servicios de Login: encargados de realizar la verificación de los datos de las personas o entidades que intentan acceder a la RSU_{AA}S.

Servicio de Autenticación: enfocado a los aspectos de control de acceso mediante interfaces seguras. Aquí, podrían aplicarse los nuevos enfoques de SOA contemporáneo y el enfoque “WS-Security” para garantizar la seguridad en el manejo de datos.

Capa de Aplicaciones

La capa de aplicaciones está dividida en diferentes niveles de distribución, denotados por líneas verticales (ver Figura 58). En este sentido, se presentan cuatro niveles:

- Nivel de recursos
- Nivel de lógica de negocio,
- Nivel de acceso
- Nivel de clientes.

La distribución de niveles es similar a la arquitectura por capas analizada por (Fowler *et al.*, 2002), donde, los componentes en un nivel dado se comunican únicamente con los componentes de un mismo nivel o con los componentes presentes en los niveles adyacentes. Así que, un componente localizado en el nivel de recursos, no puede comunicarse directamente con el nivel del usuario, sino que debe pasar a través de los demás niveles, logrando así, la independencia y la integración tecnológica.

Dicha distribución, puede estar desplegada de forma íntegra en un único dispositivo o sistema que para nuestro caso es la RSU_{AA}S. No obstante, dicha distribución puede ser desplegada de forma descentralizada en varios sistemas y dispositivos pero al hacerlo, no se cumpliría el concepto de integración general, buscado explícitamente por la RSU_{AA}S.

Actualmente, en el mercado existen dispositivos de características computacionales reducidas que pueden incorporar

dicha distribución de niveles, logrando así, satisfacer las necesidades de computación demandadas por los consumidores de servicios externos a la RSU_{AA}S. Además, al ubicar dichos niveles en los dispositivos desplegados a lo largo de la infraestructura se cumpliría con los requerimientos de las arquitecturas e-business y con las nuevas exigencias demandas por los distintos organismos de ITS a nivel mundial (RITA, 2009a), (ERTICO, 2010).

A continuación, consideremos con mayor profundidad los niveles de distribución y sus componentes expuestos y pertenecientes a la RSU_{AA}S (ver Figura 58).

Nivel de Recursos

Responsable de proporcionar acceso compartido a los sistemas de monitorización, a las RSUs heredadas y a las bases de datos que pueden extenderse más allá de las RSU_{AA}S o, incluso, a las que ella misma alberga. Igualmente, integra las RSUs que no poseen altas capacidades de cómputo, consideradas en nuestro enfoque como RSUs heredadas. Aquí, es imprescindible destacar que se deben considerar los principales diccionarios de datos pertenecientes a las RSUs (ISO_15784-1, 2008) para lograr una integración coherente y estandarizada de los datos pertenecientes a la infraestructura de transporte.

Del mismo modo, alberga dos componentes básicos, el adaptador de recursos y el adaptador de aplicación. El primero, proporciona el acceso a la información de recursos en una o más partes de los sistemas de monitorización y es responsable de mapear los datos provenientes de los sistemas de monitorización en el formato adecuado para generar los servicios de monitorización, considerando de nuevo, los principales diccionarios de datos de las RSU.

El segundo, encargado de integrar las RSUs heredadas con el módulo de monitorización, es decir, con la RSU_{AA}S y a partir de la distribución de niveles de la misma, se logra que las RSUs heredadas adquieran la integración bajo el esquema orientado a servicios.

Nivel de Lógica de Negocio

Responsable de gestionar la integridad de los recursos del negocio, reforzar las reglas de negocio y proporcionar los servicios adecuados para los solicitantes. Igualmente, implementa los

objetos de negocio, es decir, las entidades de negocio y los procesos de negocio previamente identificados a partir de las actividades a realizar por la RSU_{AA}S.

Dicho nivel está conformado por: El controlador de procesos encargado de ejecutar los procesos de negocio; el controlador de Gateway responsable de analizar los distintos diccionarios de datos de las RSU para cada sistema de monitorización; el sistema generador de servicios de monitorización encargado de almacenar la información respectiva del servicio ITS elegido y encargado de la generación del ambiente orientado a servicios. Igualmente tal nivel sigue conformado por: el controlador de actividad encargado de mapear los casos de uso y de ejecutar los procesos de negocio involucrados en los servicios de monitorización o gestión de la RSU_{AA}S; y por el componente de entidad encargado de representar las unidades de información necesarias para las funciones de negocio.

Nivel de Acceso

Encargado de garantizar el acceso de los clientes externos a través de servicios de manera segura, además, responsable de coordinar las múltiples actividades de los usuarios de la RSU_{AA}S y de recolectar e intercambiar información con el nivel de negocio y el nivel de clientes.

Dicho nivel alberga cuatro componentes, responsables de la funcionalidad del nivel de acceso. El primero es el coordinador de trabajo, responsable de la interacción de las peticiones de servicios (Monitorización y gestión) con el nivel de lógica de negocio y el nivel de clientes, además, permite controlar el acceso y personalizar la presentación de los datos dependiendo del usuario demandante del servicio. El segundo, es el controlador SOA, responsable de generar los mensajes SOAP respectivos de acuerdo a los servicios demandados por el nivel de clientes lo que garantiza la independencia tecnológica y la facilidad para acceder a los recursos de la RSU_{AA}S. El tercero es el controlador de acceso web, responsable de la interacción de RSU_{AA}S a través de los navegadores web convencionales y el cuarto, el componente de perfiles de usuario, responsable de verificar los privilegios del usuario que permiten acceder a los servicios ofrecidos por la RSU_{AA}S, que para este caso serían un nodo VANET, un nodo web y el sistema de generación de servicios de valor agregado o lo que es lo mismo, las centrales de información de tráfico.

Nivel de Clientes

Responsable de gestionar los detalles de la interfaz con el usuario tales como, la presentación de la información, la entrada y salida de datos y la navegación dentro de la aplicación. Asimismo, se sustenta sobre el patrón MVC es decir, el modelo vista controlador (Gamma *et al.*, 1995), satisfaciendo así, los requerimientos de los clientes que hacen uso de la RSU_{AA}S. El componente vista es dependiente de la tecnología o dispositivo físico que accederá a los servicios ofrecidos por la RSU_{AA}S. Aunque hemos elegido dos controladores de acceso bastante globales y genéricos, el controlador SOA y el controlar web, es preciso mencionar que aún hay un sesgo para la aplicación genérica de una sola interfaz de forma extendida hacia cualquier dispositivo que trate de hacer uso de la RSU_{AA}S y esto se debe principalmente a las diferencias en el hardware (Sauter *et al.*, 2005) y a que los distintos fabricantes de dispositivos de usuario buscan su propio mercado. No obstante, la RSU_{AA}S utiliza patrones MVC orientados a servicios y orientados a peticiones web para garantizar que los demandantes de servicios tengan la mayor independencia tecnológica al momento de solicitar cualquier servicio.

A continuación, presentaremos el módulo de generación de servicios ITS de valor agregado que hace uso generalizado de la RSU_{AA}S, utilizada como recurso fundamental del nuevo enfoque que tendría una central de información de tráfico.

Módulo de Generación de Servicios ITS de Valor Agregado - Centrales de Información de Tráfico

Tiene como objetivo principal la generación de servicios ITS de valor agregado que tiene lugar en las centrales de información de tráfico. Para diseñarlo, igualmente, hemos utilizado los parámetros asociados al esquema e-business, al paradigma SOA y a los requerimientos exigidos por las arquitecturas ITS con el fin de facilitar la prestación, la generación y el despliegue de los servicios ITS de valor agregado de forma general, a lo largo de la infraestructura de transporte (ver Figura 59).

Como se observa en la Figura 59, el módulo cuenta con dos capas, la capa de servicios y la capa de aplicación. Ambas, utilizadas para albergar los servicios y las aplicaciones más

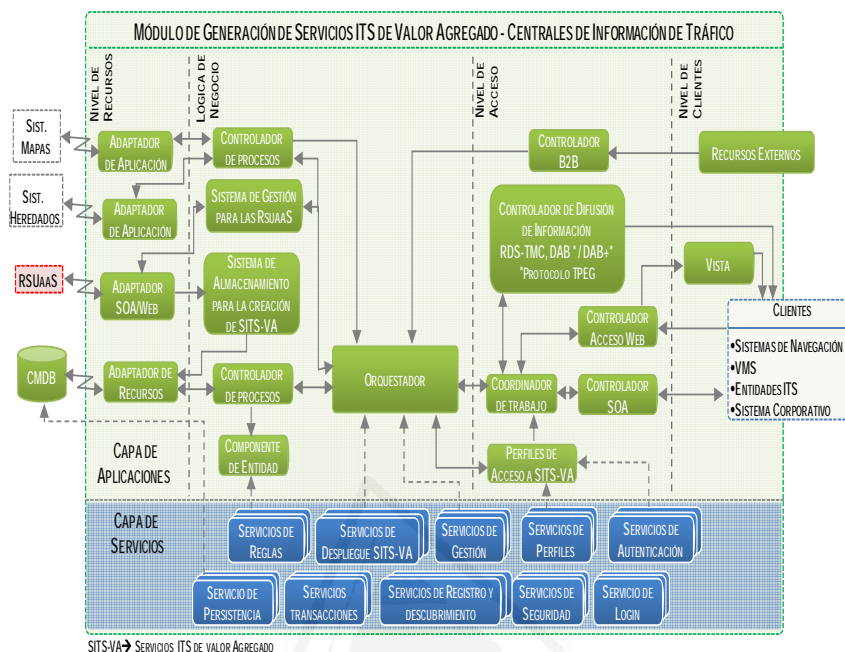


Figura 59. Arquitectura conceptual del módulo de generación de servicios ITS de valor agregado

representativas utilizadas en las centrales de información de tráfico.

Dicho módulo explota las potencialidades y características conseguidas por el nuevo módulo de monitorización, o lo que es lo mismo, por la RSU_{AA}S que, para este nuevo módulo, actúa como recurso fundamental de servicios de monitorización y de gestión.

Su arquitectura conceptual, conserva los mismos lineamientos expuestos por (Harmon *et al.*, 2001) para la arquitectura e-business, así como, los expuestos por los principales organismos ITS pero concretamente, los analizados por el grupo de trabajo uno (1) del comité técnico TC 204 en relación con la arquitectura ITS (analizados previamente en el capítulo de cuatro). Además, incluye, los lineamientos emergentes propuestos por la asociación de servicios de información al viajero mediante la utilización del estándar ITS (ISO_24530, 2006) relacionado con el despliegue de información mediante canales de radiodifusión de datos desde las centrales de información de tráfico.

A continuación, analizaremos las capas y por ende los niveles que lo conforman.

Capa de Servicios

Como fue mencionado en el capítulo cinco (5), nuestro modelo hace uso de las arquitecturas SOA en dos puntos, es decir, entre el nivel de monitorización y el nivel de negocio y entre el nivel de negocio y el nivel del usuario. Sabiendo lo anterior, a continuación describimos los servicios que recoge dicho módulo con respecto a los niveles mencionados y a los niveles de distribución expuestos por Harmon.

Sabiendo que hemos aplicado el mismo planteamiento de servicios tanto para la RSU_{AAS} como para central de información de tráfico es preciso mencionar que existen similitudes entre los nombres de los servicios empleados. No obstante, los servicios empleados por el módulo de generación de SITS-VA están enfocados a las necesidades de las centrales de información de tráfico y a sus respectivos clientes. En este sentido, a continuación, describimos dichos servicios.

Servicio de Persistencia: encargado de apoyar las operaciones de escritura y lectura de los sistemas de almacenamiento o bases de datos, tanto de los ubicados al exterior de la central de información de tráfico como de los ubicados en su interior.

Servicio de Reglas: encargado de establecer las políticas y las estrategias globales para la gestión adecuada de la central de información de tráfico (CIT) y asimismo, de sus sistemas. De la misma forma, apoya los procedimientos de gestión de información y más cuando se presentan imprevistos tales como accidentes de tráfico, catástrofes, persecuciones, entre algunos otros.

Servicio de Transacciones: encargado de apoyar el soporte de las transacciones de servicios generados en las CIT y sus demandantes de servicios. Concretamente, apoya a las actividades de los componentes distribuidos para garantizar que la CIT, en todo momento asegure la prestación de servicios.

Servicio de Despliegue de SITS-VA: encargado de garantizar que los SITS-VA se desplieguen adecuadamente para que puedan ser posteriormente consumidos por los clientes finales. Además, está basado en el análisis del registro UDDI donde, son publicados los SITS-VA.

Servicio de Registro y Descubrimiento: encargados de sustentar tecnológicamente el paradigma SOA, concretamente apoyan los procesos de publicación y descubrimiento de servicios tanto de los publicados por los controladores de tráfico o en su caso por el sistema orquestador de servicios o por las RSU_{AA}S.

Servicio de Gestión: relacionados con los sistemas tanto internos como externos de la CIT. A nivel interno, se encargan de garantizar el funcionamiento de las plataformas principales para la infraestructura de transporte tales como los sistemas de semaforización, sistemas VMS, sistemas CCTV, sistemas de redes de sensores inalámbricos, etc. Paralelamente, se encargan de configurar y gestionar las RSU_{AA}S, empleando para este fin, los diccionarios de datos relacionados con los sistemas de monitorización.

Servicio de Seguridad: encargados de desplegar los mecanismos de seguridad que protegerán por una parte, el acceso a los sistemas pertenecientes al CIT y por otra parte, a los sistemas externos que utilizan políticas remotas de acceso para el consumo de servicios.

Servicio de Perfiles: encargado de almacenar la información sobre los usuarios que hacen uso directo de los sistemas de la CIT. Como tal, ofrece a los controladores de tráfico el conocimiento sobre los usuarios que pueden gestionar o acceder a los sistemas instalados a lo largo de la infraestructura de transporte.

Servicios de Login: encargados de realizar la verificación de los datos de las personas (viajeros, peatones, conductores) o entidades (policía, bomberos, emergencias) que intentan acceder a los servicios ofrecidos por la CIT.

Servicio de Autenticación: servicio similar al empleado por la RSU_{AA}S dado que está enfocado a los aspectos de control de acceso mediante interfaces seguras bajo esquemas de WS-Security o para el caso únicamente web la utilización de protocolos como HTTPS.

Capa de aplicaciones

Como se observa en la Figura 59, presenta los mismos niveles de distribución que han sido descritos en el módulo de la RSU_{AA}S. No obstante, los componentes por los que está sustentada, difieren de forma significativa de los componentes de la RSU_{AA}S. Por este motivo, en este apartado, discutiremos los nuevos

componentes que hemos agregado para que sustenten de forma adecuada el módulo de prestación y generación de SITS-VA.

Nivel de Recursos

Presenta un nuevo componente llamado adaptador SOA/WEB, encargado de vincular los servicios de monitorización y gestión ofrecidos por la RSU_{AA}S. Además, permitirá atender las peticiones de servicios desde y hacia la RSU_{AA}S, por tanto, actúa como enlace para integrar las unidades de carretera con los centros de información de tráfico.

Nivel de Lógica de Negocios

Presenta tres nuevos componentes: el sistema de gestión para la RSU_{AA}S, un sistema de almacenamiento para la creación de servicios ITS de valor agregado y por último, el componente orquestador. El primero, ofrece una interfaz para que el controlador de tráfico pueda configurar y/o calibrar los sistemas gestionados por la RSU_{AA}S, es decir, los sistemas de monitorización y como tal la misma RSU_{AA}S. El segundo, responsable de recolectar la información extraída desde las RSU_{AA}Ss, es decir, la que traen consigo los servicios de monitorización y el tercero, es decir, el orquestador responsable de la coordinación e integración de los servicios de monitorización y de gestión que describen un proceso de negocio.

Este último componente, normalmente está conformado por diversos scripts que definen el mapa de servicios, generalmente, en formato XML Schemas que describen las estructuras de información y mensajes. En este punto, es importante destacar que el WG1 de TC 204 utiliza la recomendación 7 del W3C para de esta forma, conseguir la interoperabilidad de las aplicaciones ITS (ISO_24531, 2007) con otros actores demandantes de servicios. Este componente actuará como un motor de workflow para la interpretación en tiempo de ejecución de secuencias de servicios.

Igualmente, el componente orquestador debe ser gestionado por los controladores de tráfico ya que son ellos quienes analizan y componen los servicios ITS de valor agregado empleando para ello la información de distintas fuentes como lo son: los sistemas heredados, las RSU_{AA}S, la información de otros centros de tráfico, entidades ITS y algunos otros sistemas externos.

Nivel de Acceso

Conformado por los siguientes componentes: el controlador de difusión, responsable de difundir la información de tráfico por los canales de radio difusión de datos (RDS-TMC, DAB, DAB+); el coordinador de trabajo, encargado de coordinar las peticiones de los servicios ITS de valor agregado generadas desde el nivel de clientes; el controlador B2B, responsable de integrar los servicios ITS externos con la central de gestión de información de tráfico y de analizar la información procedente de otras centrales de tráfico u otras entidades ITS; y por último, el componente de perfiles, encargado de dar permiso a los usuarios registrados para lograr el consumo de servicios ITS de valor agregado.

Nivel de Clientes

Contiene dos componentes, la Vista y el componente asociado a los recursos externos. El primero encargado de establecer la interfaz de usuario con los clientes demandantes de servicios ITS de valor agregado; y el segundo, responsable de proveer la interfaz de usuario para el intercambio de información con los proveedores de servicios ITS externos.

En este sentido, el componente Vista establece la capa de presentación adecuada de los servicios ITS de valor agregado dependiendo del sistema que demande sus servicios, es decir de su plataforma como tal (por ejemplo puede ser una plataforma tipo Windows, Android, IOS-Iphone, entre otras).

Retrocediendo un poco, es importante resaltar que el controlador de actividad, ubicado en el nivel de acceso es el que gestiona y controla el componente Vista, así que será el encargado de completar el patrón MVC (modelo vista controlador) (Fowler *et al.*, 2002) para que los usuarios puedan interactuar con dichos servicios.

Además, el componente Vista, utiliza los patrones Facade y Command (Gamma *et al.*, 1995), lo que garantiza que los servicios invocados desde los clientes cumplan por una parte, con las características de desacoplamiento necesarias para el despliegue de tales servicios y por otra parte, con la encapsulación de la lógica de negocio que dichos servicios son capaces de ofrecer.

Por su parte, el componente llamado recursos externos permite a otros centros de información de tráfico u otras entidades el

intercambio de información a través de protocolos estandarizados de ITS tales como, NTCIP 2306 (AASHTO *et al.*, 2008) o el nuevo enfoque europeo llamado DATEX II (Wei-Feng *et al.*, 2008) lo cual garantiza la interoperabilidad y la compatibilidad entre las diferentes plataformas que componen el núcleo de los ITS.

Por último, centrándonos un poco más en los clientes es preciso destacar que de acuerdo a nuestra arquitectura los sistemas de mensajería variable o VMS tienen la posibilidad de consumir los servicios ITS de valor agregado siempre y cuando incorporen un motor de interpretación o traducción capaz de decodificar la información contenida en el servicio enviado. Lo anterior, garantizaría más la seguridad y el confort de los usuarios ITS, principalmente para los usuarios que no son poseedores de un dispositivo con capacidades de consumir servicios como lo son los sistemas de navegación orientados a servicios.

Por otra parte, para abordar de forma coherente cómo serán desplegados los servicios ITS de valor agregado, la arquitectura técnica y el modelo propuesto ofrecen distintas interfaces, implementaciones y vistas consideradas como componentes de software distribuidos y son explicados a continuación.

Dado que se han planteado dos Arquitecturas SOA, en primer lugar, veremos los contenedores de componentes asociados a la RSU_{AA}S y en segundo lugar, los asociados al módulo de generación de servicios ITS de valor agregado.

Cada contenedor es poseedor de una serie de servicios, responsables de proporcionar la información coherente a cada cliente tanto para el módulo de monitorización como para el módulo de generación de servicios ITS de valor agregado. Los contenedores entonces, tendrán la capacidad de comunicarse bajo un esquema orientado a servicios con el fin de ofrecer la mejor información acerca de la infraestructura de transporte.

Contenedores de componentes para la RSU_{AA}S

La RSU_{AA}S presenta tres clases de clientes, el nodo VANET, el cliente web y el cliente principal es decir, el centro generador de servicios ITS de valor agregado (explicado anteriormente). Todos, encapsulan las clases necesarias para que un servicio ITS sea desplegado adecuadamente.

Además, cada componente de software distribuido sigue el esquema básico de la arquitectura conceptual empleada. En este

sentido, se distinguen las mismas capas que han sido mencionadas en apartados anteriores, es decir, la capa de servicios y la capa de aplicación. Ambas, encapsulan las funcionalidades necesarias que permiten desplegar los servicios ITS de forma coherente.

Contenedor de componentes para el cliente VANET

Encapsula los servicios más determinantes que permiten alcanzar el despliegue de servicios ITS de valor agregado (ver Figura 60) sobre una red vehicular. Los servicios expuestos pueden estar contenidos en una unidad de abordo que posea las aplicaciones orientadas a servicios para que los servicios ITS de valor agregado sean fácilmente desplegables y consumibles. Este contenedor como los demás que serán analizados a continuación, posee características de independencia, posibilitando así, el despliegue físico de nuestro modelo.

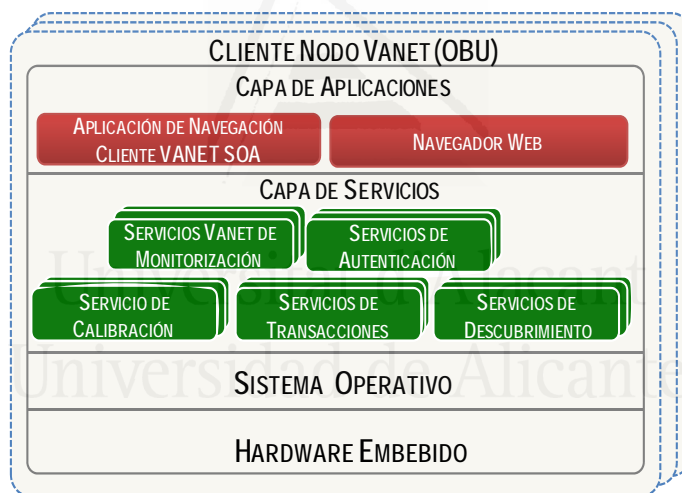


Figura 60. Arquitectura conceptual de componentes distribuidos para el cliente VANET

Contenedor de componentes para el cliente Web

Encapsula los componentes necesarios que permiten al usuario externo consumir los servicios ofertados por la RSU_{AA}S (servicios de monitorización y de gestión). Por lo tanto, incluye los servicios más relevantes que atienden debidamente al cliente web tales como: los servicios de login, de transacciones y de descubrimiento (ver Figura 61).

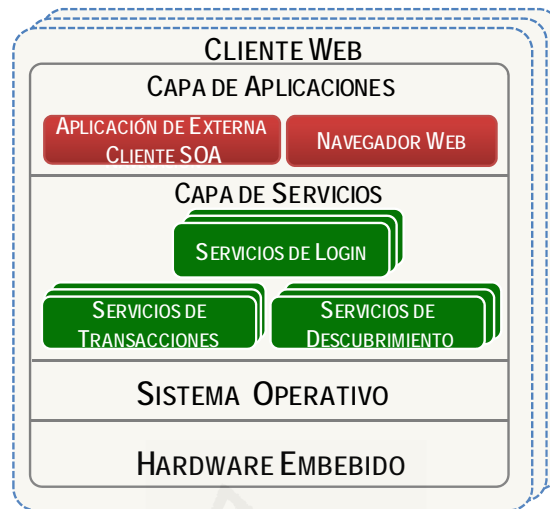


Figura 61. Arquitectura conceptual de componentes distribuidos para el cliente web

Contenedores de componentes asociados al módulo de generación de servicios ITS de valor agregado

Tiene gran cantidad de clientes pero los hemos agrupado en tres clases principales. La primera, centrada en los sistemas de navegación; la segunda, centrada en las entidades ITS (Policía, bomberos, centros de emergencias, etc.) y en los sistemas corporativos; y la tercera, centrada en los sistemas encargados de la mensajería variable.

Componente distribuido orientado a los Sistemas de Navegación

Es el principal componente de software distribuido de nuestra propuesta ya que la mayoría de servicios ITS de valor agregado pueden ser consumidos a través de él.

Al igual que en los contenedores de componentes de la RSU_{AA}S, el componente de los sistemas de navegación, sigue el esquema arquitectónico conceptual utilizado en el planteamiento de nuestro modelo. Por lo tanto, presenta dos capas, la de servicios y la de aplicación (ver Figura 62).

Como se observa en la Figura 62, la capa de servicios sustenta las aplicaciones de los sistemas o dispositivos con capacidad de navegación, permitiendo que el usuario ITS pueda consumir los servicios ITS de valor agregado.

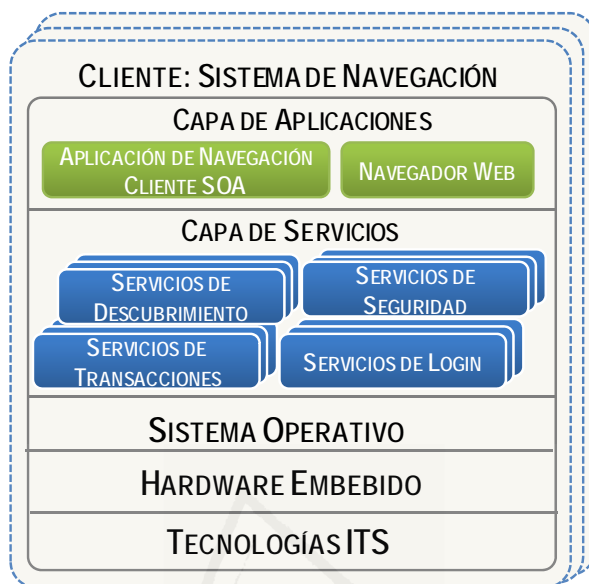


Figura 62. Arquitectura conceptual de componentes distribuidos para los sistemas de navegación

Recordando lo que fue analizado en el capítulo cuatro, los servicios ITS precisan de diversas tecnologías ITS para satisfacer el despliegue coherente de servicios, por ello, vamos a profundizar un poco más en la arquitectura conceptual de dicho componente.

El sistema de navegación o OBU avanzada, debe proporcionar: las tecnologías ITS más avanzadas en el despliegue de servicios, los paradigmas TI más destacados en las nuevas arquitecturas e-business y por último, las aplicaciones orientadas a la navegación que permitan la convergencia de servicios ITS de valor agregado.

Teniendo los elementos mencionados, hemos planteado su arquitectura conceptual que permitiría el despliegue coherente y estandarizado de servicios ITS de valor agregado (ver Figura 63).

Componente distribuido para las entidades ITS o los sistemas corporativos

Responsable del intercambio de servicios ITS de valor agregado con las entidades más importantes que apoyan en todo momento la infraestructura de transporte (ver Figura 64). Para su construcción se han incorporado los servicios que permiten el

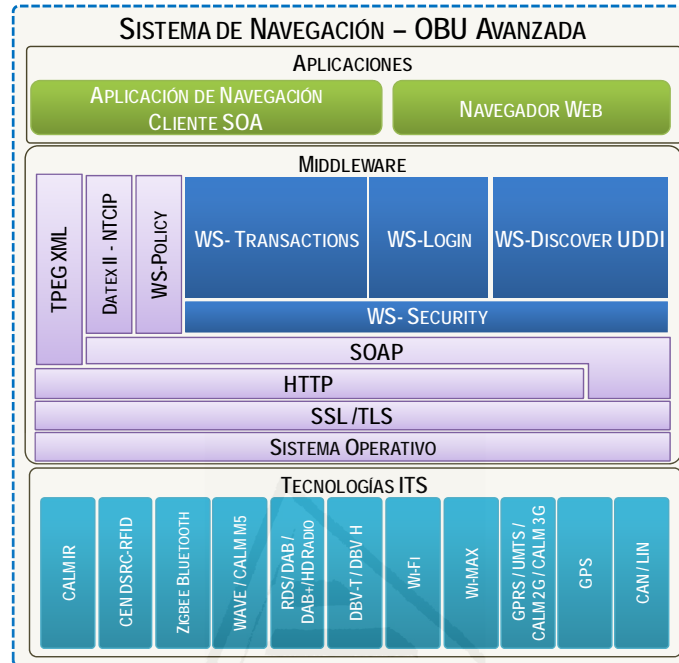


Figura 63. Componente conceptual para el sistema de Navegación o OBU avanzada

intercambio de información entre la central de información de tráfico y las entidades ITS tales como: los bomberos, la Policía, los centros de emergencia, los mismos centros de información de tráfico, entre algunos otros.

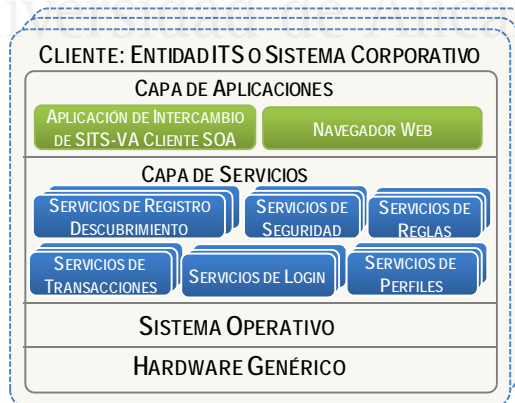


Figura 64. Componente conceptual para el intercambio de Servicios ITS de valor agregado con entidades ITS o sistemas corporativos

Como se observa en la Figura 64, incorpora dos nuevos servicios, el de perfiles y el de reglas. El primero controla y otorga los privilegios de usuario, y el segundo, establece las políticas globales para la prestación de servicios ITS de valor agregado, en especial, cuando sucede algún imprevisto (accidente de tráfico, derrumbe, etc.) sobre la infraestructura de transporte.

Desde el punto de vista de estandarización ITS, este componente debe ser capaz de intercambiar mensajes utilizando las normativas: NTCIP 2306 (AASHTO *et al.*, 2008), DATEX-ASN (ISO_14827, 2005) basada en XML Shemas (ISO_24531, 2007) y el nuevo enfoque Europeo ES5 - DATEX II (EasyWay, 2010).

Componente distribuido para los VMS

Presenta gran atención en nuestra arquitectura conceptual dado que es la forma más simple en que el usuario ITS puede interactuar de forma dinámica con la infraestructura de transporte, y más, cuando no es poseedor de un sistema de navegación.

De esta forma, dicho componente (ver Figura 65) consume los servicios publicados desde la CIT, relacionados con el estado de la carretera, las incidencias en la carretera, la prevención de accidentes y los estados de los aparcamiento, entre algunos otros.

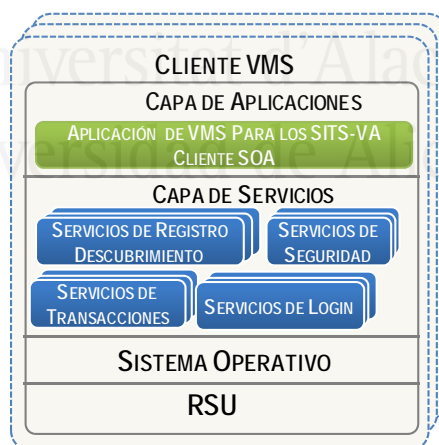


Figura 65. Componente conceptual para los VMS

Como se observa de la Figura 65, la arquitectura conceptual de este componente, permite que un VMS pueda consumir servicios ITS de valor agregado bajo el esquema orientado a servicios por lo

que los mensajes enviados desde la CIT son fácilmente desplegables a lo largo de la infraestructura de transporte.

Despliegue de Componentes sobre el escenario ITS

Sabiendo la función que ejerce cada componente de acuerdo a nuestro modelo y por ende a su arquitectura, a continuación, esbozamos la distribución (ver Figura 66) de cada componente sobre el escenario de los ITS.

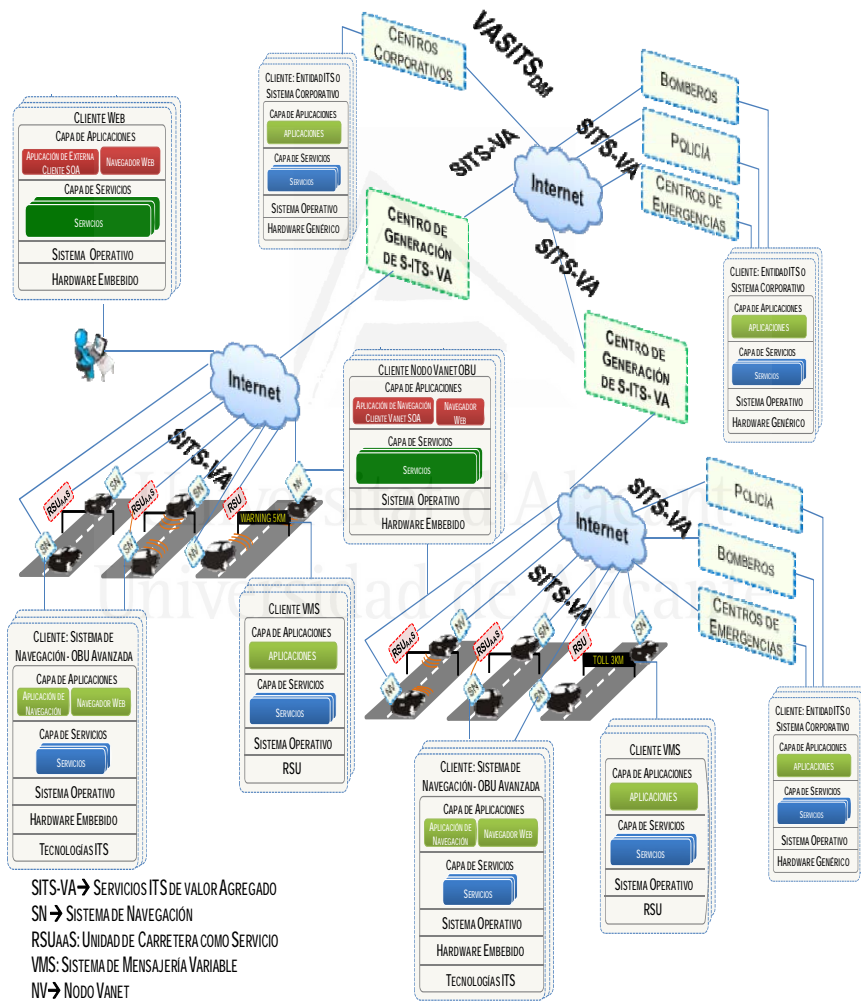


Figura 66. Despliegue de Componentes distribuidos para el modelo VASITS

La Figura 66 contiene cada uno de los módulos que han sido analizados en este capítulo y los contenedores de componentes distribuidos que sustentan la arquitectura conceptual propuesta. En este sentido, se puede observar que las Unidades de carretera como servicio, estarán desplegadas sobre la infraestructura de transporte, controlando diversos sistemas de monitorización. De la misma forma, se observa como el centro de generación de SITS-VA o también centro de información de tráfico es el responsable de canalizar los servicios de monitorización y de gestión que tienen lugar a lo largo de las carreteras. Cada componente distribuido presenta sutiles diferencias para la capa de servicios lo que indica que cada cliente tiene distintos privilegios para acceder al consumo SITS-VA.

Conclusiones

En este capítulo se ha planteado la arquitectura conceptual para el modelo VASITS_{DM}, ha sido expuesta la arquitectura para la unidad de carretera como servicio (RSU_{AA}S), elemento importantísimo que permite la convergencia de servicios ITS de valor agregado y, ha sido expuesta la arquitectura para el centro de generación de servicios ITS de valor agregado, núcleo de nuestro modelo.

La RSU_{AA}S y el Centro de Generación de Servicios ITS de Valor Agregado incorporan según nuestra arquitectura las exigencias requeridas por las arquitecturas ITS, las arquitecturas e-business y los nuevos paradigmas que permiten la convergencia de servicios.

El contenedor de componentes tanto para la RSU_{AA}S como para el centro de generación de servicios ITS de valor agregado funciona bajo esquemas de computación distribuida garantizando así, la escalabilidad del sistema en el escenario ITS.

La arquitectura propuesta para el modelo VASITS_{DM} garantiza la integración, la compatibilidad, la interoperabilidad y la expansión no sólo de las tecnologías ITS sino también de sus servicios. Además, la utilización del paradigma SOA genera una gran expectativa para incorporar nuevos modelos de negocio para los ITS y permite alcanzar en buen grado, la especialización debido a que el esquema de servicios garantiza la interoperabilidad entre las diversas soluciones tecnológicas ITS.

Capítulo Séptimo

Caso de Estudio

El presente capítulo tiene como objetivo diseñar los experimentos, su implementación y presentar las pruebas generales que avalen la viabilidad de nuestro modelo.

Para la realización de los experimentos, ha sido necesario el diseño y la implementación de un escenario ITS adecuado.

Antes de comenzar a describir tal escenario, es preciso hacer notar que el contexto de nuestra investigación, enfocado hacia la creación de un modelo de prestación de servicios en el ámbito de los ITS, debe de forma general incorporar las herramientas necesarias que proporcionen la interoperabilidad, compatibilidad, integración y expansión de las tecnologías y de los servicios en el campo de los ITS.

El escenario experimental propuesto se enmarca sobre dos de las áreas del plan de acción Europeo para el despliegue de los ITS (European Commission, 2008a), específicamente, las relacionadas con el óptimo uso de las carreteras, el tráfico, los datos del viaje, y la seguridad de las carreteras.

Sobre las áreas mencionadas se desprenden una gran cantidad de servicios de los cuales, tomaremos uno de los más relevantes para los usuarios ITS con el fin de validar nuestro modelo. De esta forma, hemos elegido los servicios asociados a los sistemas de gestión de aparcamientos, fundamentales para el contexto general de los ITS, con el fin de aplicar todos los elementos y

componentes que hemos citado en la conformación de nuestro modelo y su arquitectura.

Tales servicios presentan una gran atención por parte de la comunidad científica del transporte ya que propician la movilidad, la seguridad y el confort de los usuarios ITS. Además, fueron denotados por el decimo sexto Congreso Mundial de Sistemas Inteligentes de Transporte y Servicios (ITS-Congress-Association, 2009) en el que toman parte las mayores asociaciones de ITS tales como ERTICO, ITS América (ITSA, 2009), ITS Japón (ITS-Japan, 2009); como una de las principales áreas de investigación de los ITS.

Específicamente, uno de los servicios más relevantes asociados a los sistemas de aparcamiento, es el descubrimiento de lugares libres para aparcar al momento de culminar el viaje, antes del viaje o durante el viaje. Asociado con un plan de viaje, el problema de aparcamiento se considera como un servicio de última milla. Es un problema abierto cuya resolución aportaría grandes beneficios tanto para los usuarios finales de forma individual mediante una considerable reducción de los tiempos de viaje como, de forma colectiva, con la disminución del tráfico, consumo de combustible y emisión de gases tóxicos a la atmósfera.

Los sistemas de aparcamiento, conformados por gran cantidad de sistemas tecnológicos ad-hoc, en su mayoría no tienen la capacidad de ofrecer sus servicios de forma general a los usuarios, principalmente por la poca utilización de los estándares ITS en el despliegue de sus servicios asociados. De la misma forma, aunque las soluciones en TIC se han posado sobre tales sistemas, aún faltan los lineamientos adecuados que propendan a la prestación de sus servicios de forma integral para sus usuarios.

En este sentido, tomando como referencia las acciones planteadas es preciso remarcar que los sistemas de aparcamiento o parking desde tiempo atrás han sido concebidos para aliviar los problemas de congestión del tráfico, tan es así que incluso desde el año de 1982, en Japón, se comenzó a construir sistemas tecnológicos para tal fin (Sakai *et al.*, 1995).

Hoy en día, diversas asociaciones enfocadas directamente al sector del aparcamiento trabajan específicamente para mejorar sus sistemas y sus servicios, dentro de ellas pueden destacarse la Asociación Nacional de Aparcamientos de EEUU (National

Parking Association –NPA), el Instituto Internacional de los sistemas de Aparcamientos (International Parking Institute –IPI) y la Asociación Europea de Aparcamientos (European Parking Association –EPA) (EPA, 2009). Tales asociaciones e institutos forman parte de la red profesional de aparcamientos, llamada Parking Network (Parking-Network, 2009), y buscan de forma general que los servicios asociados al aparcamiento sean ofrecidos adecuadamente dado que forman parte de la cadena de movilidad que contribuye al bienestar humano y la vida económica.

La importancia de los aparcamientos es tan alta que sus escenarios se extienden a las estaciones de tren, a los aeropuertos, a las estaciones de autobús, a los centros de alta concentración de personas tales como los estadios, las universidades, los centros de ocio y parques de atracciones entre otros. De la misma forma, de tales sistemas surge el escenario de transporte intermodal, haciendo referencia a las estaciones de transporte marítimo, terrestre y aéreo.

Según el contexto expuesto, vemos que los sistemas de aparcamiento son una parte esencial de los ITS, por ello comienzan a incorporar nuevas soluciones basadas en tecnologías emergentes con el fin de alcanzar la prestación de servicios. Tales soluciones aún deben incorporar mayores estándares ITS para llegar a prestar sus servicios adecuadamente y deben estar sustentadas sobre el modelo general de los ITS o en su caso, sobre la arquitectura ITS desplegada. Sin embargo, existen muchos trabajos únicamente focalizados sobre el desarrollo de sistemas de aparcamientos que lastimosamente no son fácilmente integrables al escenario general de los ITS a causa de la utilización de soluciones TI muy ad-hoc, mencionemos algunos de los más relevantes.

En (Panayappan *et al.*, 2007) se propone un modelo para la localización eficientemente de lugares de estacionamiento mediante redes VANET, su diseño es realizado con tecnologías altamente acopladas por lo que sus servicios son difícilmente desplegables a los usuarios que no hagan parte del ambiente VANET.

Por su parte, (Lee, S. *et al.*, 2008) proponen la utilización de WSN como solución para generar sistemas de guía de tráfico inteligente asociados a las aplicaciones de estacionamiento. La cuestión es que la forma de diseñar tal solución dificulta el

despliegue de servicios ya que no presenta un esquema adecuado para su prestación para los usuarios ubicados al exterior del aparcamiento.

Los dos trabajos mencionados forman parte del gran conjunto de sistemas que se desarrollan exclusivamente para el escenario de aparcamientos y, en su mayoría, buscan la prestación del servicio pero únicamente a nivel local y debería ser a nivel general, es decir, a lo largo de la infraestructura ITS. Lo anterior se menciona para exponer que la mayoría de soluciones para los aparcamientos están enfocadas a la gestión de los mismos y no a la prestación de sus servicios hacia el exterior del emplazamiento. Por tanto, tales servicios, es decir, los prestados hacia la infraestructura de transporte son los que más benefician a los usuarios ITS, por ello, el servicio de plazas libres de aparcamiento es considerado como un servicio ITS de valor agregado.

Como lo discuten (Yan *et al.*, 2008) y (Caliskan *et al.*, 2006) el aparcamiento es caro y limitado en las mayores ciudades del mundo y lo peor es que la mayoría de los estacionamientos son desperdiciados por el usuario ITS. Además, cuando un conductor está en busca de una plaza de aparcamiento, debe enfrentarse a dos problemas, el primero, su búsqueda como tal y el segundo, la frustración y la pérdida de tiempo que tal hecho incurre al no encontrarlo. Por ello, (Caliskan *et al.*, 2006) asegura que encontrar una plaza libre de aparcamiento es uno de los mayores problemas que afecta seriamente a la movilidad de los usuarios ya que ocasiona que el tráfico se vea fuertemente afectado, a tal punto que representa una pérdida de tiempo de hasta 150.000 horas, ocasionan costes que ascienden hasta los 20 millones de Euros y por si fuera poco, eleva drásticamente que el consumo de combustible, provocando costes extras de hasta 3.5 millones de euros lo que obviamente, no contribuye al cuidado del medio ambiente como tal.

En este orden de ideas y según el contexto propuesto por la investigación, el escenario de los sistemas de aparcamiento se hace idóneo para la evaluación de nuestro modelo, siempre y cuando involucre los lineamientos asociados a la prestación de servicios no sólo de cara al usuario sino también de cara a la infraestructura de transporte.

Para llevar a cabo la validación e implementación del modelo hemos utilizado las instalaciones de la Universidad de Alicante,

específicamente las asociadas a sus lugares de aparcamiento, para realizar nuestros experimentos ya que este complejo puede ser considerado como un pequeño escenario de los ITS.

Para abordar ordenadamente las pruebas, la validación y por ende su implementación, tomaremos de referencia sus capas asociadas, es decir, la capa de servicios y la capa de comunicación, con el fin de generar las soluciones respectivas a cada una de ellas para que propendan hacia la interoperabilidad, la integración, la compatibilidad y la escalabilidad requerida por los ITS para así, alcanzar la prestación de servicios ITS de valor agregado de forma adecuada.

De esta forma, hemos implementado un sistema general que sustenta de forma adecuada el servicio ITS de valor agregado asociado al descubrimiento de plazas libres de aparcamiento (servicio de última milla) para el escenario general de la Universidad, pequeña parte del escenario ITS. No obstante, tal servicio sólo es uno de los servicios que podría sustentar nuestro modelo.

El sistema diseñado incluye todos los elementos asociados al planteamiento del modelo y de su arquitectura lo que significa que contiene los elementos propicios que facilitan la prestación de tal servicio.

A continuación, describiremos los sistemas que componen el escenario de validación para nuestro modelo para los cuales se han realizado diversos experimentos con respecto a las tecnologías que emplean, con el fin de determinar su idoneidad al momento de utilizarse bajo en el contexto de prestación de servicios para los ITS.

Capa de Servicios

Según el modelo y la arquitectura propuesta, la capa de servicios incluye tres niveles, el nivel de monitorización atribuido según nuestra arquitectura al módulo de monitorización; el nivel de negocio atribuido al módulo de generación de servicios ITS de valor agregado y el nivel del usuario. Para cada módulo han sido diseñadas varias aplicaciones y sistemas ITS para sustentar de forma adecuada el servicio mencionado, a continuación, describimos su desarrollo.

Módulo de Monitorización

Según nuestro enfoque de servicios, tendremos en cuenta las tecnologías de monitorización y el componente transversal RSU, ambos, nos permitirán extraer los servicios asociados al aparcamiento siempre y cuando, extendamos correctamente el paradigma orientado a servicios para sus tecnologías asociadas.

Para su desarrollo, es preciso destacar que los sistemas de aparcamiento despliegan en su mayoría tecnologías cableadas de monitorización para determinar si una plaza de aparcamiento esta libre o ocupada.

No obstante, para nuestro escenario hemos elegido tecnologías inalámbricas basadas en redes de sensores, dado que sus características generales, dentro de las que se destacan, su ubicuidad, su bajo consumo de energía, su ancho de banda, su pequeño tamaño, su velocidad de procesamiento y su gran capacidad para cubrir grandes perímetros, las hacen idóneas para apoyar el servicio planteado.

Específicamente, emplearemos una solución de redes de sensores inalámbricos diseñada por la compañía Crossbow (Crossbow Technologies, 2008) en conjunto con la Universidad de Berkeley, llamada MicaZ (ver Figura 67).

Plataforma de sensores

Tal solución soporta el estándar IEEE 802.15.4, es decir, Zigbee; integra un microcontrolador ATmega 128L de 8 bits, tiene 128K de memoria de programa, incluye un módulo de memoria flash de 512K, soporta velocidades de transmisión máximas de 250 Kbps, y pesa 58 gramos excluyendo las baterías. La batería se compone de dos pilas AA, su consumo de corriente en modo activo es de 8 mA, y en modo hibernación es menos a 15 μ A.

Para evaluar de forma general su utilización y su funcionamiento, hemos diseñado una serie de experimentos con 12 nodos sensores que nos han permitido validar y medir sus bondades para el servicio planteado.

El primer experimento busca determinar la fiabilidad de la red de sensores como sistema de monitorización para las plazas de aparcamiento en concreto, busca determinar su capacidad para proveer la información que será empleada como servicio de monitorización por parte de la Unidad de carretera.



Figura 67. Plataforma MICAz y placa de instrumentación MTS310

Para realizarlo, hemos diseñado e implementado un algoritmo que, ejecutado en cada uno de los nodos sensores, es capaz de detectar cuándo la plaza de aparcamiento está libre u ocupada. Para la implementación de tal algoritmo hemos utilizado el sistema operativo TinyOS y el lenguaje de programación nesC, ampliamente soportados por gran cantidad de plataformas de nodos sensores de tal forma que suministre adecuadamente la información asociada a los lugares de aparcamiento y paralelamente, propenda a la compatibilidad de tecnologías y al mismo tiempo a su interoperabilidad.

El algoritmo toma de referencia diversas librerías del sistema operativo TinyOS, así como también, nuestras propias librerías con el fin de proveer los módulos y las interfaces necesarias capaces de sustentar los servicios de monitorización. A partir de tal implementación hemos construido nuestro diccionario de datos para la RSU con el fin de que sean ofrecidos los servicios que sustentan la red de sensores.

De tales librerías destacamos la que apoya el encaminamiento de la información, es decir, la asociada al protocolo XMesh dado que permite el intercambio de la información entre los nodos

sensores sin la necesidad de intervención humana (Turon *et al.*, 2007).

En nuestro experimento, la evaluación de tal protocolo es imprescindible por tanto, hemos analizado su métrica basada en el algoritmo de estimación EWMA (Woo *et al.*, 2003). Tal algoritmo, minimiza el número de transmisiones de paquetes entre los nodos cuando la información pasa a través de múltiples nodos de tal forma que pueda establecerse su comportamiento para garantizar que el servicio de monitorización se preste adecuadamente desde la Unidad de Carretera.

La métrica a evaluar minimiza el coste total para transmitir un paquete desde el nodo ubicado en el lugar de aparcamiento hasta la estación base de los nodos, conectada como tal a la unidad de carretera a través del puerto serie (WSN-RSU –Estación base de los nodos más la Unidad de Carretera). Para su evaluación hemos elegido el Aparcamiento de la Escuela Politécnica I, II y III (ver Figura 68) que cuenta con 98 lugares de aparcamiento y allí hemos desplegado nuestra red de sensores.

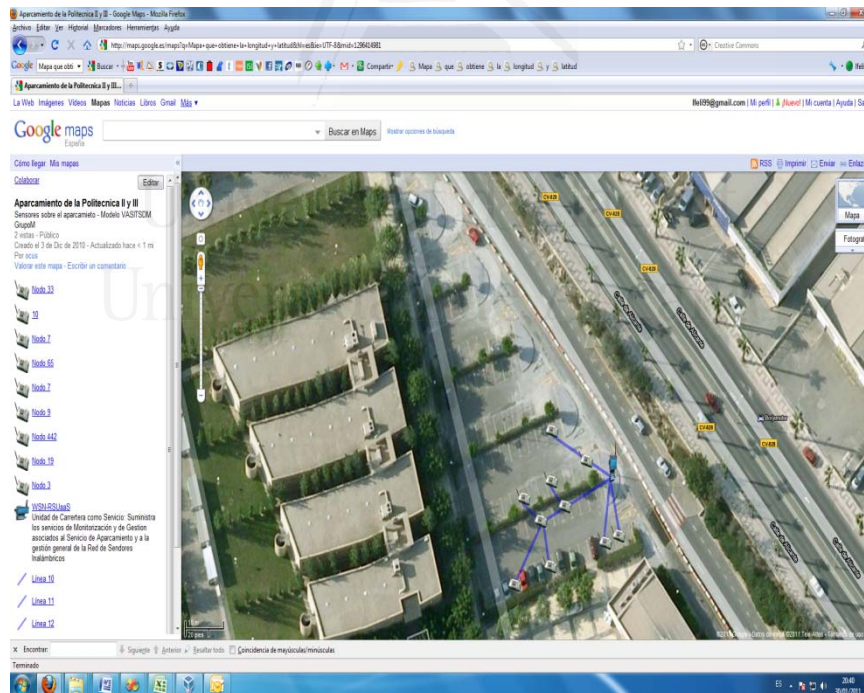


Figura 68. Escenario de despliegue de la WSN en el aparcamiento de la Escuela Politécnica I, II y III de la Universidad de Alicante

De este escenario es importante destacar que al momento desplegarse la red sobre el aparcamiento, se generan la mayoría de retransmisiones entre los nodos con el fin de que cada uno determine sus vecinos. Al hacerlo, *diversas tablas de enrutamiento* y un *patrón de estimación sobre la calidad del enlace* de los nodos son conformados.

Una de las cuestiones que podría suscitarse a partir de lo expuesto es el uso de métricas alternativas más eficientes como por ejemplo la asociada al vector distancia, basada en el mínimo número de saltos. Tal métrica podría aplicarse en las WSN ya que es altamente efectiva, pero al mismo tiempo, podría ocasionar grandes cantidades de retransmisiones lo que implica un incremento en el consumo energético de cada nodo. Por este motivo, podría afirmarse que un camino más largo con pocas retransmisiones puede ser más seguro que un camino más corto con muchas retransmisiones.

En este sentido, la mejor ruta es la que minimiza el número total de transmisiones para enviar un paquete sobre la red de sensores y a esto se le conoce como MT (mínimo número de transmisiones) (De Couto *et al.*, 2003). En consideración al número esperado de transmisiones de un enlace, es importante determinar la calidad del mismo en ambas direcciones (algoritmo EWMA), por ello, el coste de la MT es estimado por:

$$MT_{ToPariente} = \frac{1}{link_Quality_{forward}} * \frac{1}{link_Quality_{backward}}$$

Por otra parte, si el nodo que envía el estado del lugar de aparcamiento se encuentra enlazado a través de varios nodos (parientes) su coste será:

$$Coste\ del\ pariente = \sum (MT)$$

Por lo tanto, si calculamos el coste completo para un nodo será:

$$Coste\ del\ Nodo = \sum (MT) + MT_{ToPariente}$$

Para evaluar este coste es preciso mencionar que nuestro algoritmo ha sido construido para economizar la mayor cantidad de energía, por ello, funciona bajo demanda, es decir, el nodo únicamente transmitirá información cuando un aparcamiento es ocupado o desocupado y cuando se precise mantener la topología de red (mensajes esporádicos).

A continuación presentamos los resultados de los análisis mencionados que incluyen, la conformación de la red descrita, el coste planteado por la mínima transmisión (MT), y la fiabilidad de la red en términos de enrutamiento de paquetes.

Como fue mencionado el escenario cuenta con doce12 nodos, diez para determinar el estado de las plazas de aparcamiento, uno para recoger el tráfico asociado a la red de sensores (Sniffer) (ver Figura 69) y el nodo base conectado como tal a la unidad de carretera.

Para determinar la topología de la red de sensores hemos empleado la herramienta Moteview (Crossbow_Technologies, 2008) que toma la información contenida en cada sensor y expone el pariente del nodo sensor midiendo la estimación realizada por el algoritmo EWMA. Como se ha mencionado anteriormente tal estimación, referente a la calidad del enlace, es altamente variable y más, con respecto a la organización de los nodos sobre el aparcamiento por ello presentamos dos topologías (Ver Figura 70 y Figura 71).

Los diversos colores ilustrados por la herramienta Xsniffer están asociados a las transmisiones por difusión realizadas por los nodos sensores por ejemplo, rojo cuando un nodo sensor envía la información por broadcast a los demás nodos; azul cuando un nodo que no es la estación base envía un paquete a otro nodo; y verde claro cuando alguno de los nodos envía información directamente a la estación base.

Con respecto a las topologías ilustradas, los nodos utilizan la métrica planteada para establecer su organización y así proporcionar la información asociada a la plaza de aparcamiento. Como dato adicional, mencionamos que el sensor utilizado para la detección del vehículo es una fotorresistencia pero para los futuros escenarios será empleado un sensor óptico de mayor fiabilidad y menos consumo de corriente.

Al evaluar tal red, se constató que la fiabilidad de la transmisión es muy dependiente de la potencia de transmisión empleada por cada nodo, por ello, los configuramos a diversas potencias y obtuvimos su radio de transmisión (ver Figura 72). Al obtenerlo, decidimos emplear la potencia de 0.1mW o -10dBm ya que era la más adecuada para cubrir la distancia (2.5 metros) entre cada

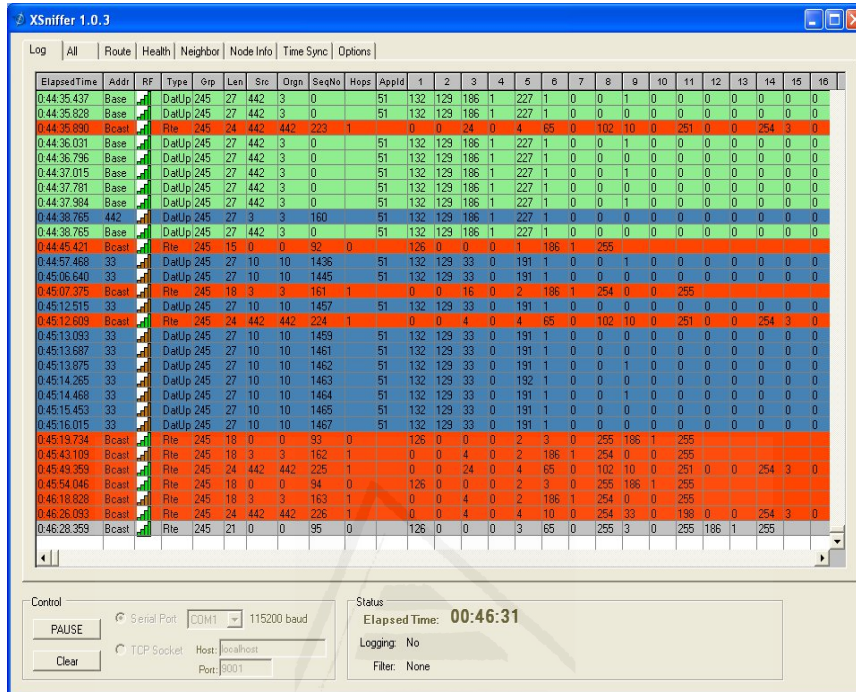


Figura 69. Herramienta Xsniffer empleada para adquirir el tráfico de la red de sensores

uno de los nodos sensores. No obstante, había algunos separados a cinco o seis metros y empleaban la misma potencia de transmisión.

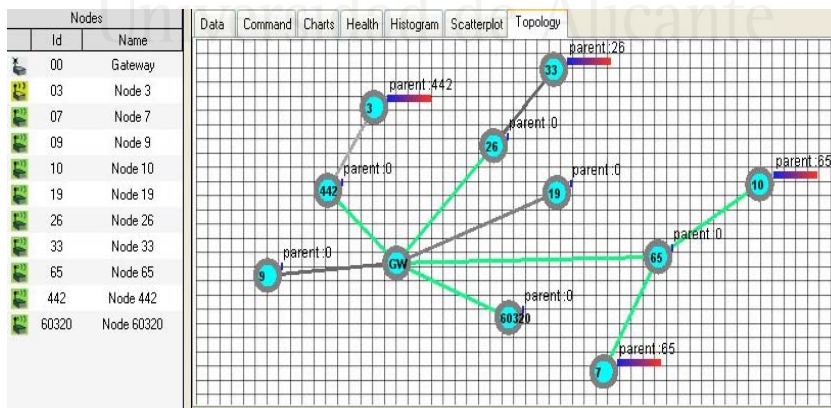


Figura 70. Topología 1 de la red de sensores desplegada en el aparcamiento de la Politécnica I II y III empleando la herramienta Moteview

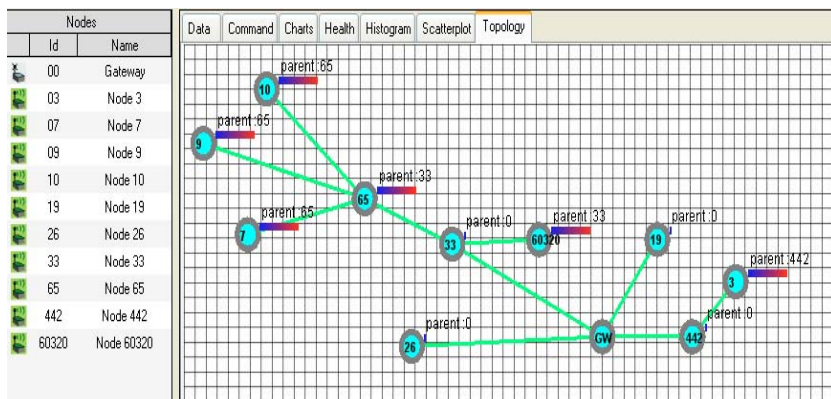


Figura 71. Topología 2 de la red de sensores desplegada en el aparcamiento de la Politécnica I II y III

Por último, obtuvimos los paquetes de información relacionados con el estado de la plaza de aparcamiento y es allí donde puede verse la efectividad del algoritmo de la mínima transmisión MT.

En este sentido, el coste de los nodos más cercanos a la estación base era mínimo, mientras que para los más alejados era mayor. A continuación presentamos los resultados obtenidos de la métrica de la MT, en concreto, para la topología 2 que fue la que mejor rendimiento obtuvo en el envío de la información de la monitorización (ver Tabla 31).

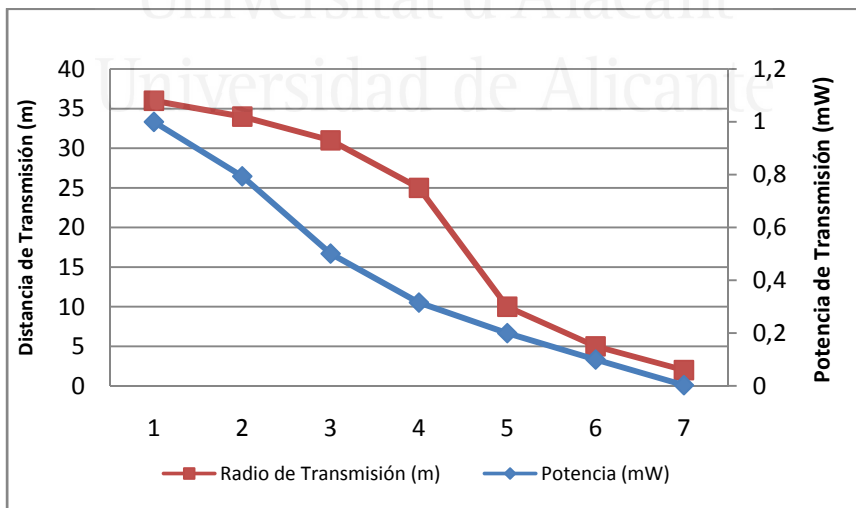


Figura 72. Relación entre la radio de transmisión y la potencia usada por el nodo sensor

Tabla 31. Métrica de la red de sensores para determinar cuando el aparcamiento esta libre o ocupado empleando la topología 2.

node	node_pkts	forwarded	dropped	retries	battery	quality_tx	quality_rx	path_cost
3	91,67 %	0 %	8,33 %	79,71 %	2,5 v	93,33 %	100 %	12
7	10,59 %	88,56 %	0,85 %	15,69 %	2,7 v	86,67 %	100 %	13
9	10,7 %	84,66 %	4,64 %	40,13 %	2,9 v	100 %	100 %	12
10	18,08 %	80,3 %	1,61 %	23,68 %	2,7 v	100 %	86,67 %	13
19	1,86 %	97,99 %	0,15 %	40,63 %	2,6 v	100 %	100 %	4
26	16,64 %	82,96 %	0,4 %	12,6 %	2,6 v	100 %	100 %	4
33	14,01 %	85,79 %	0,2 %	31,75 %	2,9 v	100 %	100 %	4
65	21,43 %	70,39 %	8,18 %	81,37 %	2,8 v	93,33 %	100 %	8
442	80,07 %	19,93 %	0 %	58,78 %	2,9 v	46,67 %	100 %	9
60320	1.45 %	98.4 %	0.15 %	38.12 %	2.7 v	100 %	100 %	8

La Tabla 31 compuesta por 9 columnas hace referencia a:

- El número del nodo (node),
- El porcentaje total de paquetes generados desde el último reinicio para cada nodo (node_pkts)
- El porcentaje de paquetes que el nodo envía desde otros nodos (forwarded),
- El porcentaje de paquetes que el nodo ha perdido (dropped)
- El porcentaje total de transmisiones que el nodo ha generado
- El nivel de la batería (battery)
- La calidad del enlace de transmisión (quality_tx)
- La calidad del enlace de recepción (quality_rx)
- Coste (path_cost)

De la misma tabla puede concluirse que los nodos más alejados a la WSN-RSU tienen más dificultad (7, 9 y 10) para transmitir la información asociada a la plaza de aparcamiento mientras que los conectados directamente a la estación base (19, 26, 33) tiene una mayor probabilidad de éxito. No obstante, el nodo 442 a pesar de estar conectado directamente a la WSN_RSU presentó una baja calidad de transmisión influyendo así en el coste de la métrica planteada.

Luego de evaluar el desempeño de las WSN como sistema de monitorización para el aparcamiento, es preciso abordar ahora

cómo puede ser integrado de pleno al contexto ITS para que aporte con sus bondades y beneficios a los requerimientos de los usuarios. En este sentido, a continuación presentamos una de las grandes aportaciones de nuestro trabajo de investigación relacionada con la conformación de una Unidad de Carretera capaz de sustentar el paradigma orientado a servicios, es decir la RSU_{AA}S.

Como es sabido, la RSU, identificada previamente como un elemento fundamental para la interconexión de los sistemas de monitorización y para el despliegue de escenarios VANET, debe incorporar los paradigmas de TI adecuados que posibiliten de forma coherente la prestación de servicios ITS de valor agregado.

En este sentido, para la conformación de esta nueva RSU_{AA}S hemos seguido las principales directrices demandadas por las centrales de información de tráfico en concreto, la utilización de nuevas soluciones embebidas para gestionar el tráfico de la infraestructura; de tal forma que tales soluciones incluyan los paradigmas más avanzados que posibiliten la convergencia de servicios.

Por ello, para elegir el dispositivo que actuaría como RSU tuvimos en cuenta varios requerimientos. El dispositivo debía ser lo más pequeño posible para facilitar su despliegue a lo largo de las infraestructuras ITS, debe sustentar los protocolos de las actuales RSU como por ejemplo SNMP (presentado como un protocolo de gestión para la RSU), debe igualmente integrar protocolos estándares para comunicación con las centrales de tráfico o en su defecto, tener las capacidades necesarias para implementarlos, y debe poseer conectividad de red ya sea cableada o inalámbrica para que facilite su gestión, entre otros.

De acuerdo a los requerimientos mencionados, hemos elegido un sistema de computación embebida de la marca MOXA, ampliamente utilizado en soluciones de ITS, específicamente el modelo W321 (MOXA, 2008) (ver Figura 73). El dispositivo ha sido seleccionado por sus características tanto de hardware como de software y de ambas, las más importantes son: microprocesador ARM a 192 MHz de 32 bits, 32 MB de memoria RAM, soporte de tarjeta SD para ampliación de memoria, bajo costo, pasarela Ethernet-serie, soporte Wi-Fi, sistema operativo uClinux 2.6, soporte de lenguajes C++ y C, Servidor Web integrado (Apache), respuesta a alta velocidad, características de

encriptación de datos, y dos puertos series del tipo RS232 /RS485, entre otros.

Teniendo en cuenta las características de este dispositivo embebido y en concordancia con los servicios de monitorización y de gestión mencionados en el transcurso de la investigación, el gran desafío consistió en extenderle el paradigma SOA para que fuera capaz de integrar una plataforma coherente basada en servicios web que posibilite la prestación de servicios de monitorización y gestión a lo largo de la infraestructura.

En este sentido, la WSN-RSU_{AA}S implementa un sistema de intercambio de servicios construido a partir de los componentes que constituyen nuestra arquitectura logrando entonces, la comunicación coherente entre el módulo de monitorización y el módulo de generación de servicios.

Según el servicio ITS planteado, la WSN-RSU_{AA}S incluye en la capa de aplicaciones diversos componentes que sustentan la recolección de información asociada al sistema de monitorización. Por tanto, los componentes asociados al adaptador de recursos y al controlador de Gateway RSU, este último perteneciente a la lógica de negocio, permiten el intercambio de información de forma estandarizada entre el puerto serie del dispositivo embebido y el nodo base de la red de sensores. Además, las tramas enviadas por los nodos sensores emplean mensajes estandarizados por lo que cualquier tipo de nodo sensor que utilice el sistema operativo TinyOS, podrá intercambiar datos con nuestra RSU_{AA}S. Esto último hace parte de los diccionarios de datos empleados por la RSU.

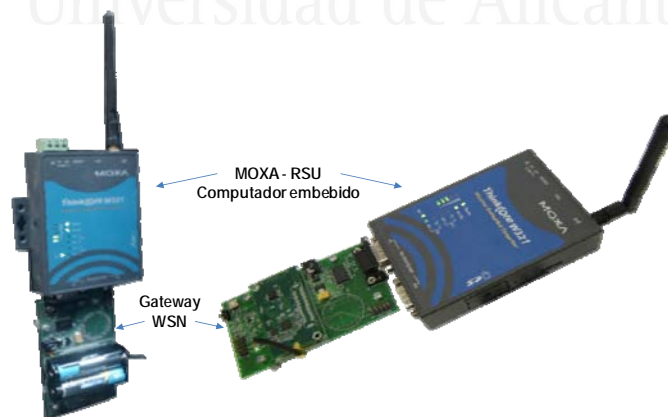


Figura 73. Dispositivo MOXA como WSN-RSU_{AA}S

Seguidamente, para la lógica del negocio, constituida por varios componentes, se implementaron varias aplicaciones. La primera, previamente mencionada, tiene la función de controlar el nodo base y sus nodos asociados, por ello la hemos llamado controlador de Gateway-RSU. La segunda, es el sistema de generación de servicios de monitorización empleado para almacenar los datos recogidos por los nodos sensores. A continuación la detallamos específicamente.

Para implementar tal aplicación la solución elegida fue SQLite que es un motor embebido de base de datos SQL y no necesita configuración de ni ningún tipo de servidor, su código es de dominio público y puede ser modificado para cualquier propósito comercial o privado (Bi, 2009). Al contrario que otros motores de base de datos, SQLite no necesita tener un proceso servidor. SQLite lee y escribe directamente sobre ficheros ordinarios. Es decir, una base de datos completa con sus múltiples tablas, índices, triggers y vistas están contenidas en un solo fichero. El formato de dicho fichero es multiplataforma, con lo cual puede ser perfectamente utilizado en arquitecturas de 32-bit y 64-bit o entre arquitecturas Big-endian y Little-endian indistintamente.

SQLite proporciona una librería compacta. Con todas sus características activadas, su tamaño no supera los 300KiB dependiendo del compilador y las opciones de optimización. SQLite también puede ser ejecutado para que emplee mínimo espacio en la pila (16KiB) o en el heap (100KiB). Esto hace que SQLite sea una perfecta opción para ser empleada en dispositivos con restricciones de memoria como pueden ser teléfonos móviles o PDA s. Describiendo detalladamente la base de datos implementada a continuación presentamos su diagrama Entidad-Relación Extendido (EER) para los sistemas de aparcamiento (ver Figura 74)

Continuado con las demás aplicaciones, para el controlador de actividad y para el controlador de procesos funcionan de forma automática a partir de las transacciones de servicios generadas en la RSU_{AA}S.

Para el nivel de acceso fue preciso que la RSU incluyera el módulo que permite desplegar el paradigma SOA para nuestra solución y así, alcanzar la interoperabilidad, compatibilidad, escalabilidad y por su puesto la integración de las tecnologías desplegadas a lo largo de la infraestructura, es decir, alcanzar nuestro concepto de RSU_{AA}S, concretamente WSN-RSU_{AA}S.

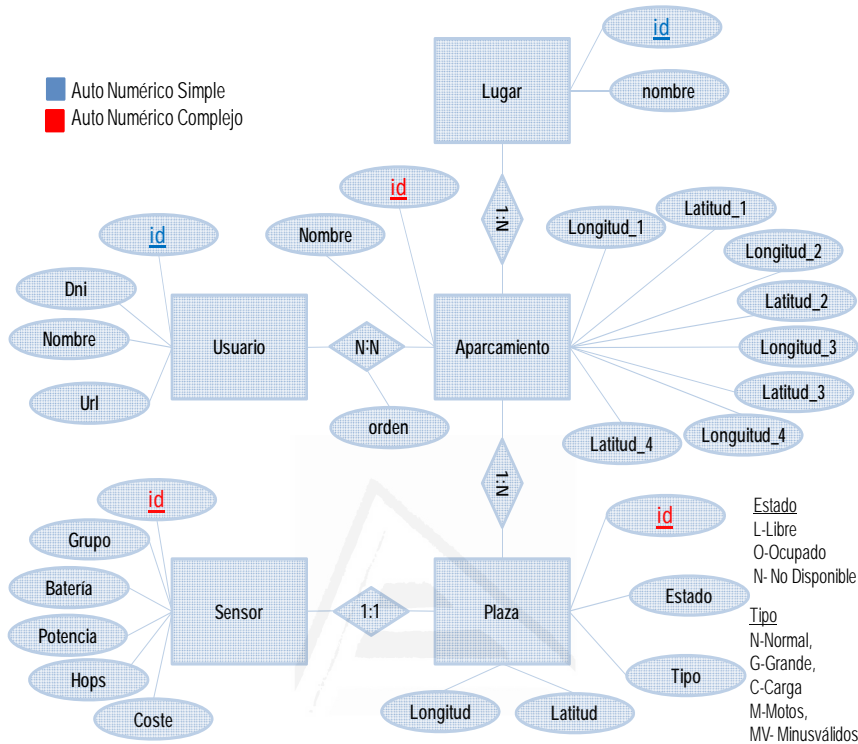


Figura 74. Diagrama entidad relación del sistema de base de datos para el servicio sustentado por la RSU_{AA}S

En este sentido, hemos implementado la aplicación que sustenta el paradigma SOA para conseguir nuestro concepto de RSU_{AA}S. Tal aplicación se complementa con las demás aplicaciones desarrolladas y de forma genérica permite la integración del paradigma orientado a servicios.

Para implementarla tuvimos la mayor dificultad ya que el sistema embebido elegido *no* soporta directamente protocolos orientados a servicios, es decir, SOAP, por lo que fue preciso integrarle de forma coherente tal plataforma para que sustentara el ambiente orientado a servicios.

Concretamente para desarrollar este módulo con los servicios asociados al servicio ITS planteado empleamos lenguajes estándar como C y C++.

Específicamente para cumplir con los estándares adecuados que precisan los ITS utilizamos de las varias implementaciones en C y C++ para el protocolo SOAP la solución gsoap, principalmente por sus características tales como adaptación a los dispositivos embebidos, solución de código abierto e independencia de la plataforma (Van Engelen *et al.*, 2003).

Al extender el paradigma SOA sobre la RSU elegida, hemos alcanzado el concepto de RSU_{AAS} logrando con ello elaborar un sistema altamente integrable, no sólo para el servicio elegido sino también, para la gran cantidad de servicios que otros sistemas de monitorización podrían ofrecer en el ambiente de los ITS. Al saber que tendremos una plataforma basada en servicios que puede ser ubicada a lo largo de la infraestructura será posible entonces, el despliegue coherente de servicios de monitorización y de gestión asociados a los sistemas desplegados.

De forma general para el módulo de monitorización fueron utilizadas las librerías que nos ofrecen tanto SQLite como gSOAP para implementar el acceso a la base de datos y para realizar las transacciones generadas por los mensajes SOAP. A partir de todas las aplicaciones desarrolladas, los diferentes servicios que ofrece la RSU_{AAS} es decir, los servicios de reglas, de transacciones, de perfiles, de calibración y como tal los servicios de monitorización, son completamente desplegados. Por último es preciso matizar que la RSU_{AAS} publican en el servidor de registro UDDI, los servicios mencionados para que sus clientes puedan explotar la funcionalidad de servicios.

Como es sabido, el cliente principal de tales servicios es el módulo de generación de servicios ITS de valor agregado, o como tal, la central de información de tráfico, a continuación describimos como fue construido el segundo módulo que sustenta nuestro modelo.

Módulo de Generación de Servicios ITS de Valor agregado

Se presenta como el cliente principal de la información suministrada por las RSU_{AAS} y tiene como función organizar, almacenar, difundir, componer y prestar los servicios ITS de valor agregado a los usuarios de la infraestructura. Para su implementación han sido diseñadas dos grandes aplicaciones, correspondientes a nuestra arquitectura las cuales, nos han

permitido avalar las bondades ofrecidas por los sistemas basados en servicios para los ITS.

La primera de ellas, ha sido desarrollada para medir el potencial de respuesta del ambiente orientado a servicios generado desde la RSU_{AA}S, además, incorpora el servicio de transacciones que permite verificar que los servicios generados por la RSU_{AA}S funcionen adecuadamente. Es importante destacar que este servicio hace parte de los servicios internos descritos por nuestro modelo y su fin es la gestión adecuada de las transacciones de servicios entre la RSU_{AA}S y el centro de generación de servicios ITS de valor agregado.

La segunda aplicación es de ámbito más general y complejo, concretamente, realiza las funciones del centro de generación de servicios ITS de valor agregado, por ello, incorpora los componentes apropiados de los diversos niveles descritos en nuestra arquitectura para prestar los servicios de valor agregado adecuadamente.

Antes de detallar específicamente el funcionamiento de ambas aplicaciones exponemos una de las mayores dudas que pueden surgir con respecto a la RSU_{AA}S y es, su capacidad de procesamiento y respuesta dado que ha sido implementada mediante dispositivos embebidos los cuales, algunas veces son tomados como inadecuados dadas sus limitaciones.

No obstante, es preciso aclarar que tales dispositivos ofrecen grandes características de computación y grandes capacidades de procesamiento por ello, la agencia para la investigación del transporte en los EEUU afirma que tales dispositivos serán incluidos para el desarrollo de futuras aplicaciones asociadas a la gestión de tráfico (RITA, 2009a).

Dado que hemos empleado una solución de este estilo para diseñar e implementar la RSU_{AA}S es preciso evaluarla mediante un experimento que, basado en generar una gran cantidad de solicitudes a la RSU_{AA}S, permite determinar su capacidad de respuesta para el esquema basado en servicios.

Concretamente, el experimento consiste en consumir constantemente los servicios de monitorización proporcionados por la RSU_{AA}S. Para ello, es fundamental la hoja WSDL que contiene la descripción de los servicios de monitorización asociados al sistema de aparcamiento (ver Figura 75 y Figura 76).

Específicamente, se enviaron a la RSU_{AA}S 150 peticiones en distintos lapsos de tiempo para analizar su comportamiento y respuesta. Ante tales peticiones, respondió de forma bastante rápida (ver Figura 77), en promedio tardó 1,56 segundos en procesar los mensajes SOAP que contenían la información respectiva a las plazas libres de aparcamiento.

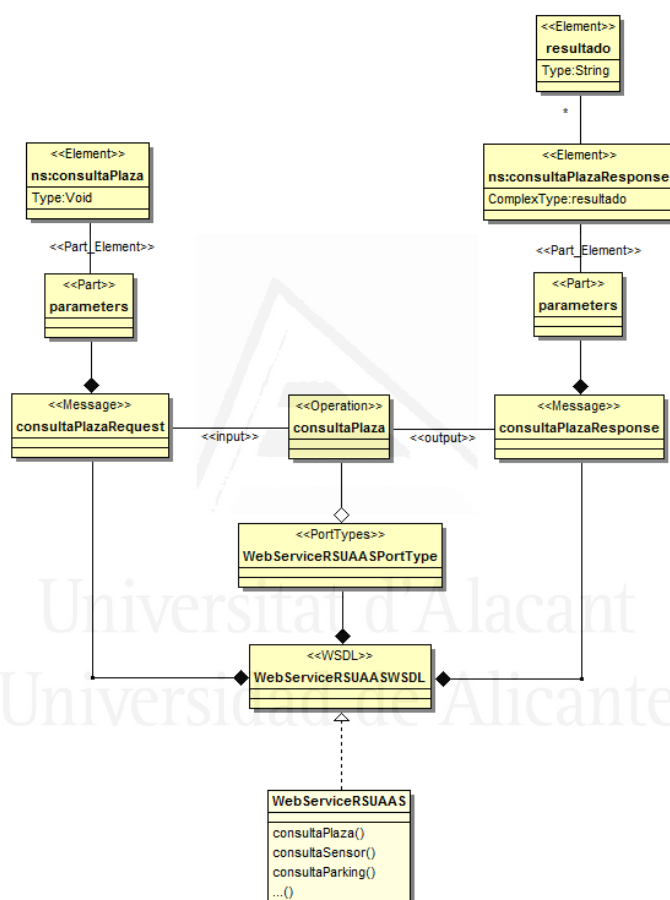


Figura 75. Diagrama UML del Servicio de consulta de plaza

La Figura 75 representa el diagrama UML del servicio *consultaPlaza()* que es sólo uno de los veinticinco servicios descritos en la WSDL correspondientes a la gestión del aparcamiento. Los restantes servicios están asociados a configurar: los lugares del aparcamiento, los sensores asociados a

una plaza de aparcamiento especial, los usuarios del servicio y sus preferencias, el alta de un nuevo sensor, la eliminación de lugares de aparcamiento y servicios paralelos que sustentan dichas operaciones, entre otros.

```

- <definitions name="webServiceRSUAAS" targetNamespace="webServiceRSUAAS">
  - <types>
    - <schema targetNamespace="urn:webServiceRSUAAS" elementFormDefault="unqualified" attributeFormDefault="unqualified">
      <import namespace="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" schemaLocation="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding/" />
      <!-- operation request element -->
      - <element name="consultaPlaza">
        - <complexType>
          - <sequence> </sequence>
        </complexType>
      </element>
      <!-- operation response element -->
      - <element name="consultaPlazaResponse">
        - <complexType>
          - <sequence>
            <element name="resultado" type="xsd:string" minOccurs="1" maxOccurs="1"/>
          </sequence>
        </complexType>
      </element>
    </schema>
  </types>
  - <message name="consultaPlazaRequest">
    <part name="parameters" element="ns:consultaPlaza"/>
  </message>
  - <message name="consultaPlazaResponse">
    <part name="parameters" element="ns:consultaPlazaResponse"/>
  </message>
  - <portType name="webServiceRSUAASPortType">
    - <operation name="consultaPlaza">
      <documentation>Service definition of function ns__consultaPlaza</documentation>
      <input message="tns:consultaPlazaRequest"/>
      <output message="tns:consultaPlazaResponse"/>
    </operation>
  </portType>
  - <binding name="webServiceRSUAAS" type="tns:webServiceRSUAASPortType">
    <SOAP:binding style="document" transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
    - <operation name="consultaPlaza">
      <SOAP:operation soapAction="" />
      - <input>
        <SOAP:body parts="parameters" use="literal"/>
      </input>
      - <output>
        <SOAP:body parts="parameters" use="literal"/>
      </output>
    </operation>
  </binding>
  - <service name="webServiceRSUAAS">
    <documentation>gSOAP 2.7.15 generated service definition</documentation>
    - <port name="webServiceRSUAAS" binding="tns:webServiceRSUAAS">
      <SOAP:address location="http://172.19.33.173/cgi/webServicesRSUAAS.cgi"/>
    </port>
  </service>
</definitions>

```

Figura 76. Servicio Web ofrecido desde la RSU_{AA}S

La Figura 76 sólo ilustra el servicio asociado a la consulta de plazas libres de aparcamiento ya que como fue mencionado, la

hoja WSDL contiene la descripción de más servicios de monitorización. No obstante, detalla concretamente los mensajes de petición y respuesta bajo el protocolo SOAP así como también el vínculo especial (binding) a través del cual, es posible encontrar el servicio web de *consultaPlaza()*.

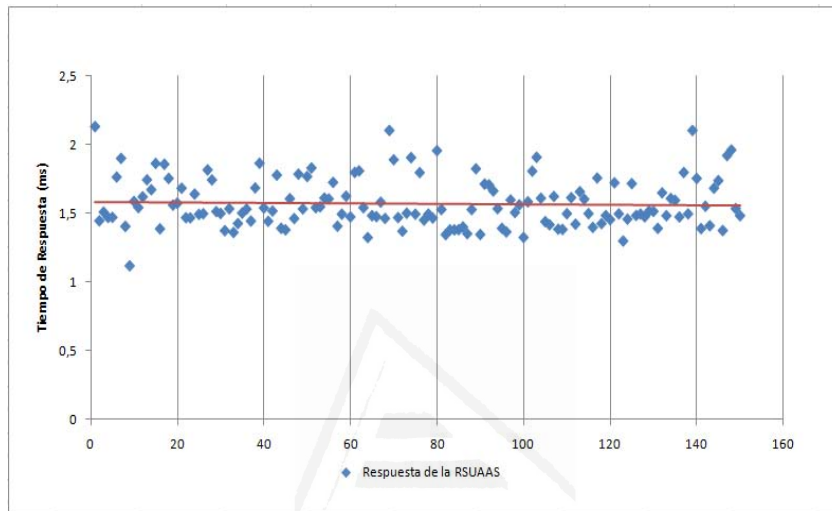


Figura 77. Respuesta de la RSU_{AA}S para el servicio de Consulta de plazas de Aparcamiento

En este sentido, la primera aplicación consiste básicamente en un cliente de servicios web el cual, genera las peticiones mencionadas de forma automática o manual (ver Figura 78). De la misma forma, tal aplicación evalúa que las transacciones se realicen adecuadamente comprobando que los servicios sean consumidos correctamente.

Por otra parte, para continuar con el desarrollo este módulo a continuación presentamos la segunda aplicación que sustenta como tal el centro de generación de servicios ITS de valor agregado.

Nuevamente para su construcción emplearemos el esquema basado en servicios con el fin de diseñar un sistema totalmente independiente de la plataforma.

Concretamente para su diseño hemos empleado tanto servidores de almacenamiento como servidores de aplicaciones con el fin de sustentar adecuadamente el sistema de información.

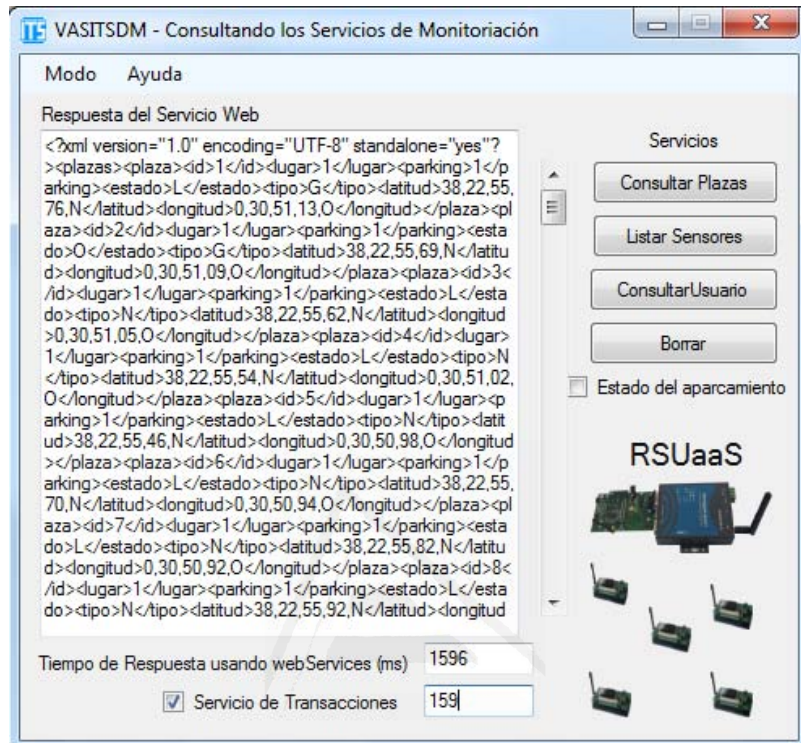


Figura 78. Cliente de Servicios Web para evaluar la RSU_{AA}S

Específicamente hemos utilizado tres servidores, el primero tiene dos propósitos, sustentar la aplicación general del centro de información de tráfico es decir, la que controla como tal el controlador de tráfico, y sustentar tanto el sistema de almacenamiento de los servicios de monitorización como el sistema de gestión de la misma RSU_{AA}S. Por su parte, el segundo sustenta el servidor de registros de servicios UDDI y las aplicaciones que ofrecerán los servicios ITS de valor agregado.

Para el desarrollo de tal aplicación (ver Figura 79) hemos empleado el Framework 3.5 de .NET y el lenguaje C# para generar las clases respectivas que apoyen su funcionamiento.

En la Figura 79 se aprecia que la aplicación recoge diferentes aéreas de los ITS pero como hemos mencionado, solamente se ha realizado una implementación concreta para el servicio de aparcamientos. No obstante, la aplicación recoge los diversos



Figura 79. Centro de Generación de Servicios ITS de Valor Agregado

componentes de los niveles asociados a nuestra arquitectura a excepción del controlador de difusión de información.

La aplicación incorpora para el nivel de recursos, un adaptador SOA/WEB para la comunicación con la RSU_{AAS} y, los adaptadores de aplicación y recursos que permiten la conexión con el sistema de almacenamiento. Tal sistema, ubicado en el centro de información de tráfico, es responsable de almacenar los datos ofrecidos por los sistemas de monitorización lo cual, lo convierte en la base fundamental para la generación de servicios ITS de valor agregado (SITS-VA).

Para el nivel de acceso, la aplicación funciona sobre el esquema orientado a servicios pero esta vez, los servicios ITS valor agregado son publicados en el servidor de registro UDDI con el fin de que los clientes puedan localizarlos y así consumirlos.

Centrándonos en el área de los aparcamientos, el entorno desarrollado permite gestionar las comunicaciones entre los distintos módulos del aparcamiento y permite controlar el estado global de cualquier sistema de aparcamientos instalado a lo largo de la infraestructura ITS.

En la Figura 80 presentamos el entorno de la aplicación desarrollada la cual, usa los servicios de monitorización

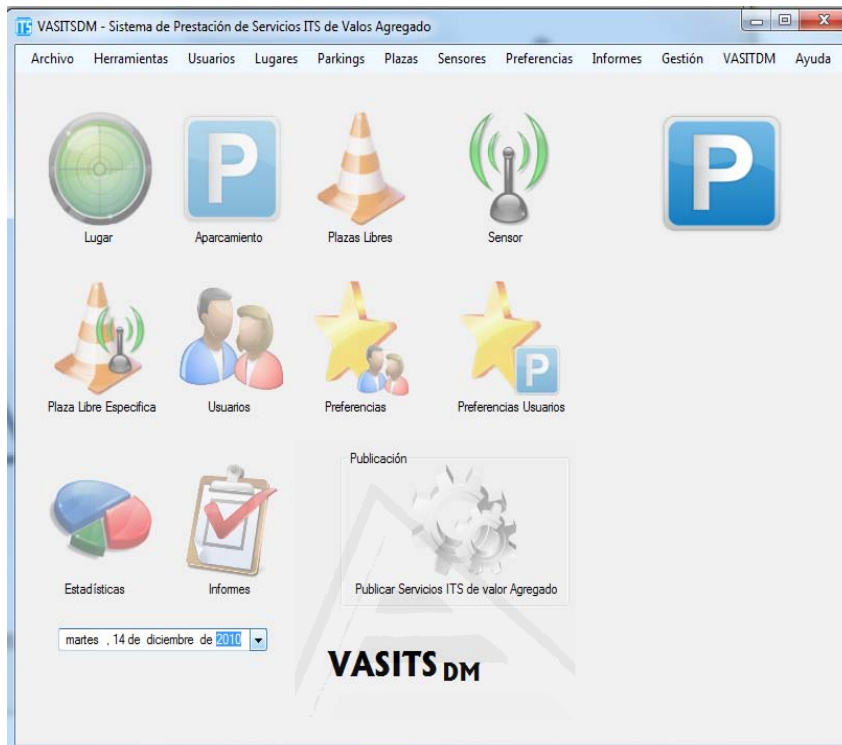


Figura 80. Entorno de la aplicación desarrollada para sustentar los Servicios ITS asociados a los sistemas de Aparcamiento

proporcionados por la WSN-RSU_{AA}S para recoger la información respectiva de los aparcamientos de la Universidad de Alicante. Además, en la Figura 81 aportamos su diagrama de clases.

Antes de continuar, es preciso mencionar que previamente la WSN-RSU_{AA}S publicó sus servicios en el servidor UDDI los cuales, fueron descubiertos por el centro de generación de servicios y su información fue almacenada en los servidores de almacenamiento, pieza fundamental para el posterior consumo de los servicios ITS de valor agregado.

La aplicación implementada emplea técnicas de computación distribuida para almacenar y gestionar adecuadamente los datos asociados a los sistemas de monitorización, concretamente para su desarrollo hemos empleado una base de datos de tipo MySQL, accesible desde el centro de gestión de tráfico, para que almacene la información respectiva de los sistemas de monitorización.

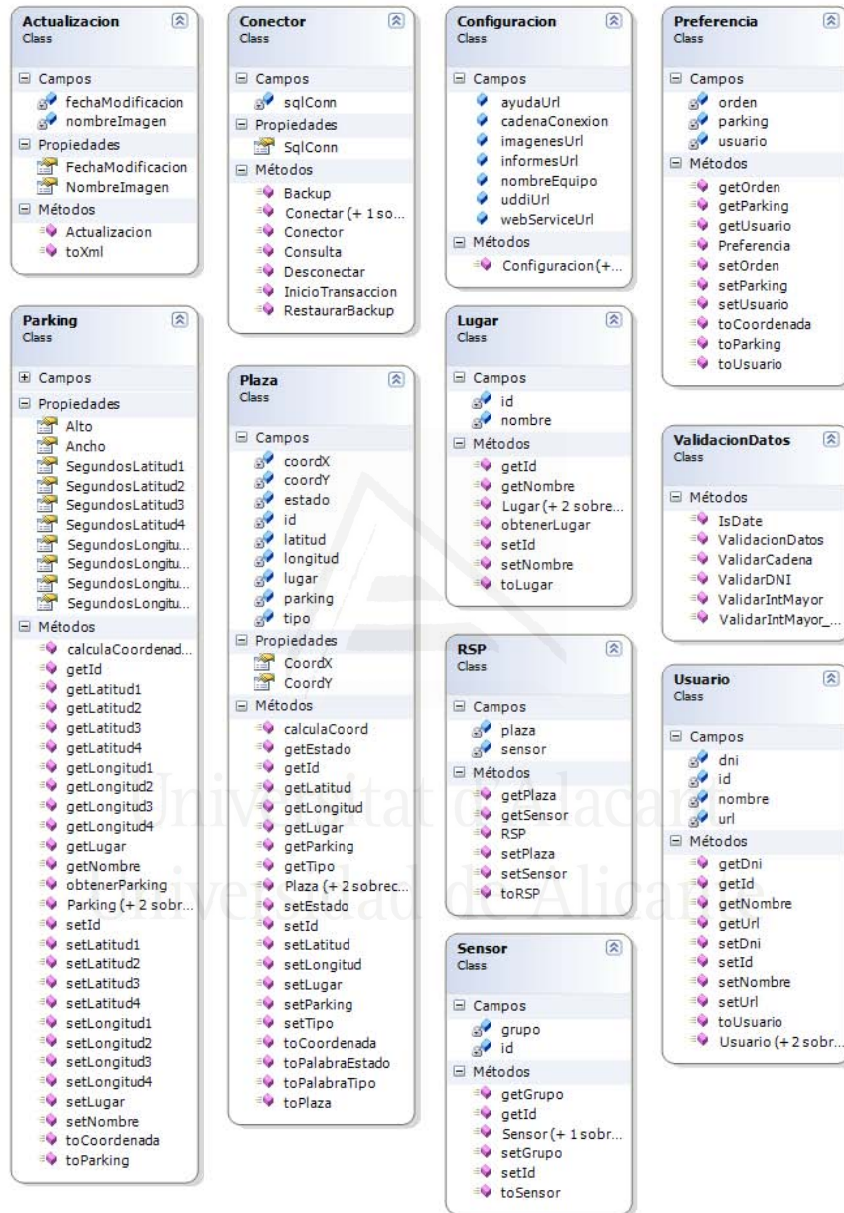


Figura 81. Diagrama de clases de la aplicación

Nuestra aplicación se conecta con tal base de datos y a partir de su información se consolidan los servicios ITS de valor agregado. Al hacerlo, mediante un apartado de nuestra aplicación (ver Figura 82) se publican tales servicios en el registro UDDI con el fin de los servidores de aplicaciones puedan localizarlos y luego consumirlos.

Inspeccionando el servidor de registro UDDI (ver Figura 83) puede verse como el servicio ITS de valor agregado asociado a la búsqueda de aparcamientos libres es publicado.

De la misma forma, los detalles concretos sobre el servicio publicado por el centro de tráfico pueden ser obtenidos desde el registro UDDI (ver Figura 84) y sus clientes pueden acceder a él y consumirlo. Es importante notar que la WSDL no solo trae consigo este servicio sino algunos otros asociados al aparcamiento.

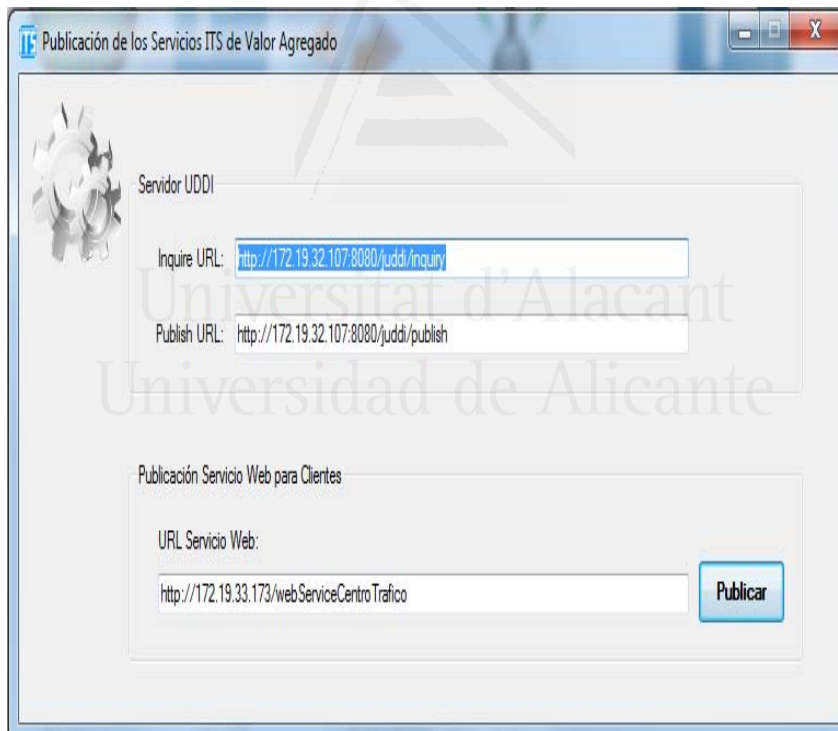


Figura 82. Publicación de Servicios ITS de Valor agregado desde la Aplicación

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <soapenv:Body>
    <businessList generic="2.0" operator="JUDDI.org" xmlns="urn:uddi-org:api_v2">
      <businessInfos>
        <businessInfo businessKey="302B0730-088F-11E0-8730-F087E8C3B84D">
          <name xml:lang="en">ITS_ServiceVA_Parking</name>
          <description xml:lang="en">Servicio ITS de Valor Agregado para el Parking</description>
          <serviceInfos>
            <serviceInfo businessKey="302B0730-088F-11E0-8730-F087E8C3B84D" serviceKey="30384DA0-088F-11E0-8DA0-E9B428B2CC66">
              <name xml:lang="en">ITS_ServiceVA_Parking</name>
            </serviceInfo>
          </serviceInfos>
        </businessInfo>
      </businessInfos>
    </businessList>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>

```

Figura 83. Inspección del registro UDDI para los servicios ITS de valor agregado

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?><soapenv:Envelope xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <soapenv:Body>
    <serviceDetail generic="2.0" operator="JUDDI.org" xmlns="urn:uddi-org:api_v2">
      <businessService businessKey="302B0730-088F-11E0-8730-F087E8C3B84D" serviceKey="30384DA0-088F-11E0-8DA0-E9B428B2CC66">
        <name xml:lang="en">ITS_ServiceVA_Parking</name>
        <description xml:lang="en">Servicio de Búsqueda de aparcamientos libres para la Universidad de Alicante</description>
        <bindingTemplates>
          <bindingTemplate bindingKey="3039AD30-088F-11E0-AD30-E5E14CC96FA9" serviceKey="30384DA0-088F-11E0-8DA0-E9B428B2CC66">
            <accessPoint URLType="http">http://172.19.33.173/cgi/webServiceCentroTrafico.cgi</accessPoint>
          </bindingTemplate>
        </bindingTemplates>
        <tModelInstanceDetails>
          <tModelInstanceInfo tModelKey="uuid:302F7400-088F-11E0-B400-D89F2E31092E">
            <instanceDetails>
              <overviewDoc>
                <overviewURL>http://172.19.33.173/cgi/webServiceCentroTrafico.wsdl</overviewURL>
              </overviewDoc>
            </instanceDetails>
          </tModelInstanceInfo>
        </tModelInstanceDetails>
      </businessService>
    </serviceDetail>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>

```

Figura 84. Detalles del servicio ITS de valor agregado asociado al descubrimiento de plazas libres de aparcamientos

Por otra parte, como ha sido mencionado, el nivel de acceso aún no implementa el controlador de difusión de información RDS/DAB/DAB+ y es preciso para trabajos futuros incorporarlo ya que traerá consigo el manejo del estándar TPEG que permite difundir adecuadamente los servicios al usuario. No obstante, actualmente trabajamos en la incorporación del protocolo TPEG-PKI asociado a los sistemas de aparcamiento.

De forma general, el módulo de generación de servicios hasta el momento proporciona los servicios ITS de valor agregado asociados al aparcamiento, no obstante, para futuros trabajos le

serán a adicionados más servicios ITS con el fin de convertirlo en una central estandarizada de servicios ITS de valor agregado.

Por otra parte y volviendo al entorno diseñado, una de sus novedades es la incorporación de los servicios de gestión relacionados directamente con el sistema de monitorización que gobierna la RSU_{AA}S. Tales servicios son consumidos desde el módulo de generación de servicios y para nuestro caso están asociados al sistema de monitorización empleado es decir, a las WSN. Concretamente desde el módulo de generación de servicios pueden ser configurados diversos parámetros asociados a los nodos que conforman la WSN tales como: el canal de transmisión inalámbrica, la potencia de radiación, el número de nodo, el grupo al que pertenece el nodo, obtener la configuración de un nodo en particular, el reinicio del nodo, y el cambio de red de un nodo, entre otros.

Lo anterior es una nueva forma de gestionar los sistemas de monitorización para los ITS ya que se realiza bajo el esquema orientado a servicios (ver Figura 85) y, no por el protocolo tradicional SNMP o el STMP (empleado en EEUU) empleado normalmente para tal fin. Bajo el esquema orientado a servicios, los organismos de control de tráfico y los fabricantes de tecnologías promoverán la compatibilidad de tecnologías ITS, su interoperabilidad su escalabilidad y por ende la convergencia de sus servicios.



Figura 85. Gestión para el sistema de monitorización empleado (WSN), configurando la potencia del nodo 442 a través de SOA

Para probar los servicios de gestión que ofrece las WSN-RSU_{AA}S, de forma experimental, también se realizaron algunas pruebas que permitieron detectar su fiabilidad, su rapidez a la hora de gestionar los parámetros relacionados con la WSN. Concretamente, se evaluaron cuatro servicios asociados a las WSN tales como: reinicio del nodo, cambio de potencia, obtener la configuración del nodo desde la WSN, y difusión general de información a la WSN. El experimento consistió en evaluar nuevamente el desempeño de la RSU_{AA}S, solo que para este caso, se pretendía verificar que la velocidad de respuesta de la RSU_{AA}S debía ser mucho mayor, lo que efectivamente se constató mediante tal experimento. Concretamente, se enviaron a la RSU_{AA}S 150 peticiones de cada servicio de gestión y ésta, respondió de la forma que ilustra la Figura 86.

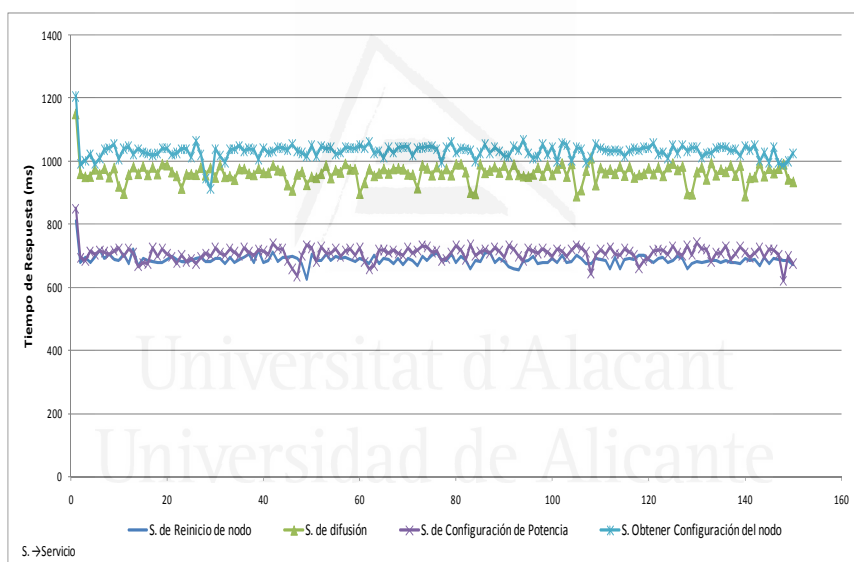


Figura 86. Respuesta de la RSU_{AA}S ante los servicios de Gestión

De la Figura 86 se concluye que la WSN-RSU_{AA}S responde eficientemente ante las peticiones realizadas desde la central de información de tráfico. Como se observa, los servicios asociados a la WSN, concretamente, el servicio de configuración de potencia y el servicio de reinicio respondieron en promedio con tiempos de 707 y 687 milisegundos; mientras que los servicios asociados a la difusión de información en la WSN y a obtener la configuración del nodo sensor, tardaron en promedio 963 y 1031 milisegundos

respectivamente. Estos dos últimos servicios tardan más, principalmente debido a que su respuesta trae consigo mucha información sobre toda la WSN.

Por otra parte, si analizamos la respuesta de los servicios de gestión y se compara con respecto a la respuesta de los servicios de monitorización, se observa que los primeros son más rápidos y no significa que los segundos, no respondan adecuadamente bajo el esquema orientado a servicios, sino más bien que tardan un poco más debido a la gran cantidad de información que traen referente al aparcamiento.

Por otra parte, otra de las novedades más importantes del entorno implementado es la incorporación y la integración de las herramientas genéricas y de código libre propuestas por Google, concretamente el entorno de Google Maps el cual, viene muy bien para el despliegue de servicios ITS (Ver Figura 87).

Este tipo de soluciones permiten de forma general que los servicios ITS puedan ser prestados adecuadamente y lo más importante, que puedan ser consumidos por gran cantidad de clientes externos independientemente de la plataforma de navegación que utilicen.

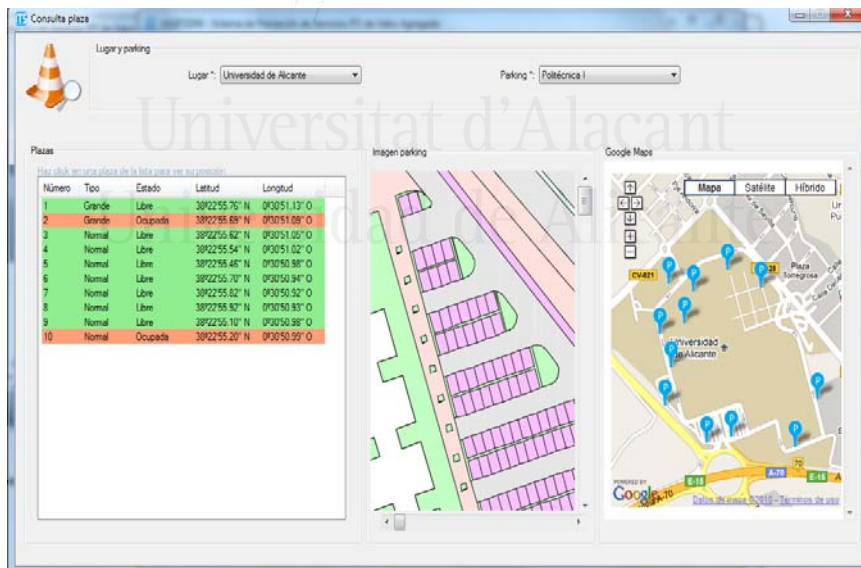


Figura 87. Entorno de la aplicación incluyendo Google Maps para desplegar los servicios ITS de valor agregado

Por tal motivo, hemos incluido tal solución en nuestro centro de generación de servicios con el fin de desplegar adecuadamente la información asociada a los servicios ITS de valor agregado.

Ahora centrándonos en el consumo de servicios, hemos diseñado dos aplicaciones. La primera, es una aplicación cliente que suministra información sobre las plazas libres, ocupadas o no disponibles del aparcamiento y la segunda, ofrece el mismo servicio pero sus resultados son desplegados sobre la solución de código abierto Google Maps.

Específicamente para desarrollar la primera aplicación (ver Figura 88) hemos utilizado el Compact Framework de .NET para dispositivos móviles y el lenguaje de programación C#. La aplicación consiste en un cliente móvil que consulta los servicios ITS de valor agregado publicados en el registro UDDI y al momento de localizarlos puede consumirlos.



Figura 88. Entorno de la aplicación para los dispositivos móviles PDA, Consumir el Servicio ITS de valor agregado

La aplicación la hemos llamado ITSParking y aparte de ofrecer la información sobre las plazas libres de aparcamiento permite a los usuarios introducir sus preferencias de aparcamiento según sus costumbres habituales. Esta aplicación en principio es sólo accesible por los usuarios universitarios (estudiantes, profesores, administradores) los cuales deben de estar dados de alta para poder utilizar tal servicio. Su diagrama de clases es ilustrado en la Figura 89.

Por otra parte, centrándonos en la segunda aplicación, desarrollada a través del API de Google Maps, provee a sus

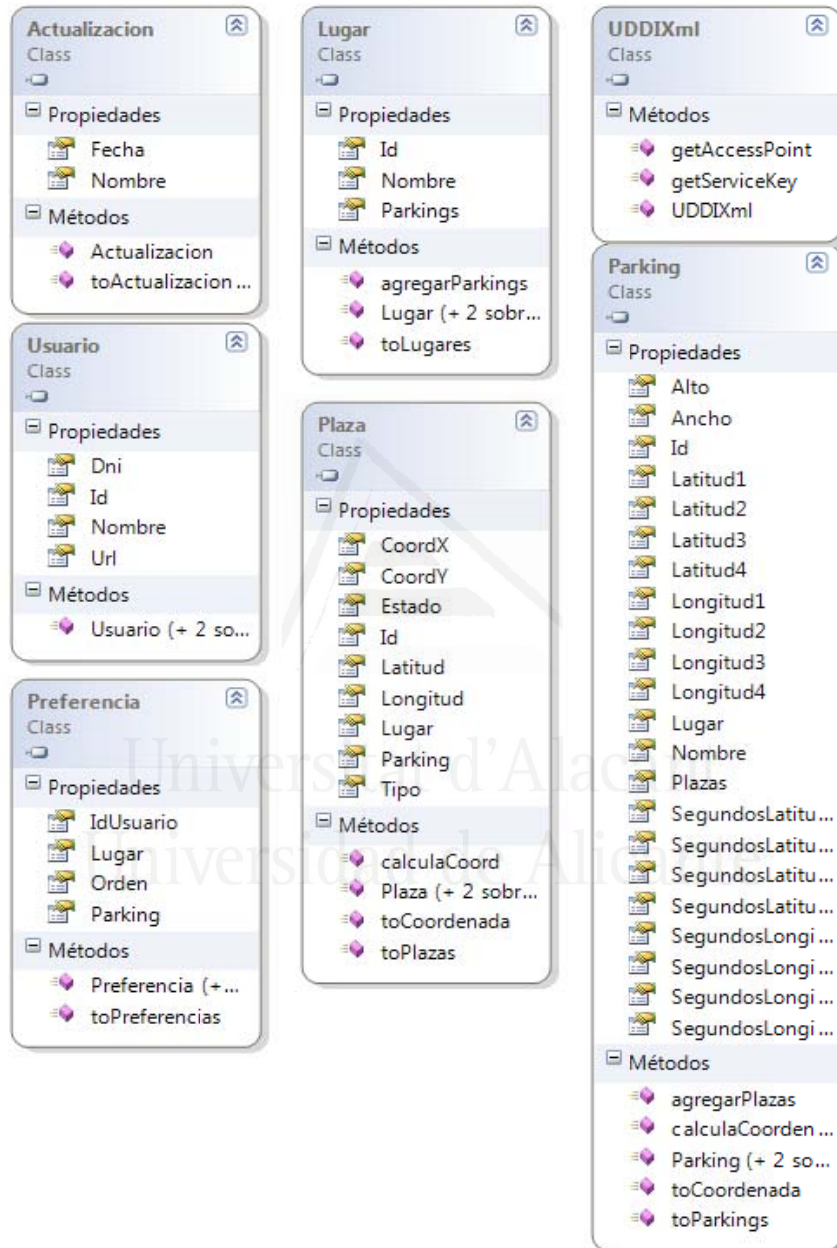


Figura 89. Diagrama de clases de la aplicación ITSParking

usuarios el mismo servicio con la salvedad de que emplea una plataforma altamente estándar utilizada por gran cantidad de sistemas de navegación a la cual se accede mediante el navegador web del dispositivo móvil o mediante la herramienta Google Maps de cada dispositivo móvil.

Para su diseño e implementación ha sido utilizado el lenguaje de programación JavaScript, esencial para cargar el ambiente de Google Maps y básico para desplegar el servicio ITS de valor agregado asociado al aparcamiento. Al emplear tal API pueden ser utilizados diversos formatos para el despliegue de servicios ITS en los sistemas de navegación, uno de ellos es json orientado a servicios web; otro es KML orientado a tres dimensiones (solución Google earth), y el CSV utilizado por los navegadores TOM TOM. Todos los anteriores formatos facilitan la integración de puntos de interés (POI) en los sistemas de navegación y más cuando los POI traen consigo información dinámica extraída directamente de la infraestructura de transporte lo que se refiere a información de valor agregado para el usuario ITS.

Ambas aplicaciones fueron probadas en varios dispositivos de usuarios tales como un HTC Diamond 2, y PDA iPAQ h6340, entre algunos otros. No obstante, la que funciona mediante google maps fue probada en dispositivos con sistema operativo android y ios (Iphone). En conclusión, su funcionamiento dentro de la plataforma orientada a servicios fue el adecuado y lo suficientemente rápido tanto desde la RSU_{AA}S como desde el centro de gestión de servicios ITS de valor agregado. Para este último, el consumo de los servicios asociados al aparcamiento oscilo entre 15 y 25 segundos considerando para su medida el tiempo que tarda la RSU_{AA}S en ofrecer los servicios de monitorización, con ello hemos cumplido el margen de 60 segundos planteado inicialmente por nuestro modelo.

Desde el punto de vista del ambiente VANET, las aplicaciones realizadas se desenvuelven en un entorno de comunicación V2I e I2V, ambos, sustentan la prestación de servicios ITS de valor agregado. No obstante, para el ambiente V2V es preciso hacer uso del estándar WAVE para que los servicios asociados puedan desplegarse de forma coherente., es decir que, en la OBU avanzada resulta imprescindible instalar la aplicación adecuada para el intercambio de información basada en servicios. Esto último aún está por desarrollar pero es preciso involucrar el ambiente de servicios en dicho escenario para así llegar a la convergencia de servicios

Capa de Comunicación

Para esta capa, se utilizaron diversos sistemas de comunicación que ayudan a sustentar la conectividad de todos los sistemas involucrados. Concretamente se utilizaron tecnologías tales como ZigBee, el estándar serial RS232, Ethernet, WiFi, y GPRS / HSPA.

Bajo el enfoque SOA, hemos empleado un servidor para el registro y descubrimiento de los servicios, en este caso se utilizó UDDI específicamente el jUDDI (juddi-rc4 versión), que es un servidor UDDI desarrollado en Java.

Con el fin de resumir de forma coherente el escenario de prueba general de nuestro modelo hemos creado la Figura 90, que recoge las tecnologías utilizadas en la elaboración de nuestro modelo. En el extremo derecho de la Figura 90, es posible ver algunas etiquetas que representan a cada uno de los componentes tecnológicos utilizados ya sean en el caso de los sistemas de comunicaciones (COMM), dispositivos de hardware, sistemas operativos (OS), las aplicaciones y protocolos (APPLI) y los servicios ofrecidos (SERV).

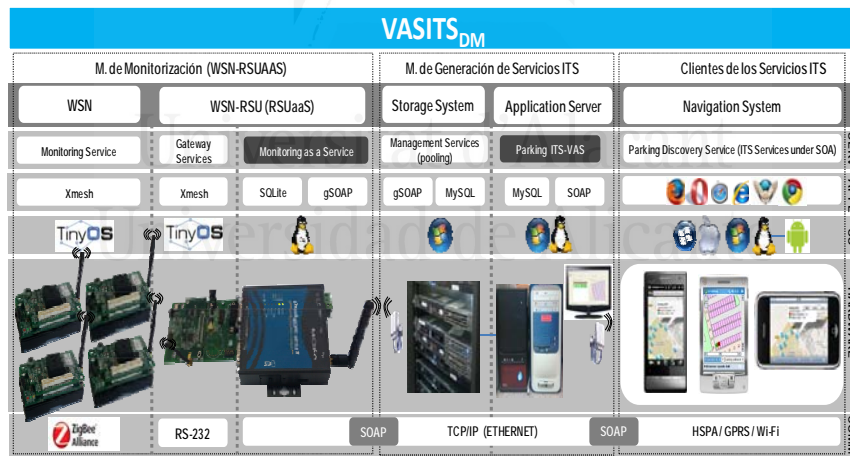


Figura 90. Escenario Global de implementación

Conclusiones

En este capítulo se han presentado las pruebas generales del sistema y los experimentos que permitieron validar la hipótesis propuesta.

De la misma forma, fue posible observar como los módulos que componen nuestra arquitectura se contrastan con la propuesta realizada.

Pudo constatarse que el dispositivo MOXA es una gran solución embebida que puede ser utilizada como RSU_{AA}S, su respuesta y su capacidad de procesamiento fue la adecuada. Aunque le falta un poco de memoria puede expandirse a través memorias SD.

La solución de redes de sensores utilizada es bastante genérica y cumple con los principales estándares para desplegarla a través de la infraestructura de transporte. No obstante para el servicio planteado debe incorporar un nuevo sensor de tipo óptico que es fácilmente acoplable a través de uno de los puertos de entrada del microcontrolador ATMEL.

Como conclusión más relevante pudo constatarse que el ambiente orientado de servicios propicio el desacoplamiento de las tecnologías ITS y como tal su integración adecuada además, facilito enormemente la prestación de servicios ITS de valor agregado de cara al usuario.

Capítulo Octavo

Conclusiones

El principal resultado de la tesis presentada es la creación de un modelo para alcanzar la prestación de servicios ITS de valor agregado y la integración de las tecnologías ITS. Para ello, se presentó una metodología adecuada que planteo tres fases para su realización: la primera, la identificación de las tecnologías ITS; la segunda, la identificación de los servicios ITS; y la tercera, el desacoplamiento tecnológico y el modelado.

Cada fase mencionada permitió identificar los componentes más representativos en el amplio espectro tecnológico de los ITS y, como tal, sus servicios asociados. Al hacerlo, se ha constituido un catálogo general de tecnologías y servicios ITS que sirve de guía para que los fabricantes de tecnologías fortalezcan su especialización para el diseño de productos para los ITS.

Gracias al mencionado catálogo fue posible identificar que la unidad de carretera o RSU es uno de los elementos tecnológicos de mayor relevancia para la prestación de servicios ITS, ya que es la responsable de establecer la relación entre los sistemas de monitorización, los centros de información de tráfico y el nuevo esquema VANET.

Para la realización del modelo se han empleado los últimos paradigmas de las TI y se ha diseñado una arquitectura completamente distribuida que lo sustenta con criterios de interoperabilidad, integración, compatibilidad, y escalabilidad que permiten hacer viable la prestación de servicios ITS de valor agregado sobre la infraestructura de transporte.

Asimismo, se ha extendido el paradigma SOA sobre los elementos tecnológicos más representativos que constituyen el entorno de los ITS. Concretamente, sobre los elementos que propician la prestación de servicios en los ITS como lo son las Unidades de carretera (RSU), los centros de información de tráfico y por su puesto los sistemas de navegación.

Para avalar la propuesta hemos planteado un caso de estudio asociado a uno de los principales servicios ITS de valor agregado según el contexto general de los ITS y es, el descubrimiento de plazas libre de aparcamiento.

Una de las principales novedades del trabajo de investigación viene asociada al diseño e implementación de una nueva unidad de carretera o RSU la cual integra el paradigma SOA para ofrecer sus funcionalidades en un esquema orientado a servicios. La nueva Unidad de Carretera, que hemos llamado RSU_{AA}S, proporciona un acoplamiento débil entre gran cantidad de tecnologías ITS, especialmente, las desplegadas a lo largo de la infraestructura ITS. La RSU_{AA}S permite integrar coherentemente gran cantidad de sistemas de monitorización y sistemas que forman parte de la central de información de tráfico todo esto, mediante el intercambio de servicios.

Lo anterior proporciona al ámbito ITS un elemento tecnológico, que instalado a lo largo de la infraestructura de transporte es capaz de ofrecer su información mediante servicios web. Por ello, los fabricantes de tecnologías se ven beneficiados y los factores clave de interoperabilidad, compatibilidad, integración y escalabilidad pueden ser alcanzados.

Aportaciones

En esta investigación enmarcada en el ámbito de los Sistemas Inteligentes de Transporte, concretamente en lo relacionado con la prestación, el despliegue y la provisión de servicios de valor agregado a los usuarios de la infraestructura tiene como principales aportaciones las siguientes:

- La creación de un modelo para la prestación de servicios ITS de valor agregado que facilita la interoperabilidad, la compatibilidad, la integración, y la escalabilidad de sus tecnologías y sus servicios.

- La creación de un catálogo de tecnologías y servicios ITS que sirva de referencia para los fabricantes de tecnologías de forma que puedan identificar qué elementos tecnológicos apoyan la prestación de servicios de forma estandarizada y con ello, se logre su convergencia.
- La creación de una arquitectura adecuada para la prestación de servicios ITS que, basada en componentes, permite de forma estandarizada la incorporación de los últimos paradigmas orientados a servicios para que se facilite la prestación de servicios ITS de valor agregado.
- La implementación y el diseño de una nueva unidad de carretera que orientada a servicios, permite la integración adecuada de los sistemas de monitorización desplegados a lo largo de la infraestructura de transporte.

Desde el punto de vista más tecnológico, las principales aportaciones se pueden resumir en:

- La incorporación de los nuevos esquemas de navegación basados en la herramienta de código libre Google Maps que en la actualidad comienza a dominar los servicios asociados a los ITS.
- La incorporación de redes de sensores inalámbricos como tecnología emergente de monitorización que, desplegada a lo largo de la infraestructura, permite la incorporación y la integración de servicios existentes y de nuevos servicios ITS.
- El análisis respectivo de las tecnologías ITS actuales, sus problemas relacionados y sus perspectivas para la prestación de servicios ITS.

Publicaciones

Mediante la investigación realizada se han obtenido diversas publicaciones, las principales, en los congresos de mayor relevancia en el ámbito de la investigación y algunas otras en congresos asociados al área, como sigue:

17th ITS World Congress (Herrera-Quintero, Macia-Pérez *et al.*, 2010)

Indicios de Calidad: El Congreso Mundial de ITS es un evento que se realiza anualmente y tiene el apoyo de las principales

asociaciones de ITS del mundo como lo son: ITS América, ITS Japón, ITS Europa (ERTICO), ITS Korea. Su objetivo es dar a conocer los mayores avances de ITS en el mundo así como también, divulgar las principales investigaciones realizadas en el campo del transporte. Este congreso es de gran relevancia y su rigurosidad es bastante alta, principalmente porque cuenta con la participación de una extensa gama de revisores no sólo de los centros de investigación más prestigiosos del transporte a nivel mundial, sino también de las principales industrias que despliegan ITS en el mundo.

ITSC – 13th International *IEEE* Conference on Intelligent Transportation Systems Intelligent (Herrera-Quintero, Maciá-Pérez *et al.*, 2010)

Indicios de Calidad: La Conferencia Internacional sobre Sistemas Inteligentes de Transporte, patrocinada por la sociedad de sistemas inteligentes de transporte del IEEE junto con otras compañías es un evento que se realiza anualmente y está centrado principalmente en la investigación y aplicaciones líderes en comunicaciones, control computación y tecnologías electrónicas empleadas en el campo de los ITS. Como tal, la conferencia brinda a los profesionales que trabajan en los campos de ingeniería de tráfico, tecnologías de la información, ingeniería de la automoción, investigación de los ITS y otros campos relacionados; el principal escenario para divulgar sus investigaciones. Además, tiene como participes a los principales investigadores de las más prestigiosas universidades que investigan en el campo de los ITS.

Nota: Este artículo tuvo gran aceptación dentro de la comunidad científica de los ITS. Esto lo demuestra el hecho que la revista IEEE TRANSACTION ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS nos pidiese que enviásemos una versión extendida del mismo para una edición especial que estará orientada a tecnologías emergentes cooperativas de los ITS. Según el JCR, dicha revista, clasificada en la categoría de Ciencia del Transporte y Tecnología, tiene un factor de impacto de 2,091 y es la tercera más importante entre las veinte seis (26) que componen tal categoría. Actualmente el artículo se encuentra en proceso de revisión.

LATINCOM, IEEE Latin American Conference on Communication (Herrera-Quintero *et al.*, 2009)

Indicios de Calidad: La Conferencia Latinoamericana de Comunicaciones es uno de los eventos más importantes de América Latina donde se citan investigadores de alto prestigio pertenecientes a las ramas de comunicaciones, control, electrónica, redes y servicios. Su fin es servir de plataforma para exponer las más recientes investigaciones en diversas áreas correspondientes al evento. Una de dichas áreas son las redes de sensores inalámbricos, tecnología emergente en el mundo de la monitorización y control. LATINCOM incluso, ha sido clasificada según el Ranking de Conferencias en Ciencias de la Computación como una de gran importancia en su área, a la cual se le ha dado la calificación de Conferencia tipo C.

Otros Congresos:

DiWeb – WSEAS 8th International Conference on Web Engineering (Herrera-Quintero *et al.*, 2008b)

Indicios de Calidad: La Conferencia Internacional sobre ingeniería de la web patrocinada por la organización científica WSEAS tiene como objetivo diseminar los resultados de las últimas investigaciones en cuanto a tecnologías de internet móvil, aplicaciones de alta relevancia que operen sobre la web, comercio electrónico entre algunos otros

Capítulos de libro en:

Energy Management, (Macia-Perez *et al.*, 2010)

Jornadas para el Desarrollo de Grandes Aplicaciones de Red (JDARE) (Herrera-Quintero, Macia-Perez *et al.*, 2010), (Herrera-Quintero *et al.*, 2009) , (Gilart-Iglesias *et al.*, 2009), (Marcos-Jorquera *et al.*, 2008), (Herrera-Quintero *et al.*, 2008a), (Herrera-Quintero, 2007), (Herrera-Quintero *et al.*, 2009).

Problemas Abiertos

A lo largo de la investigación se pudo constatar la gran cantidad de tecnologías que componen el escenario ITS, y de las cuales se han empleado algunas de las más importantes y de mayor relevancia para validar nuestra hipótesis de partida. No obstante, dado el carácter multidisciplinar en el que se desarrolla la investigación salen a la luz nuevos problemas que aún están por resolverse y muchos de estos, están relacionados tanto con el sector ITS como con nuestro modelo. A continuación se enuncian

los problemas de mayor interés para nuestro grupo de investigación y al final, se exponen algunos problemas asociados con el sector ITS, los cuales, si se resolviessen elevarían el ambiente para la prestación de servicios ITS.

- Con el modelo propuesto se ha logrado desacoplar de forma adecuada las tecnologías ITS mediante la incorporación del ambiente orientado a servicios generado desde la RSU_{AA}S y desde el centro de información de tráfico, permitiendo la generación de forma ágil de nuevos servicios de valor agregado. No obstante, el proceso de modelado de tales servicios supone un nuevo problema, debido tanto al elevado número de posibilidades a la hora de componerlos así como de las particularidades del entorno donde se van aplicar.
- Por otra parte, el modelo propuesto precisa de la creación de un entorno VANET donde sea posible evaluar nuestro ambiente orientado a servicios para escenarios del tipo V2V, V2I e I2V. Por tanto es preciso incorporar un escenario WAVE que contenga una VANET-RSU_{AA}S que fomente la prestación de servicios ITS de valor agregado tanto desde la misma como desde el centro de información de tráfico.
- Como problema abierto también se plantea la incorporación del nuevo estándar Europeo DATEX II a nuestro modelo para que facilite la integración de las diversas centrales de información de tráfico, concretamente para el intercambio de servicios pero no sólo de cara a otra central de información de tráfico sino también de cara al sistema de navegación.
- De cara al nivel del usuario, el modelo precisa de soluciones para el consumo de servicios ITS de valor agregado basadas en esquemas orientados a servicios, concretamente, para los sistemas de navegación. En este sentido, se deben emplear las nuevas plataformas emergentes de desarrollo que comienzan a posarse sobre una gran gama de dispositivos de usuario tales como Android, IOS, y Windows 7, entre otras.

Como problemas abiertos desde el espectro general de los ITS se tienen los siguientes:

Uno de los mayores problemas actuales es la ausencia de una arquitectura general para los ITS a nivel Europeo, por ello, cada país perteneciente a la Eurozona gestiona de forma diferente sus infraestructuras de transporte lo que mitiga directamente la prestación de servicios de forma homogénea. Aunque en grandes trabajos como el de (Bossom, Richard. & Jesty, 2009a) se plantea tal arquitectura, es preciso que los principales gobiernos europeos la conozcan y en base a esto, planeen su introducción paulatina. Es preciso que tal arquitectura considere de forma más concreta la interacción con los dispositivos instalados a lo largo de la infraestructura principalmente, porque es desde allí que se genera la información que luego será enviada al usuario ITS como un servicio ITS de valor agregado.

Un gran problema abierto en la actualidad es la baja penetración de los canales de radiodifusión digital de datos en la mayoría de los dispositivos de a bordo e incluso, en los mismos dispositivos móviles dado que la tecnología predominante es la analógica. Pese a muchos esfuerzos de la industria ITS, la radiodifusión digital aún se enfrenta a grandes problemas y uno de ellos es como tal su aceptación en el contexto ITS. Por ello, es preciso afianzar su utilización mediante la reunificación en estándares ITS industriales que permitan explotar de forma correcta sus beneficios y máxime, cuando un usuario no tiene dispositivos móviles que tengan acceso a internet.

Líneas Futuras

La presente tesis doctoral ha sido desarrollada en el grupo de investigación de redes y middleware de la Universidad de Alicante y su desarrollo abre diversas líneas de investigación que aseguran su continuidad.

- Incorporar conocimiento semántico al modelo propuesto mediante el uso de ontologías que describan los servicios, sus relaciones y el entorno, posibilitará el modelado automático o asistido de nuevos servicios de valor agregado generados a partir tanto de las RSU_{AA}Ss como de los servicios ofertados desde las centrales de información de tráfico.
- Incorporar a nuestro modelo un nuevo módulo de generación de servicios basado en SOA que posibilite la

interacción entre el escenario VANET y el centro de generación de servicios de valor agregado de forma que contribuya a la prestación de servicios ITS, desarrollando para ello el nuevo concepto de VANET-RSU_{AA}S.

- Evaluar el comportamiento de una VANET-RSU_{AA}S y de su OBU asociada módulos asociados al ambiente VANET, es decir diseñar e implementar una RSU_{AA}S con capacidades de DSRC y WAVE para que posibiliten la prestación de servicios en el escenario de comunicación V2V, V2I e I2V.
- Implementar nuevas aplicaciones para consumir los servicios ITS de valor agregado para ser empleadas desde una gran gama de dispositivos de usuario que tengan la capacidad ser sistemas de navegación. Concretamente, empleando las nuevas plataformas de desarrollo de los dispositivos móviles inteligentes tales como Android, IOS, Windows Phone 7.
- Extender el modelo a más servicios ITS de valor agregado, especialmente los relacionados con servicios orientados al transporte público como por ejemplo, servicios de información sobre horarios de buses, tiempo de recorrido, etc. En este sentido se deberá realizar una comparativa entre este el modelo propuesto y el esquema Google Transit para difundir correctamente la información del transporte público.
- Incorporar el protocolo de comunicaciones WS-Security para que genere mayor seguridad al momento realizar las transacciones de servicios entre los diferentes módulos implicados en el modelo.

Como líneas futuras más técnicas y adyacentes a la investigación se presentan las siguientes:

- Desarrollar una nueva OBU que se corresponda con la arquitectura conceptual propuesta para que integre y consuma de forma general los servicios ITS de valor agregado en el ambiente de SOA.
- De cara al sistema de monitorización empleado, es decir, las WSN, se pretende la incorporación de una solución basada en 6lowpan para el manejo directo del protocolo TCP/IPV6 a través de la red de sensores.

Conclusión del Proceso Investigativo

Analizando el proceso de investigación que se ha seguido en la tesis doctoral puede concluirse que:

- La investigación realizada ha seguido una metodología científica coherente que avala cada una de las fases que componen nuestro modelo.
- Se ha logrado la apertura de una nueva línea de investigación dentro del grupo de investigación de Redes y Middleware (grupoM) del Departamento de Tecnología Informática y Computación (DTIC) de la Universidad de Alicante referida a la prestación e integración de tecnologías y servicios para los Sistemas Inteligentes de Transporte.
- Se ha elaborado una novedosa contribución al campo de los ITS que precisan urgentemente de propuestas alternativas que contribuyan a la prestación, integración y generación de servicios de valor agregado independientemente de las tecnologías que se utilicen.
- Se han identificado líneas futuras de investigación que garantizan la continuidad del trabajo realizado en la tesis doctoral.
- Se ha validado la hipótesis de partida mediante la elaboración de un caso de estudio asociado a uno de las áreas de los ITS más relevantes, concretamente la referida a los sistemas de gestión de aparcamientos y sus servicios.

Referencias

- (AASHTO *et al.*, 2008) AASHTO, ITE, & NEMA. (2008). *Library: 2306 - Application Profile for XML in ITS Center to Center Communications (AP-C2CXML)*. National Transportation Communications for ITS Protocol., Retrieved December 10, 2010, from <http://www.ntcip.org/library/standards/default.asp?documents=yes&standard=2306>
- (AASHTO *et al.*, 2009) AASHTO, ITE, & NEMA. (2009). *National Transportation Communication for ITS protocol NTCIP 9001* (pp. 127). Washington: AASHTO, ITE, NEMA.
- (ABI, 2009) ABI. (2009). *Application Markets, Technological Developments, Market Players, IC Shipments, and Revenue Forecasts*.
- (ADVANTECH, 2009) ADVANTECH. (2009). *Advantech - Intelligent Transport System*. Retrieved April 5, 2010, from <http://www.advantech.com.cn/solutions/ITS/>
- (Akyildiz *et al.*, 2002) Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). A survey on sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8), 102-105.
- (Alkan *et al.*, 2005) Alkan, R. M., Karaman, H., & Azahin, M. (2005). *GPS, GALILEO and GLONASS satellite navigation systems & GPS modernization*. Paper presented at the RAST 2005 - Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies.
- (Anagnostopoulos *et al.*, 2006) Anagnostopoulos, C., Loumos, V., & Kayafas, E. (2006). *A license plate-recognition algorithm for intelligent transportation system applications*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(3), 377-391.

- (Androutsellis-Theotokis & Spinellis, 2004) Androutsellis-Theotokis, S., & Spinellis, D. (2004). *A survey of peer-to-peer content distribution technologies*. *ACM Computing Surveys*, 36(4), 335-371.
- (ANFAC, 2009) ANFAC. (2009, January). *Sistemas ITS en el vehículo y la coordinación con la infraestructura*. Paper presented at the Jornada Sobre ITS para la Interacción entre el Vehículo y la Infraestructura, Madrid.
- (Asada *et al.*, 1997) Asada, G., Burstein, A., Chang, D., Dong, M., Fielding, M., Kruglick, E., Ho, J., Lin, F., Lin, T. H., Marcy, H., Mukai, R., Nelson, P., Newberg, F., Pister, K. S. J., *et al.* (1997). *Low power wireless communication and signal processing circuits for distributed microsensors*. Paper presented at the Proceedings - IEEE International Symposium on Circuits and Systems.
- (AWARE, 2009) AWARE. (2009). *Platform for Autonomous self-deploying and operation of Wireless sensor-actuator networks cooperating with AeRial objEcts*. Retrieved March 7, 2010, from <http://www.aware-project.net/>
- (Baronti *et al.*, 2007) Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W. C., Chessa, S., Gotta, A., & Hu, Y. F. (2007). *Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards*. *Computer Communications*, 30(7), 1655-1695.
- (Bell, 2008) Bell, M. (2008). *Service-Oriented Modelling - Service Analysis, Design, and Architecture*. New Jersey: Wiley.
- (Benatallah *et al.*, 2005) Benatallah, B., Casati, F., & Traverso, P. (2005). *Service-Oriented Computing – ICSOC 2005 Third International Conference* (Vol. 3826). Netherlands.
- (Berg_Insight, 2009a) Berg_Insight. (2009a). *E112 and A-GPS will revive the LBS platform and middleware market*. Retrieved April 8, 2010, from http://www.berginsight.com/News.aspx?m_m=6&cs_m=1
- (Berg_Insight, 2009b) Berg_Insight. (2009b). *Mobile Navigation Services*. 3th edition. Berg Insight, Retrieved October 20, 2010, from http://social.telematicsupdate.com/files/BER44_Mobile%20Navigation%20Services%203rd%20Edition.pdf
- (Berg_Insight, 2010) Berg_Insight. (2010). *GPS and Mobile Handsets*. Berg Insight, Retrieved January 7 2010, 4th, from http://www.berginsight.com/ShowReport.aspx?m_m=3&id=97
- (Beutel *et al.*, 2004) Beutel, J., Kasten, O., Mattern, F., Römer, K., Siegemund, F., & Thiele, L. (2004). *Prototyping wireless sensor network applications with BTnodes*, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 2920, pp. 323-338).
- (Bhargavan *et al.*, 2006) Bhargavan, K., Fournet, C., & Gordon, A. D. (2006). *Verified*

- reference implementations of WS-security protocols, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 4184 LNCS, pp. 88-106).
- (Bhatti *et al.*, 2005) Bhatti, S., Carlson, J., Dai, H., Deng, J., Rose, J., Sheth, A., Shucker, B., Gruenwald, C., Torgerson, A., & Han, R. (2005). MANTIS OS: An embedded multithreaded operating system for wireless micro sensor platforms. *Mobile Networks and Applications*, 10(4), 563-579.
- (Bi, 2009) Bi, C. (2009). *Research and application of SQLite embedded database technology*. *WSEAS Transactions on Computers*, 8(1), 83-92.
- (Böhm M *et al.*, 2008) Böhm M, Pfliegl R, & A., F. (2008). *Wireless infrastructure-to-vehicle communication technologies to increase road safety along motorways*. Paper presented at the Transportation Research Board (TRB) 87th Annual Meeting. from <http://pubsindex.trb.org/view.aspx?id=848374>
- (Böhm & Frötscher 2009) Böhm, M., & Frötscher, A. (2009). *COOPERS - Safety relevant services via bidirectional infrastructure-to-vehicle (I2V) communication*. Austria: European Commission, COOPERS project
- (Bossom *et al.*, 2008) Bossom, R., Brignolo, R., Thierry, E., Evensen, K., Frötscher, A., Höfs, W., Jääskeläinen, J., Jeftic, Z., Kompfner, P., Kosch, T., Kulp, I., Kung, A., Mokaddem, A., Schalk, A., *et al.* (2008). *European ITS communication architecture*. COMeSafety.
- (Bossom & Jesty, 2005) Bossom, R., & Jesty, P. (2005). *Different Types of ITS architectures and their uses*. Paper presented at the ITS World Congress. from <http://www.frame-online.net/top-menu/library/documents-and-reports/articles-and-papers/its-wc-2005.pdf>
- (Bossom & Jesty, 2009a) Bossom, R., & Jesty, P. (2009a). *ITS Architecture view - Road map to the future*. Paper presented at the Intelligent Transportation Systems: Future Visions. from <http://www.port.ac.uk/research/iir/news/downloads/filetodownload,105107,en.pdf>
- (Bossom & Jesty, 2009b) Bossom, R., & Jesty, P. (2009b). *Using the FRAME Architecture for planning integrated Intelligent transportation Systems*. Paper presented at the IX Congreso Español de Sistemas Inteligentes de Transporte. from <http://www.frame-online.net/top-menu/library/documents-and-reports/articles-and-papers/eatis-2009.pdf>
- (Bossom & Jesty, 2005) Bossom, R., & Jesty, P. H. (2005). *Different Types of ITS architectures and their uses*. Paper presented at the ITS World Congress. from <http://www.frame-online.net/top-menu/library/documents-and-reports/articles-and-papers/its-wc-2005.pdf>
- (Boukerche *et al.*, 2008) Boukerche, A., Oliveira, H., Nakamura, E. F., & Loureiro, A. A. F. (2008). *Vehicular Ad Hoc Networks: A new challenge for*

- localization-based systems. Computer Communications, 31(12), 2838-2849.*
- (Bridgde_Rattings, 2007) Bridgde_Rattings. (2007). *HD Radio vs. Internet Radio - Which is Radio's Future?* Retrieved May 4, 2010, from http://www.bridgeratings.com/press_08.08.07.HDvsInternet.htm
- (Bures, 2009) Bures, P. (2009). *The architecture of traffic and travel information system based on protocol TPEG*. Paper presented at the Proceedings of the 2009 Euro American Conference on Telematics and Information Systems: New Opportunities to Increase Digital Citizenship, EATIS '09.
- (C2C, 2008) C2C. (2008). CAR 2 CAR Communication Consortium. Retrieved March 10, 2010, from <http://www.car-to-car.org/>
- (Caliskan *et al.*, 2006) Caliskan, M., Graupner, D., & Mauve, M. (2006). *Decentralized discovery of free parking places*. Paper presented at the VANET - Proceedings of the Third ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks.
- (Can Basaran *et al.*, 2007) Can Basaran, Sebnem Baydere, Giancarlo Bongiovanni, Adam Dunkels, M. Onur Ergin, Laura Marie Feeney, Isa Hacıoglu, Vlado Handziski, Andreas Köpke, Maria Lijding, Gaia Maselli, Nirvana Meratnia, Chiara Petrioli, Silvia Santini, *et al.* (2007). *Embedded WiSeNts Platform Survey: Embedded WiSeNts consortium*.
- (Canfora & Di Penta, 2006) Canfora, G., & Di Penta, M. (2006). *Testing services and service-centric systems: Challenges and opportunities. IT Professional, 8(2), 10-17.*
- (Cao & Abdelzaher, 2006) Cao, Q., & Abdelzaher, T. (2006). *Demo abstract: LiteOS: A lightweight operating system for c++ software development in sensor networks*. Paper presented at the SenSys'06: Proceedings of the Fourth International Conference on Embedded Networked Sensor Systems.
- (Case, 1989) Case, E. R. (1989). *Advance driver information system concept for North America: A Mobility 2000 report*.
- (Catling, 1988) Catling, I. (1988). *The DRIVE programme in the European Community*. Paper presented at the Driver Information, IEE Colloquium on, London, UK.
- (CEN_TC_278, 2007) CEN_TC_278. (2007). *Technical Committee 278 Road Transport and Traffic Telematics*. Retrieved January 29, 2010, from <http://www3.nen.nl/cen278/>
- (CENELEC, 1998) CENELEC. (1998). *Specification of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz*. In E. C. f. E. Standardization (Ed.).

- (CENS, 2002) CENS. (2002). Center for embedded networked sensing. University of California [UCLA, USC, UCR, UCM], California State University CSULA, CALTECH Retrieved November 30, 2010, from <http://research.cens.ucla.edu>
- (Cluett *et al.*, 2006) Cluett, C., Kitchener, F. M., Osborne, L., & Conger, S. (2006). *Weather integration in transportation management centers*, *Transportation Research Record* (pp. 201-208).
- (COMeSafety, 2006) COMeSafety. (2006). COMeSafety Project under European Commission within the Sixth Framework Programme priority FP6-2004-IST-4. Retrieved February, 2009, from <http://www.comesafety.org/index.php?id=9>
- (COOPERS, 2006) COOPERS. (2006). CO-OPERative SystEms for Intelligent Road Safety - COOPERS - belong 6th Framework Programme by the European Commission - Information Society and Media. Retrieved March, 2009, from <http://www.coopers-ip.eu/index.php?id=project>
- (Courtney, 1997) Courtney, R. L. (1997). *A broad view of ITS standards in the U.S.* Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation System, ITSC '97, Boston, MA, USA.
- (Crossbow_Technologies, 2008) Crossbow_Technologies. (2008). *Wireless Sensor Networks*. Retrieved November 10, 2010, from <http://www.xbow.com/Home/wHomePage.aspx>
- (Culler, 2003) Culler, D. (2003). *10 Emerging Technologies that will change the world*, *Wireless Sensors Networks*. MIT's Magazine of innovation technology review 2003., 36-37.
- (Culler & Mulder, 2004) Culler, D. E., & Mulder, H. (2004). *Smart sensors to network the world*. *Scientific American*, 290(6), 84-91.
- (Curbera *et al.*, 2002) Curbera, F., Duftler, M., Khalaf, R., Nagy, W., Mukhi, N., & Weerawarana, S. (2002). *Unraveling the Web services Web: An introduction to SOAP, WSDL, and UDDI*. *IEEE Internet Computing*, 6(2), 86-93.
- (CVIS, 2006) CVIS. (2006). *CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure System) subproject COMO(Cooperative Monitoring)*. Retrieved June 10, 2010, from http://www.cvisproject.org/en/cvis_subprojects/applications/como/como.htm
- (Chatterjee *et al.*, 2002) Chatterjee, K., Hounsell, N. B., Firmin, P. E., & Bonsall, P. W. (2002). Driver response to variable message sign information in London. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 10(2), 149-169.
- (Chen *et al.*, 2008) Chen, K. H., Dow, C. R., Lin, D. J., Yang, C. W., & Chiang, W. C. (2008). *An NTCIP-based semantic ITS middleware for emergency vehicle preemption*. Paper presented at the IEEE

- Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC.
- (Chen *et al.*, 2006) Chen, W., Chen, L., Chen, Z., & Tu, S. (2006). *WTIS: A wireless sensor network for intelligent transportation system*. Paper presented at the First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, IMSCCS'06.
- (Cho *et al.*, 2006) Cho, S., Geon, K., Jeong, Y., Ahn, C. H., Lee, S. I., & Lee, H. (2006). Real time traffic information service using terrestrial digital multimedia broadcasting system. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 52(4), 550-556.
- (Chowdhury & Sadek, 2003) Chowdhury, M. A., & Sadek, A. (2003). *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*. Boston London: Artech House.
- (Dado *et al.*, 2009) Dado, M., Spalek, J., & Janota, A. (2009). *Present and future challenges of ICT for intelligent transportation technologies and services*. Paper presented at the Proceedings of the 2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace and Electronic Systems Technology, Wireless VITAE 2009.
- (Davies & Milton, 1994) Davies, P., & Milton, H. (1994). *Development of integrated traveller information protocols*. Paper presented at the Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings.
- (De Couto *et al.*, 2003) De Couto, D. S. J., Aguayo, D., Chambers, B. A., & Morris, R. (2003). *Performance of multihop wireless networks: Shortest path is not enough*. Paper presented at the Computer Communication Review.
- (Decotignie & Gregoire, 1989) Decotignie, J. D., & Gregoire, J. C. (1989). *Integrating the numerical controller and the FMS*. Paper presented at the IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference).
- (Devlin *et al.*, 1993) Devlin, L., Buck, B., Clifton, J., Dearn, A., & Long, A. (1993). *A 2.4GHz single chip transceiver*. Paper presented at the Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium.
- (Dillon *et al.*, 2007) Dillon, T., Wu, C., & Chang, E. (2007, September 18-21, 2007). *Reference architectural styles for service-oriented computing*. Paper presented at the Network and Parallel Computing IFIP International Conference, NPC 2007, Dalian, China.
- (Domínguez *et al.*, 2007) Domínguez, M. A., Mariño, P., Poza, F., & Otero, S. (2007). *Communication networks for vehicular electronic devices*. Paper presented at the EUROCON 2007 - The International Conference on Computer as a Tool.
- (E-FRAME, 2004a) E-FRAME. (2004a). E-FRAME List of User Needs. 2008, from <http://www.frame-online.net/top-menu/library/documents-and-reports/european-its->

- framework-architecture.html
- (E-FRAME, 2004b) E-FRAME. (2004b). *European ITS Framework Architecture*. 2008, from <http://www.frame-online.net/top-menu/library/documents-and-reports/european-its-framework-architecture.html>
- (E-FRAME, 2008) E-FRAME. (2008). E-FRAME Extend framework architecture for cooperative systems Funded under 7th Framework Programme. Research area: ICT for cooperative systems. Retrieved March 6, 2010, from <http://www.frame-online.net>
- (Eamsomboon *et al.*, 2008) Eamsomboon, P., Keeratiwintakorn, P., & Mitrpant, C. (2008). *The Performance of Wi-Fi and Zigbee networks for Inter-Vehicle Communication in Bangkok Metropolitan Area*. Paper presented at the Proceedings - 2008 8th International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications, ITST 2008.
- (EasyWay, 2009) EasyWay. (2009). EasyWay - Project Overview. Retrieved May 10, 2010, from http://www.easyway-its.eu/1/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=38
- (EasyWay, 2010) EasyWay. (2010). ES5 Datex II. Retrieved May 10, 2010, from http://www.easyway-its.eu/1/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=67
- (Easyway_Partners, 2009) Easyway_Partners. (2009). *Deployment Guidelines for Core European ITS Services, ToR for Supporting Actions & Viability Studies*. Stockholm, Sweden: Project co-funded by the European Commission DG TREN
- (ECC, 2008) ECC. (2008). *Decision of 14 March 2008 on the harmonised use of the 5875-5925 MHz frequency band for Intelligent Transport Systems (ITS)*. European Communications Committee. Retrieved June 10, 2010, from <http://www.comesafety.org/index.php?id=20>
- (EIA_U.S., 2010) EIA_U.S. (2010). *Growth of carbon dioxide emissions slows in the projections*. Retrieved September 15, 2010 from http://www.cia.doe.gov/oiaf/aeo/pdf/trend_6.pdf
- (Eichler, 2007) Eichler, S. (2007). *Performance evaluation of the IEEE 802.11p WAVE communication standard*. Paper presented at the IEEE Vehicular Technology Conference.
- (Einemann & Paradiso, 2004) Einemann, E., & Paradiso, M. (2004). *Digital cities and urban life: a framework for international benchmarking*. Paper presented at the Proceedings of the winter international symposium on Information and communication technologies.
- (EMMA, 2009) EMMA. (2009). *EMMA - Embedded Middleware in Mobility Applications*. Retrieved June 10, 2010, from http://www.emmaproject.eu/index.php?option=com_content

- &task=view&id=25&Itemid=40
- (Enge, 1994) Enge, P. K. (1994). *The Global Positioning System: Signals, measurements, and performance*. *International Journal of Wireless Information Networks*, 1(2), 83-105.
- (EPA, 2009) EPA. (2009). *European Parking Association*. Retrieved June, 2009, from <http://www.europeanparking.eu/>
- (Eren & Fadzil, 2007) Eren, H., & Fadzil, E. (2007). *Technical challenges for wireless instrument networks - A case study with zigbee*. Paper presented at the Proceedings of the 2007 IEEE Sensors Applications Symposium, SAS.
- (Eriksson & Penker, 2000) Eriksson, H.-E., & Penker, M. (2000). *Business Modeling with UML - Business Patterns at work*. Canadian: Rober Ipsen - Jhon Wiley.
- (Erl, 2005) Erl, T. (2005). *Service-Oriented Architecture Concepts, Technology and Design*. Indiana, USA: Person Education.
- (Ernst et al., 2009) Ernst, T., Nebehaj, V., & Sørensen, R. (2009). *CVIS: CALM proof of concept preliminary results*. Paper presented at the 2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, ITST 2009.
- (ERTICO, 2010) ERTICO. (2010, 10 -12 February). *Current activities towards deployment of cooperative mobility services*. Paper presented at the 2nd ETSI TC ITS Workshop, Sophia Antipolis, France.
- (ERTMS, 2007) ERTMS. (2007). *European Rail Traffic Management System*. Retrieved October 2, 2010, from <http://www.ertms.com/>
- (ETSI, 2009) ETSI. (2009). *ETSI Intelligent Transport Systems*. Retrieved February 6, 2010, from <http://www.etsi.org/WebSite/Technologies/IntelligentTransportSystems.aspx>
- (ETSI_TC_ITS, 2010) ETSI_TC_ITS. (2010). *Terms of Reference for Technical Committee (TC) Intelligent Transport Systems (ITS)*. Retrieved January 20, 2010, from http://portal.etsi.org/its/its_tor.asp
- (European_Commission, 2006) European_Commission. (2006). *Keep Europe moving – Sustainable mobility for our continent*. Retrieved August 4 2010. from http://ec.europa.eu/transport/transport_policy_review/doc/2006_3167_brochure_en.pdf.
- (European_Commission, 2007a) European_Commission. (2007a). *Galileo - The European programme for Global Navigation Services*. Community Research and Development Information Service (CORDIS) Retrieved July 4, 2010, from http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=progdokument&PG_RCN=9726313.
- (European_Commission, 2007b) European_Commission. (2007b). *Proposal from the Commission to the European Parliament and Council for a regulation to reduce CO2 emissions from passenger cars*. Retrieved September 13, 2010, from

- http://ec.europa.eu/environment/air/transport/co2/pdf/sec_2007_1723.pdf.
- (European_Commission, 2008a) European_Commission. (2008a). *Action Plan for the deployment of Intelligent Transport Systems in Europe*. Retrieved July 20, 2010, from http://ec.europa.eu/transport/its/road/action_plan_en.htm.
- (European_Commission, 2008b) European_Commission. (2008b). *European Energy and Transport Trends to 2030*. Retrieved. from http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030_update_2007/energy_transport_trends_2030_update_2007_en.pdf.
- (European_Commission, 2009) European_Commission. (2009). *Action Plan for the Deployment of Intelligent Transport Systems in Europe*. Retrieved 10 June, 2010. from http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/trans/106964.pdf.
- (European_Commission, 2010) European_Commission. (2010). *Towards a European road safety area: Policy orientations on road safety 2011-2020*. Retrieved June 30, 2010, from http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/com_20072010_en.pdf.
- (European_Communities, 1994) European_Communities. (1994). *Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe (DRIVE) Final Report on Performance and Results - DRIVE*. Paper presented at the DG XIII-Telecommunications, Information Market and Exploitation of Research. Community programme in the field of road transport informatics and telecommunications - DRIVE.
- (FCC, 2002) FCC. (2002). *Digital Audio Broadcasting Systems And Their Impact on the Terrestrial Radio Broadcast Service*. Retrieved May 15, 2010, from http://fallfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-286A1.pdf.
- (Ferrari *et al.*, 2006) Ferrari, P., Flammini, A., Marioli, D., & Taroni, A. (2006). *IEEE802.11 sensor networking*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 55(2), 615-619.
- (FHWA, 2007) FHWA. (2007). *Federal Highway Administration*. Retrieved January 10, 2007, from <http://www.fhwa.dot.gov/>
- (Figueredo *et al.*, 2001) Figueredo, L., Isabel, J., Machado, J. A. T., Ferreira, J. R., & Martins de Carvalho, J. L. (2001, August 25-29, 2001). *Towards the Development of Intelligent Transportation Systems*. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, Oakland (CA) USA.
- (Finkenzeller, 2003) Finkenzeller, K. (2003). *RFID Handbook Fundamentals and applications in contactless Smart cards and identification*. Wiley.
- (FITSA, 2007) FITSA. (2007). *Los Sistemas de Navegación*. Fundación Instituto

- Tecnológico para la seguridad del automóvil* Retrieved November 20, 2010, from http://www.fundacionfitsa.org/publicaciones_ficha.php?id=000019&PHPSESSID=79be1312fe279d28e3549e5668db7412
- (Foster *et al.*, 2002) Foster, I., Kesselman, C., Nick, J. M., & Tuecke, S. (2002). *Grid services for distributed system integration*. *Computer*, 35(6), 37-46.
- (Fowler *et al.*, 2002) Fowler, M., Rice, D., Foemmel, M., Hieatt, E., Mee, R., & Stafford, R. (2002). *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Boston, USA: Addison Wesley.
- (Gamma *et al.*, 1995) Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1995). *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Person Education.
- (Garbajosa *et al.*, 2008) Garbajosa, J., Soriano, F., & Moreno, J. (2008). *Tecnologías de Software Orientadas a Servicios*. Madrid: Circulo de Innovación tecnológica de la TIC (CITIC)
- (Gay *et al.*, 2003) Gay, D., Welsh, M., Levis, P., Brewer, E., Von Behren, R., & Culler, D. (2003). *The nesC language: A holistic approach to networked embedded systems*. Paper presented at the Proceedings of the ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation (PLDI).
- (GEONET, 2008) GEONET. (2008). *Geographic addressing and routing for vehicular communications belongs 7th Framework Program, ICT for intelligent vehicles and mobility services*. Retrieved March 10, 2009, from <http://www.geonet-project.eu>
- (Geraldine *et al.*, 2004) Geraldine, A., Patrick, P., Gianluca, F., Rodger, M., & Chris, P. (2004). IEEE 1451: transducer networking, . *European Space Agency ESA SP (Special Publication)*, 570, pp. 232-241.
- (Geric, 2010) Geric, S. (2010). *Security of Web services based service-oriented architectures*. Paper presented at the MIPRO 2010 - 33rd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, Proceedings.
- (Gilart-Iglesias *et al.*, 2009) Gilart-Iglesias, V., Marcos-Jorquera, D., Mas-Fernandez, I., Martinez, C., Herrera Quintero, L., & Macia-Perez, F. (2009). *Framework de servicios web para dispositivos embebidos. Orquestación de servicios*. Paper presented at the VI Jornadas para el desarrollo de grandes aplicaciones de red, Alicante, España.
- (GMES, 2008) GMES. (2008). *GMES: Global Monitoring Environmental and Security*. Retrieved December 10, 2010, from <http://www.gmes.info/>
- (Gozalvez, 2010) Gozalvez, J. (2010). First commercial LTE network. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 5(2), 8-16.
- (Grewal *et al.*, 2007) Grewal, M., Weill, L., & Andrews, A. (2007). *Global Positioning System, Inertial Navigation and Integration* (2th Edition ed.). New

- Jesey, USA: Wiley.
- (GSA, 2007) GSA. (2007). *The GNSS market is now*. GNSS Supervisory Authority. Retrieved 10 November, 2008, from <http://www.gsa.europa.eu/go/news/the-gnss-market-is-now>.
- (GSA, 2009a) GSA. (2009a). *GNSS is becoming the next big technology wave*. Retrieved November 14, 2010, from <http://www.gsa.europa.eu/go/the-market/studies-and-forecasts>.
- (GSA, 2009b) GSA. (2009b). *Location-based services market ready for takeoff*. Retrieved July 10, 2010, from <http://www.gsa.europa.eu/go/news/location-based-services-market-ready-for-takeoff>.
- (GSA, 2010) GSA. (2010). *Opportunities abound in growing Location-Based Services Market*. 2010, from <http://www.gsa.europa.eu/go/news/opportunities-abound-in-growing-location-based-services-market>.
- (Gu *et al.*, 2009) Gu, Y. S., Zhang, B. J., & Xu, W. (2009). *Research and realization of web services security based on XML signature*. Paper presented at the Proceedings - 2009 International Conference on Networking and Digital Society, ICNDS 2009.
- (Gungor & Lambert, 2006) Gungor, V. C., & Lambert, F. C. (2006). A survey on communication networks for electric system automation. *Computer Networks*, 50(7), 877-897.
- (Guo *et al.*, 2009) Guo, J., Liu, F., Li, C., & Zhu, Z. (2009). *Using GSM technologies to collect and supply expressway traffic information*. Paper presented at the Proceedings - 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2009.
- (Gutierrez *et al.*, 2001) Gutierrez, J. A., Naeve, M., Callaway, E., Bourgeois, M., Mitter, V., & Heile, B. (2001). *IEEE 802.15.4: A developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks*. *IEEE Network*, 15(5), 12-19.
- (Haartsen, 1998) Haartsen, J. (1998). Bluetooth - the universal radio interface for ad hoc, wireless connectivity. *Ericsson Review (English Edition)*, 75(3), 110-117.
- (Hallett & Hintz, 2010) Hallett, L., & Hintz, A. (2010). *Digital broadcasting - Challenges and opportunities for European community radio broadcasters*. *Telematics and Informatics*, 27(2), 151-161.
- (Hans-Joachim, 2010) Hans-Joachim, F. (2010). *ESF News on Intelligent Transport Systems (ITS)*. Elektrische Signalverarbeitung Retrieved March 10, 2010, from <http://fischer-tech.info/>
- (Harmon *et al.*, 2001) Harmon, P., Rosen, M., & Guttman, M. (2001). *Developing E-business Systems and Architectures - A manager's guide*. San Diego, USA.: Morgan Kaufmann.

- (Harms & Patten, 2003) Harms, L., & Patten, C. (2003). *Peripheral detection as a measure of driver distraction. A study of memory-based versus system-based navigation in a built-up area. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 6(1), 23-36.
- (Hartenstein & Laberteaux, 2008) Hartenstein, H., & Laberteaux, K. P. (2008). *A tutorial survey on vehicular ad hoc networks. IEEE Communications Magazine*, 46(6), 164-171.
- (Hautière & Boubezoul, 2009) Hautière, N., & Boubezoul, A. (2009). *Combination of roadside and in-vehicle sensors for extensive visibility range monitoring*. Paper presented at the 6th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS 2009.
- (Hayashi *et al.*, 2007) Hayashi, M., Fukuzawa, S., Ichikawa, H., Kawato, T., Yamada, J., Tsuboi, T., Matsui, S., & Maruyama, T. (2007). *Development of Vehicular Communication (WAVE) System for Safety Applications*. Paper presented at the 7th International Conference on ITS, Sophia Antipolis, France.
- (He *et al.*, 2009) He, L., Deng, Z., & Huang, J. (2009). *Navigation and communication platform for on board unit of logistics traffic*. Paper presented at the Joint Conferences on Pervasive Computing, JCPC, Taiwan.
- (Healy *et al.*, 2007) Healy, M., Newe, T., & Lewis, E. (2007). *Power management in operating systems for wireless sensor nodes*. Paper presented at the Proceedings of the 2007 IEEE Sensors Applications Symposium, SAS.
- (Hendriks, 2009) Hendriks, T. (2009). *TISA – Traveller Information Services Association Home of the TMC and TPEG standards*. Paper presented at the ETSI workshop on ITS, Sophia Antipolis, 4 February 2009.
- (Herrera-Quintero, 2007) Herrera-Quintero, L. (2007). *Prototipo de pasarela residencial multicanal*. Paper presented at the IV Jornadas para el desarrollo de grandes aplicaciones de red, Alicante, España.
- (Herrera-Quintero *et al.*, 2008a) Herrera-Quintero, L., Berenguer-Miralles, V., Restrepo-Calle, F., Gomez, R., Gilart-Iglesias, V., & Macia-Perez, F. (2008a). *Plataforma para la gestión inteligente de la maquinaria industrial basada en arquitecturas orientadas a servicios*. Paper presented at the V Jornadas para el desarrollo de grandes aplicaciones de red, Alicante, España.
- (Herrera-Quintero *et al.*, 2008b) Herrera-Quintero, L., Berenguer-Miralles, V., Restrepo-Calle, F., Gomez, R., Gilart-Iglesias, V., & Macia-Perez, F. (2008b). *Platform for intelligent management of industrial machinery based on service-oriented architecture*. Paper presented at the Proceedings of the 8th WSEAS international conference on Distance learning and web engineering.
- (Herrera-Quintero *et al.*, Herrera-Quintero, L., Macia-Perez, F., Marcos-Jorquera, D., &

- 2010) Gilart-Iglesias, V. (2010). *Nuevo Modelo para la prestación de Servicios ITS de valor agregado basado en SOA*. Paper presented at the VII Jornadas para el desarrollo de grandes aplicaciones de red, Alicante, España.
- (Herrera-Quintero *et al.*, 2010) Herrera-Quintero, L., Maciá-Pérez, F., Marcos-Jorquera, D., & V., G.-I. (2010). *SOA-based model for the IT integration into the intelligent transportation systems*. Paper presented at the 13th IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Workshop on Emergent Cooperative Emergent Cooperative Technologies in Intelligent Transportation Systems (ECTITS).
- (Herrera-Quintero *et al.*, 2009) Herrera-Quintero, L., Macia-Perez, F., Ramos-Morillo, H., & Lago-Gonzalez, C. (2009). *Wireless smart sensors networks, systems, trends and its impact in environmental monitoring*. Paper presented at the 2009 IEEE Latin-American Conference on Communications, LATINCOM '09 - Conference Proceedings.
- (Herrera-Quintero *et al.*, 2010) Herrera-Quintero, L., Maciá-Pérez, F., V., G.-I., & Marcos-Jorquera, D. (2010, 25-29 October). *Roadside Unit as a Service Based on a Model for the IT Integration into the ITS*. Paper presented at the 17th ITS World Congress, Busan Korean.
- (Herrera Quintero *et al.*, 2009) Herrera Quintero, L., Macia-Perez, F., Marcos-Jorquera, D., & Gilart-Iglesias, V. (2009). *Modelo de integración de servicios de valor agregado para los sistemas de navegación basados en SOA y en redes de sensores inteligentes*. Paper presented at the VI Jornadas para el desarrollo de grandes aplicaciones de red, Alicante, España.
- (Herring, 1996) Herring, T. A. (1996). The Global positioning system *Scientific American*, 274(2), 44-50.
- (HIDO, 2004) HIDO. (2004). *ITS Toolkit for road transport in countries with developing and transitional economies*. Highway Industry Development Organization. Retrieved June 15, 2010, from <http://www.hido.or.jp/itsos/>.
- (Hill, 2000) Hill, J. (2000). *A Software Architecture Supporting Networked Sensors*. Master of Science. University of California at Berkeley, Berkeley, California.
- (Holm, 2007) Holm, S. (2007). *Audio quality on the air in DAB digital radio in Norway*. Paper presented at the Proceedings of the AES International Conference.
- (Hollar, 2000) Hollar, S. E.-A. (2000). *COTS Dust*. Master of Science. University of California, Berkeley, Berkeley, California.
- (Hollar, 2000) Hollar, S. E. A. (2000). *COTS Dust*. Master Thesis. Master of Science in Engineering Mechanical, University of California, Berkeley.
- (Hongwei *et al.*, 2007) Hongwei, S., Zhigang, L., & Feng, P. (2007). *Development of satellite navigation in China*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Frequency Control Symposium and

Exposition.

- (Hotle M *et al.*, 2009) Hotle M, Kenney L. F, Duggan J, Landry S, & C., P. D. (2009). *Predicts: Application Governance Skills, SOA and Shifting Organizations* (No. G00163509): Gartner Consulting
- (Huang & Ma, 2009) Huang, Z., & Ma, X. (2009). *Integration of emission and fuel consumption computing with traffic simulation using a distributed framework*. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC.
- (Huhns & Singh, 2005) Huhns, M. N., & Singh, M. P. (2005). Service-oriented computing: Key concepts and principles. *IEEE Internet Computing*, 9(1), 75-81.
- (Hwang *et al.*, 2009) Hwang, M. S., Ou, H. H., & Jan, J. K. (2009). The UMTS-AKA protocols for intelligent transportation systems. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009.
- (IBM, 2009) IBM. (2009). *Intelligent Transport - How the cities can improve the mobility*. IBM Institute for Business Value. Retrieved November 29, 2010, from <http://www-935.ibm.com/services/us/gbs/bus/html/gbs-intelligent-transport-mobility.html>.
- (ICTSB, 2001) ICTSB. (2001). *The Information Communication Technologies Standards Board*. Retrieved March 30, 2010, from <http://www.ictsb.org/>
- (IEEE, 2005) IEEE.(2005). Standard 802.15.4, IEEE Standard for Information technology 802.15.4.
- (Ihmig & Herkersdorf, 2009) Ihmig, M., & Herkersdorf, A. (2009). *Flexible multi-standard multi-channel system architecture for software defined radio receiver*. Paper presented at the 2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, ITST 2009.
- (ISO, 2008) ISO.(2008). *Annual Report - ISO Standars Integrated Confidence*.
- (ISO/JTC1_WG7, 2009) ISO/JTC1_WG7. (2009). *Study Group on Sensor Networks (SGSN): International Organization for Standarization*
- (ISO/TC_22, 2007) ISO/TC_22. (2007). *ISO - Technical committees - TC 22 - Road vehicles*. 2008, from http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=46706
- (ISO/TC_204, 2008) ISO/TC_204. (2008). *Draft Business Plan Intelligent transport systems: International Organization for Standarization*
- (ISO/TC_204/WG_16, 2008) ISO/TC_204/WG_16. (2008). *C.ALM Continuous communications for vehicles*. Retrieved May 16, 2010, from <http://www.isotc204wg16.org/>
- (ISO/TC_211, 2005) ISO/TC_211.(2005). *Geographic Information/Geomatics,*

- ISO.
- (ISO_9000, 2005) ISO_9000. (2005). *Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario*. Geneva: International Organization for Standardization
- (ISO_14813, 2007a) ISO_14813.(2007a). Intelligent Transport Systems -- Reference Model Architecture(s) for the ITS sector -- Part 1: ITS service domains, service groups and services, International Organization for Standardization ISO/WD 14813-1
- (ISO_14813, 2007b) ISO_14813. (2007b). *ISO/WD 14813-1 Intelligent Transport Systems -- Reference Model Architecture(s) for the ITS sector -- Part 1: ITS service domains, service groups and services*
- (ISO_14827, 2005) ISO_14827.(2005). Transport information and control systems -- Data interfaces between centres for transport information and control systems, ISO_14827.
- (ISO_15784-1, 2008) ISO_15784-1.(2008). Intelligent transport systems (ITS) -- Data exchange involving roadside modules communication -- Part 1: General principles and documentation framework of application profiles, Technical Committee Intelligent Transportation Systems TC 204.
- (ISO_24097, 2009) ISO_24097.(2009). Intelligent transport systems -- Using web services (machine-machine delivery) for ITS service delivery -- Part 1: Realization of interoperable web services.
- (ISO_24530, 2006) ISO_24530.(2006). Traffic and Travel Information (TTI) -- TTI via Transport Protocol Experts Group (IPEG) Extensible Markup Language (XML) -- Part 2: tpeg-locML, ISO_TC_204. ISO_24530.
- (ISO_24531, 2007) ISO_24531.(2007). Intelligent transport systems -- System architecture, taxonomy and terminology -- Using XML in ITS standards, data registries and data dictionaries, ISO_TC_204. ISO_24531.
- (ISO_TC204, 2009) ISO_TC204. (2009). *Technical committees - TC 204 - Intelligent Transport Systems*. Retrieved December 10, 2010, from http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=54706
- (ISO_TC204 & 37, 2005) ISO_TC204, & 37, E. E. T. (2005). *The CALM Handbook Continuous Air-Interface Long and Medium Range*. from http://www.tih.org.uk/images/c/c7/The_CALM_Handbook.pdf
- (ITEA2, 2009) ITEA2. (2009). *ITEA Roadmap for Software Intensive Systems and Services*. Retrieved November 10, 2010 from http://www.itea2.org/attachments/509/ITEA_Roadmap_3-Executive_Summary-web.pdf
- (ITERIS, 2008a) ITERIS. (2008a). *National ITS Architecture*. 2008, from

- <http://www.iteris.com/itsarch/>
- (ITERIS, 2008b) ITERIS. (2008b). *National ITS architecture - User Services*. Retrieved July 10, 2010, from <http://www.iteris.com/itsarch/html/user/userserv.htm>
- (ITS-Congress-Association, 2009) ITS-Congress-Association. (2009). *ITS in Daily Life*. Paper presented at the 16th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services. from <http://www.itsworldcongress.com/>
- (ITS-Japan, 2009) ITS-Japan. (2009). *Intelligent Transportation System of Japan*. Retrieved May 6, 2010, from <http://www.its-jp.org/english/>
- (ITS-JP, 1999) ITS-JP. (1999). The Japanese ITS Architecture. Retrieved July 15, 2010, from http://www.its-jp.org/english/arch_e/doc/summary.pdf
- (ITSA, 2009) ITSA. (2009). *Intelligent Transportation Society of America*. Retrieved April 16, 2010, from http://www.itsa.org/itsa_history/c48/About_Us/ITS_America_History.html
- (ITSSG, 2003) ITSSG. (2003). *Intelligent Transport Systems Steering Group (ITSSG)*. Retrieved March 30, 2010, from http://www.ictsb.org/Working_Groups/ITSSG/ITSSG_introduction.htm
- (ITU-T, 2008) ITU-T. (2008). *Intelligent Transport Systems and CALM*. International Telecommunication Union, Retrieved May 10, 2010, from www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/23/01/T23010000010003PDFE.pdf
- (IWS, 2010) IWS. (2010). *World Internet Usage Statistics News and World Population*. Retrieved June 30, 2010, from <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- (Jenkins, 2007) Jenkins, B. (2007). *GNSS Market size: personal LBS. Positioning and Navigation, 2*.
- (Jenkins & Boucher, 2007) Jenkins, B., & Boucher, J. (2007). *UK GNSS Downstream Benefits Assessment*. British National Space Centre, Department For Transport (ESYS-2007566-RPT-01).
- (Jeong *et al.*, 2010) Jeong, Y. S., Lee, S. H., Yoon, J. H., Lee, W. Y., Choi, W. Y., & Yoon, Y. J. (2010). *Internal mobile antenna for LTE / GSM850 / GSM900 / PCS1900 / WiMAX / WLAN*. Paper presented at the 2010 IEEE Radio and Wireless Symposium, RWW 2010 - Paper Digest.
- (Jesty & Bossom, 2006) Jesty, P. H., & Bossom, R. A. P. (2006). *Using the European ITS Framework Architecture*. Paper presented at the ITS World Congress, London.
- (Jhang & Liao, 2008) Jhang, M. F., & Liao, W. (2008). *Cooperative and opportunistic channel access for vehicle to roadside (V2R) communications*. *Mobile Networks and Applications*, 15(1), 13-19.

- (Jiang & Delgrossi, 2008) Jiang, D., & Delgrossi, L. (2008). *IEEE 802.11p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments*. Paper presented at the IEEE Vehicular Technology Conference.
- (Kanoshima & Hatakenaka, 2008) Kanoshima, H., & Hatakenaka, H. (2008). *Development of Next-Generation Road Services by Public and Private Joint Research*. Paper presented at the Proceedings - 2008 8th International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications, ITST 2008.
- (Kaplan & Hegarty, 2006) Kaplan, E. D., & Hegarty, C. (2006). *Understanding GPS Principles and Applications* (Artech House, INC ed.): Boston : Artech House, c2006.
- (Karapistoli *et al.*, 2010) Karapistoli, E., Pavlidou, F. N., Gragopoulos, I., & Tsetsinas, I. (2010). *An overview of the IEEE 802.15.4a Standard*. *IEEE Communications Magazine*, 48(1), 47-53.
- (KAREN_PROJECT, 1998) KAREN_PROJECT. (1998). *Guidelines for the Development and Assessment of Intelligent Transport System Architectures*. Retrieved September 19, 2010, from ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/converge_dsa2.3.pdf.
- (Khichar & Shivanandan Upadhyay, 2010) Khichar, R., & Shivanandan Upadhyay, S. (2010). *Wireless sensor networks and their applications in geomatics: case study on developments in developing countries*. *Applied Geomatics*, 1-6.
- (Kizoom Nick & Miller Peter, 2008) Kizoom Nick, & Miller Peter. (2008). *A Transmodel based XML schema for the Google Transit Feed Specification With a GTFS / Transmodel comparison*. London, UK: Department for Transport
- (Koch, 2009) Koch, N. (2009). *Emc-Influences on digital broadcasting services in vehicular environments*. Paper presented at the Proceedings of the 20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC Zurich 2009.
- (Krohn *et al.*, 2009) Krohn, M., Daher, R., Arndt, M., & Tavangarian, D. (2009). *Aspects of roadside backbone networks*. Paper presented at the Proceedings of the 2009 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace and Electronic Systems Technology, Wireless VITAE 2009.
- (Kuran & Tugcu, 2007) Kuran, M. S., & Tugcu, T. (2007). A survey on emerging broadband wireless access technologies. *Computer Networks*, 51(11), 3013-3046.
- (Lanza *et al.*, 2009) Lanza, S. G., Gutierrez, C. B., & Schortmann, J. C. (2009). *GINA -GNSS for innovative road applications:- EGNOS / Galileo for road user charging and value added services*. Paper presented at the 2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, ITST 2009.

- (Lechner & Baumann, 2000) Lechner, W., & Baumann, S. (2000). *Global navigation satellite systems. Computers and Electronics in Agriculture*, 25(1-2), 67-85.
- (Lee, 2008) Lee, J. (2008). *Design of a network coverage analyzer for roadside-to-vehicle telematics networks*. Paper presented at the Proc. 9th ACIS Int. Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, SNPD 2008 and 2nd Int. Workshop on Advanced Internet Technology and Applications.
- (Lee et al., 2008) Lee, J., Yu, M., Yoo, Y., & Choi, S. (2008). *A new scheme of global mobility management for inter-VANETs handover of vehicles in V2V/V2I network environments*. Paper presented at the Proceedings - 4th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management, NCM 2008.
- (Lee et al., 2008) Lee, S., Yoon, D., & Ghosh, A. (2008). *Intelligent parking lot application using wireless sensor networks*. Paper presented at the 2008 International Symposium on Collaborative Technologies and Systems, CTS'08.
- (Levis et al., 2005) Levis, P., Madden, S., Polastre, J., Szewczyk, R., Whitehouse, K., Woo, A., Gay, D., Hill, J., Welsh, M., Brewer, E., & Culler, D. (2005). *TinyOS: An Operating System for Sensor Networks*. In S. B. Heidelberg (Ed.), *Ambient Intelligence* (pp. 115 -148).
- (Lin & Lin, 2009) Lin, K. C., & Lin, C. H. (2009). *Development of telematics communication system with WAVE DSRC*. Paper presented at the Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
- (Macia-Perez et al., 2010) Macia-Perez, F., Marcos-Jorquera, D., Gilart-Iglesias, V., Gil-Martinez, J., Herrera-Quintero, L., & Ferrandiz-Colmeiro, A. (2010). *Embedded Energy Management System for the ICT Saving Energy Consumption*. In *Energy Management* (pp. 1-16). Vukovar, Croatia INTECH.
- (Mancuso, 2009) Mancuso, V. (2009). *Take me home: Designing safer In-Vehicle Navigation devices*. Paper presented at the Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings.
- (Mannion, 2006) Mannion, P. (2006). *Nokia sets 'standard' for sensor gateway based on the cell phone*. *Microwave Engineering Europe*(NOV.), 36-40.
- (Marcos-Jorquera et al., 2008) Marcos-Jorquera, D., Macia-Perez, F., Herrera Quintero, L., Monllor-Perez, J., & Berna-Martinez, J. (2008). *Sistema de gestión para elementos de producción alineado con los sistemas TIC de la organización*. Paper presented at the V Jornadas para el desarrollo de grandes aplicaciones de red, Alicante, España.
- (Marchau et al., 2005) Marchau, V. A. W. J., Van Der Heijden, R. E. C. M., & Molin, E. J. E. (2005). *Desirability of advanced driver assistance from road safety perspective: The case of IS.A*. *Safety Science*, 43(1), 11-27.

- (Marks Eric A & Bell, 2006) Marks Eric A, & Bell, M. (2006). *Service Oriented Architecture- A planing and implemntation guide for Business and Technology* Canada: Jhon Wiley and Sons Inc.
- (MARTA, 2007) MARTA. (2007). *MARTA - Movilidad y Automoción con Redes de Transporte Avanzadas*. CDTI -Ministerio de Industria Turismos y Comercio, Retrieved November 15, 2010, from <http://www.cenitmarta.org>
- (Matschke & Lädke, 2005) Matschke, I., & Lädke, M. (2005). *Dynamic navigation in town centers*. *VDI-Berichte* (1907), pp 301-310).
- (Mbiydzenyuy *et al.*, 2009) Mbiydzenyuy, G., Persson, J. A., & Davidsson, P. (2009). *Optimization based modeling of multi-service architecture concepts in road transport telematics*. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC.
- (McLurkin, 1999) McLurkin, J. (1999). *Algorithms for Distributed Sensor Networks*. Masters Thesis. University of California, Berkeley, December, Berkeley.
- (McQueen, 1999) McQueen, J. M. a. B. (1999). *Intelligent Transportation Systems Architectures*. Boston.
- (Mecánica_Virtual, 2008) Mecánica_Virtual. (2008). *Sistema de multiplexado de datos LIN-Bus*. Retrieved June 12, 2010, from <http://www.mecanicavirtual.org/can-bus-lin-most-bluetooth.htm>
- (Mehta & Guinan, 2007) Mehta, M., & Guinan, M. (2007). *The utilisation of multi-antenna enhanced mobile broadband communications in intelligent transportation systems*. Paper presented at the ITST 2007 - 7th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, Proceedings.
- (Meier *et al.*, 2005) Meier, R., Harrington, A., & Cahill, V. (2005). *A framework for integrating existing and novel intelligent transportation systems*. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems ITSC.
- (MESSAGE, 2006) MESSAGE. (2006). *Mobile Environmental Sensing System Across Grid Environments*. Retrieved June 30, 2010, from <http://www.commsp.ee.ic.ac.uk/~wiser/message/>
- (Misra *et al.*, 1999) Misra, P., Burke, B. P., & Pratt, M. M. (1999). *GPS performance in navigation*. *Proceedings of the IEEE*, 87(1), 65-85.
- (Miyachi, 2005) Miyachi, K. (2005). *XML Signature/Encryption - The basis of web services security*. *NEC Journal of Advanced Technology*, 2(1), 35-39.
- (MLIT, 2004) MLIT. (2004). *Chapter 1 Significance of Promoting ITS*. Retrieved September 15, 2010, from <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/5Ministries/chap1.html>
- (MLIT, 2007) MLIT. (2007). *White Paper on Land, Infrastructure, Transport and Tourism in Japan*. Retrieved. from

- <http://www.mlit.go.jp/common/000033297.pdf>.
- (MLIT, 2010) MLIT. (2010). *What's New in the ITS*. Retrieved from http://www.mlit.go.jp/road/ITS/topindex/topindex_g01_1.html.
- (Monserrat *et al.*, 2009) Monserrat, J. F., Martín-Sacristán, D., Cabrejas-Peñuelas, J., Calabuig, D., Garrigas, S., & Cardona, N. (2009). On the way towards fourth-generation mobile: 3GPP LTE and LTE-advanced. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009.
- (Moon, 2009) Moon, Y. (2009). *Nomadic & Portable Devices for ITS services*. Barcelona: ISO TC/204
- (MOXA, 2008) MOXA. (2008). *Maxa , Wireless Embedded Computers W321*. Retrieved October 10, 2008, from <http://www.moxa.com/product/W321.htm>
- (Nachman *et al.*, 2008) Nachman, L., Huang, J., Shahabdeen, J., Adler, R., & Kling, R. (2008). *IMOTE2: Serious computation at the edge*. Paper presented at the IWCMC 2008 - International Wireless Communications and Mobile Computing Conference.
- (Nadeem *et al.*, 2006) Nadeem, T., Shankar, P., & Iftole, L. (2006). *A comparative study of data dissemination models for VANETs*. Paper presented at the 2006 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, MobiQuitous - Workshops.
- (NeTEx, 2009) NeTEx. (2009). *Network Exchange (NeTEx) CEN TC 278 WG9*. Retrieved September 2, 2010, from <http://www.netex.org.uk>
- (OASIS, 2009) OASIS. (2009). *OASIS -Operación de Autopistas Seguras, Inteligentes y Sostenibles*. Paper presented at the Jornada Sobre ITS para la Interacción entre el Vehículo y la Infraestructura, Madrid.
- (OCDE, 2007) OCDE. (2007). *Infrastructure 2030: Mapping policy for electricity, water and transport* (Vol. 2): Organisation for Economic Co-operation and Development.
- (Oyama, 2008) Oyama, S. (2008). *Status of ITS radiocommunications standards and their perspectives in Japan*. Paper presented at the Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2008. PIMRC 2008. IEEE 19th International Symposium on.
- (Palmer, 2006) Palmer, D. (2006). *Vision system guarantees quality at BMW*. *Eureka*, 26(6), 43.
- (Panayappan *et al.*, 2007) Panayappan, R., Trivedi, J. M., Studer, A., & Perrig, A. (2007). *VANET-based approach for parking space availability*. Paper presented at the VANET'07: Proceedings of the Fourth ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks.
- (Papazoglou *et al.*, 2007) Papazoglou, M. P., Traverso, P., Dustdar, S., & Leymann, F.

- (2007). *Service-oriented computing: State of the art and research challenges*. *Computer*, 40(11), 38-45.
- (Papazoglou & Van Den Heuvel, 2007) Papazoglou, M. P., & Van Den Heuvel, W. J. (2007). *Service oriented architectures: Approaches, technologies and research issues*. *VLDB Journal*, 16(3), 389-415.
- (Parking-Network, 2009) Parking-Network. (2009). *Parking Network for Professionals*. Retrieved June 20, 2010, from <http://www.parking-net.com/>
- (PIARC, 2004) PIARC. (2004). *The Intelligent Transportation Systems Handbook Recommendation from the world road association (PIARC)* (Jhon C Miles and Kan Chen ed.). Swanley, United Kingdom: Andrew Barribal.
- (PREDRIVE-2-C2X, 2008) PREDRIVE-2-C2X. (2008). *Predrive Project: PREparation for DRIVing implementation and Evaluation of C-2-X communication technology*. Retrieved December 19, 2010, from <http://www.pre-drive-c2x.eu/index.dhtml/174b4cb91153bf64877g/-/deDE/-/CS/-/>
- (Privil & Spalek, 2008) Privil, P., & Spalek, J. (2008). *The possibility to constitute an interoperability of EFC in the central and Eastern Europe*. *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, 7(12).
- (Rakotonirainy & Tay, 2004) Rakotonirainy, A., & Tay, R. (2004). *In-vehicle ambient intelligent transport systems (I-V-AITS): Towards an integrated research*. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC.
- (Rämä & Kulmala, 2000) Rämä, P., & Kulmala, R. (2000). *Effects of variable message signs for slippery road conditions on driving speed and headways*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 3(2), 85-94.
- (Ringert *et al.*, 2006) Ringert, J., Wasle, E., Hanley, J., M., S., & Scarda, S. (2006). *Bringing Galileo Into LBS Market the Agile Project*. Paper presented at the IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications.
- (RIS, 2005) RIS. (2005). *River Information Services*. Retrieved November 2, 2010, from <http://www.inlandnavigati on.org/en/transport/ris.html>
- (RITA, 2008) RITA. (2008). *Overview of the U.S. DOT Priority ITS Initiative: Mobility Services for All Americans*. Retrieved December 15, 2010, from http://www.its.dot.gov/msaa/msaa_paratransit.htm
- (RITA, 2009a) RITA. (2009a). *Advanced Transportation Controller (ATC) Family of Standards: Research and Innovative Technology Administration*.
- (RITA, 2009b) RITA. (2009b). *National ITS Architecture Turbo Architecture. What's New ?* Washington, DC 20590: Research and Innovative Technology Administration (RITA)
- (Robinson, 2008) Robinson, R. (2008). *Navigation market sets a course to success*.

- Advancing Microelectronics*, 35(1), 8-10.
- (Rosen *et al.*, 1970) Rosen, D. A., Mammano, F. J., & Favout, R. (1970). *Electronic Route-Guidance System for Highway Vehicles* IEEE Transactions on Vehicular Technology, VT-19(1), 143-152.
- (Rudin, 2006) Rudin, R. (2006). *The development of DAB digital radio in the UK: The battle for control of a new technology in an old medium - Convergence*, 12(2), 163-178.
- (Rybicki *et al.*, 2007) Rybicki, J., Scheuermann, B., Kiess, W., Lochert, C., Fallahi, P., & Mauve, M. (2007). *Challenge: Peers on wheels - A road to new traffic information systems*. Paper presented at the Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM.
- (SAFESPOT, 2008) SAFESPOT. (2008). *INFRASENS Cooperative System for Road Safety belong 6th Framework Programme by the European Commission - Information Society and Media*. Retrieved March 10, 2010, from <http://www.safespot-eu.org/sp2.html>
- (Sakai *et al.*, 1995) Sakai, A., Sugimoto, T., Mizuno, K., & Okuda, T. (1995). *Parking guidance and information systems*. Paper presented at the Vehicle Navigation and Information Systems Conference (VNIS).
- (Sampson *et al.*, 2009) Sampson, E., Martin, J., Schofield, M., & Evans, J. (2009). *E-FRAME support project*. *Traffic Engineering and Control*, 50(10), 435.
- (Santa *et al.*, 2008) Santa, J., Goñiz-Skarmeta, A. F., & Sañchez-Artigas, M. (2008). *Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks*. *Computer Communications*, 31(12), 2850-2861.
- (Sauter *et al.*, 2005) Sauter, P., Voigler, G., Specht, G., & Flor, T. (2005). *A Model-View-Controller extension for pervasive multi-client user interfaces*. *Personal and Ubiquitous Computing*, 9(2), 100-107.
- (Schalk *et al.*, 2007) Schalk, A., Rom, W., & Stratil, H. (2007). *The vision of ISO-CALM - A globally connected ITS world*. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 124, 19-26.
- (Schalk & Stratil, 2008) Schalk, A., & Stratil, H. (2008). *The new infrared road site transmitter brings ISO CALM on the street*. Paper presented at the 15th ITS World Congress.
- (Schnacke, 2006) Schnacke, R. (2006). *Automotive RFID gets rolling* [Electronic Version], RDIF Journal, from <http://www.rfidjournal.com/article/view/866>
- (Segarra, 2009) Segarra, G. (2009). *Road co-operative systems - Societal and business values*. Paper presented at the 2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, ITST 2009.

- (SENSIP, 2007) SENSIP. (2007). Sensor Signal & Information Processing. University State Arizona, Retrieved May 10, 2010, from <http://enpub.fulton.asu.edu/sensip>
- (SESAR, 2007) SESAR. (2007). SESAR Today's partners for Tomorrow's aviation. Retrieved November 15, 2010, from <http://www.sesarju.eu/>
- (Sesia *et al.*, 2009) Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2009). *LTE, The UMTS long Term Evolution: From the theory to practice*. Chichister, UK: Willey.
- (SEVECOM, 2006) SEVECOM. (2006). *Secure Vehicular Communication, The SEVECOM project is part of the eSafety initiative, the Information Society and Media initiative, and the 6th Framework Programme of the European Commission*. Retrieved November 10, 2010, from <http://www.sevecom.org>
- (Sewchurran & Petkov, 2007) Sewchurran, K., & Petkov, D. (2007). *A systemic framework for business process modeling combining soft systems methodology and UML*. *Information Resources Management Journal*, 20(3), 46-62.
- (Shi *et al.*, 2007) Shi, W., Wu, J., Li, Y., & Kuang, L. (2007). *Intelligent transportation information sharing and service integration in semantic grid environment*. Paper presented at the Proceedings - 2006 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI 2006 Main Conference Proceedings), WI'06.
- (Shieh *et al.*, 2006) Shieh, W. Y., Lee, W. H., Tung, S. L., Jeng, B. S., & Liu, C. H. (2006). *Analysis of the optimum configuration of roadside units and onboard units in dedicated short-range communication systems*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 7(4), 565-571.
- (Sikka *et al.*, 2007) Sikka, P., Corke, P., Overs, L., Valencia, P., & Wark, T. (2007). *Fleck - A platform for real-world outdoor sensor networks*. Paper presented at the Proceedings of the 2007 International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, ISSNIP.
- (SIRI, 2008) SIRI. (2008). *Service Interface for Real Time Information CEN/TS 15531 prCEN/TS-OO27818*.
- (SIRIT, 2005) SIRIT. (2005). *White Paper*. Carrollton, Texas: DSRC Technology and the DSRC Industry, ARINC (Broadway Cash) / U.S. DOT, DSRC Consortium (DIC).
- (Soeren, 2009) Soeren, H. (2009). *Cooperative Intelligent Transport Systems providing for sustainable transport*. Paper presented at the ETSI Green Agenda Seminar, Cannes, France.
- (Sohraby *et al.*, 2007) Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications* Willey.
- (Song & Lee, 2008) Song, E. Y., & Lee, K. (2008). *Understanding IEEE 1451 - Networked smart transducer interface standard - What is a smart transducer? IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, 11(2),

- 11-17.
- (Spies *et al.*, 2009) Spies, R., AblÃmeier, M., Bubb, H., & Hamberger, W. (2009). *Augmented interaction and visualization in the automotive domain*, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* (Vol. 5612 LNCS, pp. 211-220).
- (Sponziello, 2007) Sponziello, A. (2007). *Design strategies for web based its applications - A proposed architecture in design of intelligent transport systems application*. Paper presented at the ICE-B 2007 - Proceedings of the 2nd International Conference on e-Business.
- (Stavenhagen, 1986) Stavenhagen, L. G. (1986). The European initiative EUREKA The Concept and Aims of EUREKA. *Intereconomics, Volume 21*.
- (Struble *et al.*, 2006) Struble, R., D'Angelo, J., McGannon, J., & Salem, D. (2006). *AM & FM's digital conversion: How HD radio TM will spur innovative telematics services for the automotive industry*. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 1(1), 18.
- (Sun *et al.*, 2006) Sun, Z., Bebis, G., & Miller, R. (2006). *On-road vehicle detection: A review*. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(5), 694-711.
- (Takaba, 1991) Takaba, S. (1991). *Japanese Projects on Automobile Information and Communication Systems - Things Aimed at and Obtained in 20 Years' Experiences*. Paper presented at the Proceedings - Society of Automotive Engineers.
- (Takada *et al.*, 1989) Takada, K., Tanaka, Y., Igarashi, A., & Fujita, D. (1989). *Road/automobile communication system (RACS) and its economic effect*.
- (Takeuchi & Maeda, 2007) Takeuchi, K., & Maeda, S. (2007). *Outlook on the next steps of Intelligent transport system (ITS) technologies in Japan: for overcoming Social an Enviromental problems brought by Automobiles*. Retrieved September 20, 2010, from <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/stfc/stt022e/qr22pdf/SITTqr2202.pdf>.
- (Tamura & Hirayama, 1993) Tamura, K., & Hirayama, M. (1993). *Toward realization of VICS - vehicle information and communications system*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE-IEE Vehicle Navigation and Informations Systems Conference.
- (Tao *et al.*, 2005) Tao, X., Jiang, C., & Han, Y. (2005). *Applying SOA to Intelligent Transportation System*. Paper presented at the IEEE International Conference on Services Computing (SCC'05), Orlando Florida.
- (Taverna, 2008) Taverna, M. A. (2008). New compass heading. *Aviation Week and Space Technology (New York)*, 168(17), 34-35.
- (Taylor & Harrison, 2005) Taylor, I., & Harrison, A. (2005). *From P2P to Web Services and Grids: Peers in a Client/Server World*. Springer.

- (TEN-T, 2009) TEN-T. (2009). *Projects in the field of Intelligent Transport Systems for Road Traffic (ITS) 2007- 2013*. European Commission. Retrieved October 15, 2010, from http://tentea.ec.europa.eu/download/calls_2009/Call%2009%20TEN-TEA%20ITS_09_FINAL.pdf.
- (TISA, 2009) TISA. (2009). *Traveller Information Services Association*. Retrieved 16 July, 2010, from <http://www.tisa.org/en/welcome.htm>
- (TMC_FORUM, 2010) TMC_FORUM. (2010). *Traffic Message Channel* TMC Forum, Retrieved November 15, 2010, from <http://www.tmcforum.com/>
- (Togashi & Yamada, 2009) Togashi, H., & Yamada, S. (2009). *Extensibility of vehicle-to-roadside system to vehicle-to-pedestrian system using RFIDs*. Paper presented at the 2009 IEEE International Conference on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurements Systems, VECIMS 2009 - Proceedings.
- (Toshiyuki & Weiland, 2004) Toshiyuki, Y., & Weiland, R. J. (2004). *ITS System Architectures For Developing Countries*. World Bank. Retrieved December 19, 2010, from <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/214578-1097078718496/20281384/ITS%20Note%205.pdf>.
- (TRACKSS, 2008) TRACKSS. (2008). *TRACKSS - Technologies for road advanced cooperative knowledge sharing sensors*. Retrieved December 19, 2010, from <http://www.trackss.net/index.html>
- (Trautenberg *et al.*, 2004) Trautenberg, H. L., Weber, T., & Schäfer, C. (2004). *GALILEO system overview*. *Acta Astronautica*, 55(3-9), 643-647.
- (Tsuboi *et al.*, 2009) Tsuboi, T., Yamada, J., Yamauchi, N., & Yoshikawa, N. (2009). *Cell design for next DSRC applications*. Paper presented at the 2009 International Conference on Ultra Modern Telecommunications and Workshops.
- (Tsugawa *et al.*, 1997) Tsugawa, S., Aoki, M., Hosaka, A., & Seki, K. (1997). *A survey of present IVHS activities in Japan*. *Control Engineering Practice*, 5(11), 1591-1597.
- (Tubaishat *et al.*, 2009) Tubaishat, M., Peng, Z., Qi, Q., & Yi, S. (2009). *Wireless sensor networks in intelligent transportation systems*. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 9(3), 287-302.
- (Turon *et al.*, 2007) Turon, M., Hill, J., Gay, D., & Boad, A. (2007). *Xmesh Manual*.
- (UIT, 2008) UIT. (2008). *ISM applications*. Retrieved May 10, 2010, from <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013>.
- (US.DOT, 2008) US.DOT. (2008). *Transportation: Vision for 2030 Ensuring personal freedom and economic vitality for a Nation on the move*. Retrieved December 19, 2010, from http://www.rita.dot.gov/publications/transportation_vision_2030/pdf/entire.pdf.

- (US.DOT, 2009) US.DOT. (2009). *National ITS Architecture*. Retrieved December 19, 2010, from <http://www.iteris.com/itsarch/>.
- (US.DOT, 2010) US.DOT. (2010). "Transportation for a New Generation" 2010 - 2015. Retrieved December 19, 2010, from http://www.dot.gov/stratplan/dot_strategic_plan_10-15.pdf.
- (Van Coile *et al.*, 1997) Van Coile, B., Rühl, H. W., Vogten, L., Thoone, M., GoB, S., Delacy, D., Moons, E., Terken, J. M. B., De Pijper, J. R., Kugler, M., Kaufholz, P., Krüger, R., Leys, S., & Willems, S. (1997). Speech synthesis for the new Pan-European traffic message control system RDS-TMC. *Speech Communication*, 23(4), 307-317.
- (Van Engelen *et al.*, 2003) Van Engelen, R., Gupta, G., & Pant, S. (2003). *Developing Web services for C and C++*. *IEEE Internet Computing*, 7(2), 53-61.
- (VICS_Japan, 2007) VICS_Japan. (2007). *Car navigation equipment for VICS | VICS Web Site*. 2009, Retrieved December 19, 2010, from, <http://www.vics.or.jp/english/navi/index.html>
- (Vlasits *et al.*, 1995) Vlasits, T., Korolkiewicz, E., & Sambell, A. (1995). *5.8 GHz microwave link for automatic debiting applications*. *Microwave Journal*, 38(7).
- (W3C, 2001) W3C. (2001). *Especificación WSDL del W3C*. Retrieved mayo 20, 2008, from <http://www.w3.org/TR/wsdl>.
- (W3C, 2007) W3C. (2007). *Especificación de SOAP*. Retrieved May, 2008, from <http://www.w3.org/TR/soap/>
- (Wang & Bagrodia, 2009) Wang, Y. T., & Bagrodia, R. (2009). *Scalable emulation of TinyOS applications in heterogeneous network scenarios*. Paper presented at the 2009 IEEE 6th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems.
- (Warrior, 1997) Warrior, J. (1997). Smart sensor networks of the future. *Sensor Magazine*, pp 40-45.
- (WEF, 2009) WEF. (2009). *The Global Information Technology Report 2008–2009 Mobility in a Networked World* (SRO-Kundig ed.). Geneva: World Economic Forum and INSEAD.
- (Wei-Feng *et al.*, 2008) Wei-Feng, L., Wei, C., & Jian, H. (2008). *Research on a DATEX II based Dynamic Traffic Information publish platform*. Paper presented at the Proceedings - 2008 2nd International Symposium on Intelligent Information Technology Application, IITA 2008.
- (Weiser, 1991) Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st-Century. *Scientific American*, 265(3), 94-&.
- (Wetterwald, 2009) Wetterwald, M. (2009). *A case for using MBMS in geographical networking*. Paper presented at the 2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems

- Telecommunications, ITST 2009.
- (Williams, 2004) Williams, B.(2004). *The Continous Air Interface Long and Medium Range - The CALM handbook*.
- (Williams, 1988) Williams, M. (1988). *PROMETHEUS-The European research programme for optimising the road transport system in Europe*. Paper presented at the Driver Information, IEE Colloquium on, London.
- (Winder, 2009) Winder, A.(2009). Transport management thematic research summary, European Commission DG Energy and Transport, Transport Research Knowledge Centre.
- (Woo *et al.*, 2003) Woo, A., Tong, T., & Culler, D. (2003). *Taming the underlying challenges of reliable multihop routing in sensor networks*. Paper presented at the SenSys'03: Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems.
- (World_Bank, 2010) World_Bank. (2010). Transport. World Bank, 2010, Retrieved December 20, 2010, from, <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTTRANSPORT/0,,contentMDK:21517582~menuPK:337124~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:337116,00.html>
- (WorldDAB, 2007) WorldDAB. (2007). *Over view of DAB and DAB+ in Europe*: World Forum of Digital Multimedia Broadcasting.
- (WorldDAB, 2010) WorldDAB. (2010). *Global Broadcasting Update DAB/DAB+/DMB*: World Forum of Digital Multimedia Broadcasting.
- (Wu & Wu, 2005) Wu, J., & Wu, Z. (2005). *Similarity-based web service matchmaking*. Paper presented at the Proceedings - 2005 IEEE International Conference on Services Computing, SCC 2005.
- (Yan *et al.*, 2008) Yan, G., Olariu, S., Weigle, M. C., & Abuelela, M. (2008). *SmartParking: A secure and intelligent parking system using NOTICE*. Paper presented at the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC.
- (Yang *et al.*, 2009) Yang, C., McCollum, D., McCarthy, R., & Leighty, W. (2009). *Meeting an 80% reduction in greenhouse gas emissions from transportation by 2050: A case study in California*. *Transportation Research Part D*, 14(3), 147-156.
- (Yemini & Lazar, 1982) Yemini, Y., & Lazar, A. (1982). *Towards distributed sensor networks*. Paper presented at the Conference on Information science and system.
- (Yokota *et al.*, 2005) Yokota, T., Weiland, R. J., & Yamagata, H. (2005). *Approaches for introducing intelligent transportation systems into developing countries*, *Transportation Research Record* (pp. 72-81).
- (Zhang *et al.*, 2009) Zhang, Y., Zhao, J., & Cao, G. (2009). *Service scheduling of vehicle-*

- roadside data access. Mobile Networks and Applications, 15(1), 83-96.*
- (Zhao & Guibas, 2004) Zhao, F., & Guibas, L. (2004). *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach (The Morgan Kaufmann Series in Networking)*: {Morgan Kaufmann}.
- (Zheng, 2007) Zheng, J. (2007). *General information platform of ITS based on web service*. Paper presented at the Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.
- (Zhongmin *et al.*, 2008) Zhongmin, P., Zhidong, D., Bo, Y., & Xiaoliang, C. (2008). *Application-oriented wireless sensor network communication protocols and hardware platforms*. Paper presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology.
- (Zhu *et al.*, 2009) Zhu, D., Li, Y., Shi, J., Xu, Y., & Shen, W. (2009). *A service-oriented city portal framework and collaborative development platform. Information Sciences, 179(15), 2606-2617.*
- (Zigbee_Alliance, 2007) Zigbee_Alliance. (2007). Retrieved December 19, 2010, from <http://www.zigbee.org/>
- (Zito *et al.*, 1995) Zito, R., D'Este, G., & Taylor, M. A. P. (1995). *Global positioning systems in the time domain: How useful a tool for intelligent vehicle-highway systems? Transportation Research Part C, 3(4), 193-209.*

Apéndices

Lista de Acrónimos

ADAS	Advance Driver Assistant System
AM	Amplitude modulation
ANFAC	Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones
AWARE	Autonomous self-deploying and operation of Wireless sensor-actuator networks cooperating with AeRial objEcts
CALM	Continuous-Air-interface-for-Long-and-Medium-range
CAN	Controller Area Network
CCTV	Closed-circuit television
CEN	European Committee for Normalization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization.
CENS	<i>Center for Embedded Networked Sensing</i>
CIT	Centro de Información de Tráfico
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
COOPERS	CO-Operative SystEms for Intelligent Road Safety
CSA	Channel of Standard Accuracy
CVIS	Cooperative vehicle infrastructure system

DAB	Digital Audio Broadcasting
DMB	<i>Digital Multimedia Broadcasting</i>
DSRC	Dedicated short range communications
DVB	Digital video broadcasting
DVB-H	Digital Video Broadcasting Terrestrial
DVB-T	Digital Video Broadcasting Handheld
ECU	Electronic Control Unit
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ERTICO	European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization
ERTMS	<i>European Rail Traffic Management System</i>
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FFD	Full Function Device
FHWA	Federal Highway Administration- United States
FM	Frequency Modulation
GNSS	Global navigation satellite systems (
GPRS	Global Packet Radio Service
GPS	Global Position System
GSA	European GNSS Agency
GSM	Global system mobile
HD-RADIO	Hybrid Digital Radio
HDU	Head-Up Display
HSPA	<i>High-Speed Packet Access</i>
I2I	Infrastructure to Infrastructure
I2V	Infrastructure to Vehicle
ICT	Information and communications technology
ICTSB	ICT Standards Board
IHVS	Intelligent Vehicle Highways System
INCITS	InterNational Committee for Information Technology Standards
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation System
ITSA	Intelligent Transportation Society of America
ITSSG	<i>Intelligent Transport Systems Steering Group (</i>
LAN	Local Area Network

LBS	Location based services
LIN	<i>Local Interconnect Network</i>
LTE	Long Term Evolution
MBMS	Multimedia Broadcast and Multicast Services
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
MMS	<i>Manufacturing Messaging Specification</i>
MTPSITS	Modelo tradicional de prestación de servicios ITS
NIST	National Institute of Standards and Technology
OBU	Onboard Unit
OCDE	Organization for Economic Co-operation and Development
PAN	Personal Area Network
PIARC	Permanent International Association of Road Congresses
PND	Personal Navigation Device
PPS	Precise Positioning Service)
RDS	Radio Data System
RFD	Reduced Function Device
RFID	Radio Frequency Identification
RIS	River Information Services
RITA	Research and Innovative Technology Administration
RSU	Roadside Unit
RSUAAS	Roadside Unit as a Service
SENSIP	Sensor, Signal and Information Processing
SESAR	<i>Single European Sky ATM Research</i>
SEVECOM	Secure Vehicular Communication
SOAP	Simple Object Access Protocol
SPS	Standard Positioning Service
TC	Technical Committee
TEN-T	Trans-European Transport Networks in Europe
TI or IT	Information Technologies
TIC	Tecnologías de la Información y comunicaciones

TMC	Traffic Message Channel
UDDI	<i>Universal Description, Discovery and Integration</i>
UE	European Union
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USDOT	United States Department of Transportation
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VANET	Vehicular area network
VASITSDM	Value Added Services ITS delivery Model
VICS	Vehicle Information and Communication System
VMS	Variable Message Signs
VMT	Vehicle Miles Traveled
VTMIS	Vessel Traffic Management Information System
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WG	Working Group
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSDL	<i>Web Services Description Language</i>
WSN	Wireless Sensor Networks
XML	Extensible Markup Language