

Nuevo Modelo para la Prestación de Servicios ITS de Valor Agregado basado en SOA

Luis Felipe Herrera-Quintero, Francisco Maciá-Pérez, Diego Marcos-Jorquera,
Virgilio Gilart-Iglesias

Departamento de Tecnología Informática y Computación
Universidad de Alicante

P.O Box 99, 03080, Alicante España
{lfherrera,pmacia,dmarcos,vgilart}@dtic.ua.es

Resumen. Actualmente, los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) están compuestos por un gran número de tecnologías fuertemente acopladas. Esto ha llevado a producir sistemas que son muy dependientes y su interoperabilidad es extremadamente baja. El paradigma de Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) permite la construcción de sistemas distribuidos débilmente acoplados, lo que ayuda en la integración de sistemas heterogéneos que intervienen en los ITS. En este artículo proponemos crear un modelo basado en servicios que facilite la integración y el aprovechamiento de las Tecnologías de la Información en el ámbito de la prestación de servicios de valor agregado en los ITS. De esta forma se propicia la necesaria especialización de los fabricantes, la fácil incorporación de nuevas tecnologías, la interoperabilidad de los sistemas y los servicios existentes y la creación de nuevos modelos de negocio. Para comprobar la validez de nuestro modelo hemos desarrollado un caso de estudio que involucra uno de los principales servicios que atienden los ITS (Sistemas de gestión de aparcamientos).

1 Introducción

En la actualidad los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) son un elemento determinante para el desarrollo de cualquier sociedad [1] y [2]. Los ITS se caracterizan por permitir el intercambio de información entre los medios de transporte y sus infraestructuras [3], lo cual, convierte a los ITS en un fenómeno global que atrae el interés de profesionales del transporte, de la industria automovilística y de los sectores responsables de tomar decisiones políticas y económicas [4].

Aunque en el campo de los ITS ya existen soluciones para el usuario básico como por ejemplo el servicio de navegación, día a día son más importantes los servicios ofrecidos con la navegación [4] que la complementan y proporcionan un valor agregado. Estos servicios de valor agregado constituyen el eje fundamental de nuestra propuesta.

Los servicios de valor agregado (SVA) han evolucionado notablemente gracias a la expansión que han tenido las Tecnologías de la Información (TI) ya que éstas constituyen su soporte tecnológico [5]. Uno de los principales problemas a los que se

enfrenta el sector ITS es que está plagado de multitud de propuestas desarrolladas en gran parte de forma ad-hoc, empleando tecnologías muy acopladas entre sí [6].

Esta situación provoca que sea difícil una especialización por niveles de los fabricantes, que no se puedan reutilizar fácilmente las propuestas y tecnologías existentes, y que sea muy complejo y costoso incorporar nuevas tecnologías a los servicios existentes a medida que estas van apareciendo [3].

Dar solución al problema de cómo incorporar adecuadamente las tecnologías de información (TI), asegura propuestas efectivas y sostenibles en el tiempo a los ITS, además, este ya ha sido un problema al que se han tenido que enfrentar en un pasado reciente otros ámbitos socioeconómicos [7]. De esta forma, se reconocen ampliamente las grandes aportaciones con los que los modelos y arquitecturas eBusiness han realizado en el mundo de los negocios y de la industria en la actualidad.

En este sentido, hay un gran desafío para los futuros modelos de negocio en el campo de los ITS, como el de proveer la prestación de múltiples servicios, sobre múltiples plataformas diferentes, que trabajan en diferentes países [8]. Servicios de valor agregado tales como proporcionar información fiable sobre las condiciones de las carreteras, atascos de tráfico, trabajos en la vía, nivel de lluvia, intensidad de niebla, velocidad del viento, carreteras resbaladizas, localización de plazas libres de aparcamiento, deslizamientos de tierra y otros podrían ser integrados.

En este artículo se propone aplicar metodologías, en especial las basadas en la arquitectura orientada a servicios (SOA), similares a las que en otros ámbitos han logrado soluciones exitosas para proponer un modelo basado en servicios que permita la integración y aprovechamiento de las TI en el ámbito de los ITS para la prestación de servicios de valor añadido que propicie la especialización de los fabricantes, la incorporación de nuevas tecnologías y la interoperabilidad de los sistemas y servicios existentes. Para desarrollar este modelo de forma sistemática se propone una metodología compuesta principalmente por tres procesos dentro del ámbito ITS: identificación de las tecnologías y servicios, catalogación de tecnologías y servicios y por último el desacoplamiento tecnológico. El resultado de aplicar esta metodología al modelo actual de los ITS proporcionara un nuevo modelo ITS con las características deseadas.

La parte restante de este trabajo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe los trabajos relacionados con nuestra propuesta; la sección 3 se enfoca en proponer el modelo basado en SOA para la integración de las TI en los ITS; la sección 4 se centra en la implementación del caso de uso utilizado para probar nuestro modelo, describiendo el escenario de prueba y los resultados obtenidos; por último en la sección 5, presentamos las principales conclusiones describiendo las potencialidades del sistema y los trabajos futuros.

2 Background

De acuerdo con la Comisión Europea, los ITS son un elemento clave para el desarrollo de la sociedad, tan es así que, el despliegue de ITS representa una enorme

ayuda en la resolución de problemas tales como la congestión de tráfico, accidentes en las vías, movilidad, crecimiento de las emisiones de CO₂, entre otros [1].

Dichos problemas han llegado a tal punto que por ejemplo la Unión Europea concluyó que las congestiones de tráfico representan entre el 0.9-1.5% del PIB, en el caso de los accidentes en carreteras se han dado índices de 42953 muertes al año, y las emisiones de CO₂ han crecido un 32% entre 1990 y 2005 [2].

Por lo tanto, en el plan de acción para el despliegue de ITS para Europa se concluye que, es necesaria la introducción de nuevas soluciones de ITS que puedan crear beneficios en términos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad, contribuyendo al mismo tiempo a mejorar los mercados internos y a la competitividad [2].

Igualmente, la autoridad supervisora para los sistemas de navegación global por satélite plantea que una de las formas para alcanzar dichos beneficios es mediante la prestación de servicios de valor agregado en los sistemas de navegación y más específicamente los servicios basados en la localización [4].

Por su parte, en [7] argumentan que el 80% de las iniciativas en *TI* serán orientadas a servicios y que este tipo de tecnologías emergentes supondrán un beneficio transformacional para la gestión de la información en las empresas y en los gobiernos.

Sin embargo, en [6], se observa que la multiplicidad de soluciones tecnológicas presentes en los ITS están dificultando el despliegue de servicios por lo que concluyen que con la introducción de nuevas tecnologías emergentes será posible la creación de una plataforma abierta para la prestación de SVA.

Igualmente, según el grupo directivo de los ITS, los organismos de normalización dedicados al campo de los ITS como la ISO/TC 204, CEN TC 278, y el ETSI TC ITS buscan la formulación de modelos más generales que permitan la prestación de servicios de valor agregado [9].

Uno de los mecanismos emergentes que proporciona modelos más generales para la estandarización en los ITS, se trata del paradigma SOA. Por ejemplo, investigaciones tales como [15], [16], y [17] demuestran la importancia de desplegar este paradigma sobre los ITS para solucionar los problemas de interoperabilidad, y modelización de entidades y mensajes.

Uno de los ejemplos más claros de la aplicación del paradigma SOA en los ITS se da a partir de la integración de la información existente entre las centrales de tráfico. Por ejemplo, en EEUU se aplican los protocolos NTCIP 9010 y 2306 [18] basados en Servicios Web que es una forma de implementación del paradigma SOA, con el objetivo de alcanzar una integración coherente de la información que una central de tráfico puede ofrecer a otra o viceversa. En este mismo sentido, para el caso Europeo, existe la nueva iniciativa denominada DATEX II adscrita al Proyecto Easyway la cual, busca la integración de todos los centros de tráfico presentes en la zona Euro y para ello, han aplicado el paradigma SOA debido a las bondades que este presenta para la integración de tecnologías y servicios [10].

Según lo descrito, para que exista la convergencia y la prestación adecuada de servicios de valor agregado, aun son necesarias propuestas y modelos que involucren de manera global los componentes instalados a lo largo de la infraestructura de transporte, teniendo en cuenta las tecnologías emergentes que propicien la especialización de los fabricantes, la incorporación de nuevas tecnologías, la

interoperabilidad de los sistemas y los servicios existentes y la creación de nuevos modelos de negocio.

3 Metodología propuesta

El objetivo fundamental de nuestra propuesta es determinar cómo se deben integrar las TIC en los ITS de forma efectiva aportando un valor claro y diferenciador y con la mayor independencia posible de los elementos involucrados. Sin embargo, estos 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 para respete la independencia de todos los elementos, se propone una metodología para obtener el modelo de integración. Esta metodología (ver Figura 1) se puede sintetizar en tres fases fundamentalmente: identificación de tecnologías y servicios, catalogación de las tecnologías y de los servicios y finalmente, desacoplamiento tecnológico.

En la figura 1 se puede ver un sencillo esquema en el que se representa mediante notación UML- Erickson y Penker estas fases, su relación y sus principales objetivos así como los resultados de cada una de ellas. Según esto, la fase de identificación parte del modelo tradicional ITS existente para, mediante su análisis, teniendo en cuenta los principales estándares establecidos, identificar las tecnologías y servicios de valor agregado en los ITS.

Durante la fase de catalogación se realiza una agrupación y síntesis de las diferentes tecnologías sobre todo en función de los diferentes servicios con lo que se contará con la perspectiva general y simplificada de la situación actual de los ITS.

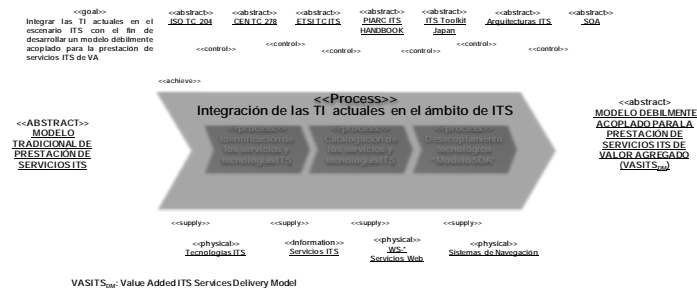


Fig 1. Metodología de Integración de las Tecnologías de Información para los ITS

Finalmente, a partir de estos estudios previos durante la fase de desacoplamiento tecnológico se tendrán en cuenta las tecnologías TIC más relevantes que pueden ayudar a facilitar la prestación de servicios ITS de valor agregado y se propondrá un nuevo modelo de prestación de servicios ITS pero, en esta ocasión contemplando las TIC como parte fundamental del mismo.

Teniendo en cuenta esta metodología, el resto del artículo se ha organizado tomándole como hilo conductor de la investigación para lograr el objetivo final: un

nuevo modelo para la prestación de servicios ITS de valor agregado basado en la integración de las TIC.

3.1 Fase de Identificación de las Tecnologías y Servicios ITS

Esta fase tiene como objetivo estudiar las diferentes propuestas realizadas por los organismos internacionales para determinar cuáles son los principales servicios de valor agregado dentro del ámbito ITS, unificar dichas propuestas según la funcionalidad de los servicios y extraer un catálogo con todas las tecnologías relacionadas en el ámbito de los ITS. Según este enfoque, en primer lugar hemos estudiado las propuestas de los organismos más relevantes en los ITS tales como ITS Japón [11], ITS América [12] y paralelamente hemos tomado como referencia la definición de las necesidades del usuario realizada por ITS Europa en el proyecto KAREN y en la actualidad llamado proyecto E-FRAME [13]. Todos estos análisis nos han permitido identificar las áreas principales que contribuyen a la composición de servicios ITS.

Tabla 8. Áreas que contribuyen a la composición de servicios ITS [11], [12] y [13]

ITS JAPON	ITS AMERICA	ITS EUROPA
<ul style="list-style-type: none"> • Avances en los sistemas de navegación • Sistemas de Tele-peaje • Sistemas avanzados de asistencia al conductor • Optimización de la gestión de tráfico • Incremento de la eficiencia en la Gestión de las carreteras • Apoyo a los sistemas de transporte público • Incremento de la eficiencia en operaciones de vehículos comerciales • Apoyo a los peatones • Apoyo a las operaciones de los vehículos de emergencia Área General 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión del tráfico y viajes • Gestión del transporte público • Pago Electrónico Operaciones de vehículos comerciales • Gestión de Emergencias • Sistemas avanzados de asistencia al conductor • Gestión de la información • Gestión de la construcción y mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • General • Gestión y planeación de la infraestructura • Aplicación de la ley • Transacciones Financieras • Servicios de Emergencias • Información del viaje y orientación • Gestión del Tráfico, Incidentes y Gestión de la Demandas • Sistemas de vehículos inteligentes • Gestión de flotas y mercancías • Gestión del transporte público

Como puede apreciarse en la Tabla 1, los organismos de ITS alrededor del mundo enfatizan sobre los problemas relacionados con el transporte a través de las áreas expuestas, y a partir de allí, se generan los servicios ITS que tienen lugar en las infraestructuras de transporte de las grandes, medianas o pequeñas urbes.

En segundo lugar, hemos realizado un estudio previo sobre los servicios ITS de valor agregado y en consecuencia hemos identificado cuáles son las tecnologías ITS asociadas a dichos servicios. Para llevar a cabo esto, hemos investigado cuales son los referentes principales tanto en servicios como en tecnologías ITS, es por ello que, en esta fase, hemos tomado ventaja de los principales comités técnicos de los ITS tales como [14], [15] y [16] con el fin de conocer de forma adecuada el escenario global de los ITS.

Sin embargo, en dicho escenario, de acuerdo a nuestro análisis, ha sido posible apreciar que las tecnologías ITS no están asociadas de manera directa con los

servicios ITS que sustentan y esto principalmente se debe a que, un servicio ITS puede ser prestado a través de distintas tecnologías. Por lo tanto, cabe destacar que, los servicios ITS son altamente dependientes de la ubicación del vehículo dentro de la infraestructura transporte. En otras palabras, la prestación de servicios ITS de valor agregado es muy dependiente de los elementos tecnológicos desplegados en la carretera, así como también, de los elementos tecnológicos que pertenecen al vehículo.

A partir de lo expuesto, en esta fase se analizaron por una parte, las tecnologías ITS pertenecientes al escenario global de las infraestructuras de transporte y por otra parte, los servicios ITS que tienen relación a las tecnologías que fueron identificadas. Para ver con más claridad los resultados de nuestro análisis inicial, hemos construido una tabla (ver Tabla 2) que ilustra el resultado final apreciándose claramente la afinidad entre un breve resumen de los servicios y los elementos tecnológicos ITS que los sustentan. En dicha tabla, por motivos de espacio, sólo se presenta una breve síntesis de dicho resultado.

Tabla 9. Resumen de Servicios y tecnologías ITS

Tecnologías ITS Habilitadoras	DSRC IR / CALM IR	CEN DSRC / RFID	WSNs/ZIGBEE/ BLUETOOTH	WAVE / CALM IMS	RDS/DAB/HD-RADIO	DVB-T DVB-H	SISTEMAS VMS	SISTEMAS CCTV	WIFI a/b/g/n	WIMAX	GSM/GPRS / CALM 2G	UMTS/HSPA / LTE / CALM 3G	GPS AND GIS	SISTEMAS DE NAVEGACION	SISTEMAS DE USUARIO	SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	SERVIDORES DE APLICACIONES	SISTEMAS CORPORATIVOS	SISTEMAS HEREDADOS	COMPONENTE TRANSVERSAL RSU	
	Algunos Servicios ITS de valor Agregado																				
Nombre del Servicio																					
Advertencia Cooperativa de colisión delantera	•		•	•							•	•			•	•	•		•		✓
Alerta de vehículo robado	•			•			•				•	•			•	•	•		•		✓
Sincronización personal con la vivienda									•	•		•	•					•	•		✓
Notificación de desvío en la carretera		•	•		•		•				•	•			•	•	•	•	•	•	✓
Vehículo de emergencia acercándose	•	•	•	•				•			•	•			•	•	•		•		✓
Advertencia luego del siniestro	•	•	•	•			•	•			•	•	•		•	•	•		•		✓
Advertencia de Colisión con trenes	•		•	•			•				•	•			•	•	•		•		✓
Adelantamiento de Vehículos	•		•	•							•	•			•	•	•		•		✓
Detección de Atascos		•	•	•	•		•	•			•	•	•		•	•	•		•		✓
Advertencias de trabajo en la vía	•		•	•	•		•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Advertencia de carretera resbaladiza	•		•	•	•		•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Advertencia de Niebla	•		•	•	•		•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Advertencia de lluvias	•		•	•	•		•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Advertencia de vientos Fuertes	•		•	•	•		•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Advertencia de conducción en sentido contrario				•	•		•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Gestión de aparcamientos	•		•	•			•	•	•	•	•	•			•	•	•		•		✓
Tele-peaje	•	•					•	•			•	•			•	•	•		•		✓
Descarga de contenido multimedia						•					•	•			•	•	•		•		✓
Descarga y actualización de mapas									•	•	•	•			•	•	•		•		✓
Información de tráfico e itinerario del transporte					•		•		•	•	•	•	•		•	•	•		•		✓

RDS: Radio data system, HD RADIO: Hybrid Digital Radio, DAB: Digital Audio Broadcasting, DMB: Digital multimedia Broadcasting, DVB: Digital Video Broadcasting, WLAN: Wireless Local Area Network, GPS: Global Position System, CALM: Communications, Air-interface Long and Medium range, WAVE: Wireless Access in Vehicular Environments (CALM M5), GSM: Global System for Mobile, UMTS: Universal Mobile Telecommunication System, LTE: Long Term Evolution, RFID: Radio Frequency Identification, DSRC: Dedicated-Short Range Communication, RSU: Roadside Unit, OBU: On-board Unit, WSNs: Wireless Sensor Networks, RFID: Radio Frequency Identification VMS: Variable Message Sign, CCTV: Closed Circuit Television.

Como enseña la Tabla 2, en la parte izquierda aparecen un conjunto representativo de servicios ITS y en la parte superior derecha han sido expuestas por columnas algunas de las tecnologías ITS más representativas que apoyan la generación y el despliegue de servicios. Igualmente, sobre dicha tabla, puede observarse el símbolo de un punto (•) que representa que, un servicio específico puede emplear una u otra tecnología específica. Por lo tanto, lo que expone la Tabla 2 es que un servicio ITS de valor agregado puede ser desplegado a través del uso de distintas tecnologías o por

una combinación de ellas. Para terminar de describir la nomenclatura utilizada en la Tabla 2 el símbolo de ($\sqrt{\quad}$) se refiere a la utilización de un componente tecnológico transversal en el escenario ITS y su nombre es la Unidad de Carretera o RSU (Roadside Unit).

Con el fin de exponer más a fondo lo que destaca la Tabla 2, a continuación, ejemplarizamos tomando como base uno de los servicios ITS de valor agregado: el *Servicio de Advertencia Cooperativa de colisión delantera* que puede ser apoyado y desplegado por las siguientes tecnologías: DSRC IR/ CALM IR, ZIGBEE-BLUETOOTH, WAVE/ CALM M5, GSM /GPRS / CALM 2G, UMTS / HSPA /LTE /CALM 3G, Sistemas de Usuario, Sistemas de Almacenamiento, Servidores de Aplicaciones y Sistemas Heredados. Paralelamente, dicho servicio también es apoyado y a su vez gestionado por el componente tecnológico transversal RSU.

Lo que ha sido expuesto, nos lleva a concluir que, la mayoría de servicios que tienen lugar en las infraestructuras de transporte son altamente dependientes en primera instancia de, los sistemas tecnológicos desplegados en la carretera, en segunda instancia de, los elementos tecnológicos ubicados en las centrales de tráfico o organismos de control de tránsito, y en última instancia de, los elementos tecnológicos que se encuentran al interior del vehículo.

Sin embargo, de todas las tecnologías que han sido mencionadas en esta fase y tomando como referencia el objetivo principal de nuestro trabajo, vamos ahora a destacar algunas de las tecnologías de mayor relevancia que están teniendo muy en cuenta para el despliegue adecuado de servicios. Dichas tecnologías han sido resaltadas de forma sombreada (por columnas) en la Tabla 2.

Una de las tecnologías que vamos a destacar son las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks-WSNs) debido a que el comité técnico ISO para las tecnologías de información "JTC 1" expone que dicha tecnología ha sido recientemente postulada como una de las tecnologías ITS que permitirán la incorporación de nuevos servicios [17] y esto sucede principalmente por dos motivos, el primero se da por las características de escalabilidad que poseen dichas redes y el segundo porque dichas redes pueden constituir un gran sistema de monitorización que podría ser desplegado a lo largo de la infraestructura de transporte.

Igualmente, otra de las tecnologías que vamos a destacar está relacionada con el acceso inalámbrico en ambientes vehiculares (WAVE) debido a que está siendo una de los principales áreas de investigación por parte de los organismos de ITS para el despliegue de servicios [18]. En este sentido, los esquemas basados en tecnologías WAVE o en el futuro CALM M5, fomentarán el despliegue de las redes vehiculares Ad-hoc o VANET (Vehicular Ad-hoc Networks-VANET) que facilitarán la creación de escenarios altamente propicios para la prestación de servicios ITS.

Paralelamente, existen otras tecnologías que son igualmente destacables en el despliegue de servicios, como por ejemplo las tecnologías que están basadas en radiodifusión de datos tales como RDS, DAB y HD-RADIO. Dichas tecnologías han sido resaltadas históricamente desde la fase inicial del despliegue de los ITS debido a que aprovechan el canal de mensajes de tráfico o TMC (Traffic Message Channel) para la difusión de servicios [19].

De la misma forma, como lo exponen [20] y [21] son destacadas las tecnologías basadas en redes celulares (2G, 3G, y 4G) ya sean GSM, UMTS o LTE ya que son

plataformas de comunicaciones altamente apropiadas para alcanzar el despliegue de servicios ITS de valor agregado.

Ahora, vamos a destacar a partir de la Tabla 2, las columnas pertenecientes a los sistemas de navegación y los dispositivos de usuarios (teléfonos inteligentes, navegadores, PDA). Dichos sistemas tecnológicos se han convertido en una pieza clave para la prestación y el despliegue de servicios ITS de valor agregado. Esto ha sucedido principalmente por varias razones como por ejemplo, el incremento del equipamiento de este tipo de tecnologías por parte del usuario, la tendencia del sector automotriz en instalar previamente dichos dispositivos en el interior del vehículo y por último, una de las más importantes es que, gran parte de los dispositivos de usuario ya traen incorporadas la funcionalidad de ser sistema de navegación lo cual, los hace propicios para la convergencia de servicios ITS de valor agregado.

En resumen, se ha podido apreciar que existen muchas tecnologías ITS y cada una cumple un rol especial dentro de la infraestructura de transporte. Sin embargo, como ha sido mencionado, en esta fase ha sido posible apreciar que existen unos componentes tecnológicos que son transversales tanto a las tecnologías como a los servicios ITS y son las Unidades de Carretera o RSU.

Por ejemplo, la RSU por una parte, se encarga de interactuar con los sistemas de monitorización de la carretera [22] y por otra parte, actúa como proveedor de servicios para los vehículos ubicados en la carretera [23]. Asimismo, dichos dispositivos como lo exponen [24] y [25] están siendo objeto de investigación constante debido a su papel desempeñado a lo largo del escenario ITS, y además, el Departamento de Transporte de EEUU concluye que, con la expansión de las tecnologías embebidas, dichos dispositivos tienden a ser más inteligentes lo cual, fomentará el despliegue de servicios ITS [26].

Antes de comenzar con la fase de catalogación de las tecnologías ITS a continuación, presentamos un análisis de la perspectiva tecnológica ITS que sirve como punto de partida para identificar las tecnologías ITS más relevantes que permitirán el despliegue de servicios en los ITS.

3.1.1 Análisis de la perspectiva tecnológica ITS para el despliegue de servicios

A continuación presentamos el análisis tecnológico que recoge las distintas cuestiones que deben ser tomadas en cuenta para el despliegue coherente de servicios ITS de valor agregado.

Una de las grandes cuestiones que plantea el comité de tecnologías de la información JTC1 con respecto a la integración de WSNs en el ámbito de los ITS, es la gran diversidad de plataformas de redes de sensores que existen, lo cual, debe ser estandarizado [17]. No obstante, Tubaishat et al. [27] plantea que las WSN contribuirán a un gran despliegue de servicios, en especial, por las bondades que les caracteriza en los diferentes ámbitos de los ITS. Por lo tanto, es cierto que dichas 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 que dichas plataformas pueden desplegar lo cual, es una pequeña parte que ataca nuestro modelo.

En lo que respecta a las tecnologías y servicios basados en WAVE, Rybicky et al. [28] plantea que una de las grandes cuestiones que más impedirán el despliegue de esta tecnología es que la mayoría de vehículos no vienen equipados con los sistemas

tecnológicos adecuados que permitan hacer del vehículo un nodo de red. Asimismo, en [28] se afirma que los vehículos que integren este tipo de tecnologías serán más costosos pero que aun así, concluye que cuando se de la masificación de las VANET se tendrá un escenario activo para la prestación de servicios ITS.

De acuerdo a lo expuesto, 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, los servicios proporcionados por las VANET 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 vehículos que estén fuera del ámbito de la red vehicular.

Por consiguiente, resulta evidente que las VANET conformaran un gran esquema para la prestación de servicios ITS de valor agregado pero como lo discute Santa et al, dichas redes no son las únicas a través de las cuales se puede lograr la prestación de servicios ITS de valor agregado. 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 [29]. Las redes celulares son y serán fundamentales para el despliegue de servicios ITS de valor agregado y más aun cuando gran cantidad de usuarios comienzan a disponer de sistemas móviles altamente equipados (teléfonos inteligentes) que pueden servir para la convergencia dichos servicios.

En el caso de los esquemas basados en radiodifusión de datos se presenta un problema mayor de cara a la prestación de servicios ITS de valor agregado y esto sucede principalmente porque los servicios prestados por las centrales de tráfico a través de canales TMC son de carácter altamente plano, lo que dificulta la interacción de servicios con carácter más dinámico entre el usuario y la infraestructura. Sin embargo, como lo plantea *Cho et al*, [19] los nuevos esquemas en radiodifusión de datos como DAB o HD-RADIO comienzan a ser formas alternativas más viables para ofrecer servicios dinámicos en los ITS. La cuestión es que como lo plantea Holm, dichas tecnologías están teniendo problemas para su despliegue y básicamente esto se ha debido a que los usuarios necesitarían cambiar los sistemas de radiodifusión actuales a unos que empleen la tecnología DAB. Esto no ha sido muy bien aceptado por parte de los usuarios y además, el sistema DAB reduce un poco la calidad del audio en FM estéreo lo que ha ocasionado mas reticencia por parte de los usuarios [30].

Por último, en relación con los sistemas de navegación y los sistemas de usuario, Jenkins [31] plantea que dichos sistemas son los elementos que van a permitir la convergencia de servicios ITS de una manera coherente. Sin embargo, para llegar esto, en primer lugar, debe alcanzarse un alto nivel de integración de servicios entre el equipamiento que hay en la infraestructura de transporte y el equipamiento que hay vehículo, y en segundo lugar, los navegadores o dispositivos de usuario actuales deben equiparse con tecnologías que permitan la interacción con varias redes de telecomunicaciones lo cual permitirá la convergencia de servicios expuesta por Jenkins.

Continuando con el desarrollo de nuestra propuesta ahora damos paso a la segunda fase relacionada con la catalogación de las tecnologías y servicios ITS.

3.2 Catalogación de Tecnologías y Servicios ITS

Esta fase la hemos definido con el objetivo de catalogar tanto las tecnologías ITS como los distintos servicios ITS de acuerdo con su funcionalidad y comportamiento dentro de la infraestructura de transporte. Esto lo hemos hecho principalmente para identificar cuáles son los esquemas tecnológicos en los que un servicio ITS podría ser prestado. Por lo tanto, para abordar esta fase, tomaremos como apoyo los referentes tanto tecnológicos como de servicios ITS que propendan hacia la estandarización de soluciones ITS.

En consecuencia, para llevar a cabo todo lo que se ha mencionado hemos tomado ventaja de lo que exponen varios organismos decisivos para el despliegue coherente de ITS, tales como la asociación mundial de carreteras (PIARC) [32], las propuestas realizadas en el ITS toolkit [33], las propuestas de servicios ITS elaboradas por: ITS Japón [11], el Departamento de Transporte de los EEUU [12], las necesidades del usuario propuesta por Europa [13] y la organización internacional para la estandarización ISO a través del comité técnico de ITS [34].

De acuerdo a lo que se ha mencionado, existen varias formas de catalogar las tecnologías ITS y esto depende de los esquemas que sean tomados en cuenta para el despliegue de servicios. Por ejemplo, según la PIARC las tecnologías ITS son catalogadas de acuerdo a las siguientes áreas: Localización y referenciación, adquisición de datos, procesamiento de datos, comunicaciones, distribución de la información y utilización de la información. Cada áreas encierra una gran cantidad de componentes tecnológicos que pueden ser vistos ya sea desde el lado de la infraestructura o desde el lado del vehículo como se enseña en la Tabla 3.

Como describe la Tabla 3, la catalogación de las tecnologías se realiza de acuerdo a la funcionalidad que prestan los elementos tecnológicos en la infraestructura de transporte.

Sin embargo, esta no es la única forma de catalogar las tecnologías ITS debido a que existen otros enfoques los cuales, parten de las relaciones existentes entre los elementos de comunicaciones afines por un lado, a la infraestructura de transporte y por el otro lado, al vehículo o viceversa.

En este sentido, se consolidan nuevos escenarios para catalogar las tecnologías ITS y esto debe en primer lugar, al desarrollo de los ambientes WAVE y en segundo lugar, al desarrollo de nuevos dispositivos como las Unidades de abordó o OBU (On board Unit) que son capaces de interactuar con distintas tecnologías ubicadas tanto en el interior como en el exterior del vehículo y en tercer lugar, al desarrollo de componentes transversales tecnológicos instalados en las infraestructuras de transporte como las RSU. Por lo tanto, la Tabla 4 expone la catalogación de las tecnologías ITS en función del escenario de comunicaciones.

Tabla 10. Catalogación Tecnológica según la PIARC

Localización y referenciación	<ul style="list-style-type: none"> •Mapas digitales •Sistemas de Información geográfica •Bases de datos de redes de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> •Localización desde del teléfono móvil •Sistemas de Navegación •Localización del vehículo automática
Adquisición de datos	<ul style="list-style-type: none"> •Detectores de tráfico •Monitorización del Clima •Detección de incidentes automático 	<ul style="list-style-type: none"> •Identificación de vehículos automática •Vehículos de pruebas
Procesamiento de datos	<ul style="list-style-type: none"> •Diccionarios de datos •Fusión de datos •Intercambio de datos 	<ul style="list-style-type: none"> •Computadores de a bordo •Comparación de Mapas digitales
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> •Enlaces de microondas •Redes de fibra óptica •Balizas (DSRC) •Redes Celulares 	<ul style="list-style-type: none"> •Receptores DAB •Teléfonos móviles como receptores •Receptores RDS-TMC, Mensajes de voz por radio •Transpondedores
Distribución de la información	<ul style="list-style-type: none"> •Sistemas de mensajería variable VMS •Internet •Kioscos •Redes Celulares 	<ul style="list-style-type: none"> •Asistentes personales digitales (PDA) •Unidades en el Vehículo
Utilización de la información	<ul style="list-style-type: none"> •Detección de Incidentes •Gestión de la demanda •Monitorización de la congestión 	<ul style="list-style-type: none"> •Orientación de rutas •Sistemas avanzados para la seguridad del conductor

Tabla 11. Catalogación Tecnológica según la Tecnologías de Comunicaciones

TECNOLOGÍAS ITS DE COMUNICACIONES	V	V2V	V2I	I2V	I2I
DSRC IR			•	•	•
CALM IR		•	•	•	•
DSRC RFID			•	•	
ZIGBEE WSN		•	•	•	
BLUETOOTH	•	•	•		
WAVE/CALM M5		•	•	•	
RDS / DAB / DMB				•	
DVB				•	•
WiFi a/b/g/n		•	•	•	
WiMax		•	•	•	•
GSM / GPRS CALM 2G		•	•	•	•
UMTS / LTE / CALM 3G		•	•	•	•
RS232	•				
CAN	•				
RS485	•				

Escenarios de comunicaciones: V → al interior del vehículo, V2V → Vehículo a Vehículo, V2I → Vehículo a Infraestructura, I2V → Infraestructura a Vehículo, I2I → Infraestructura a Infraestructura

Como es posible observar en la Tabla 4, existen varios escenarios de comunicaciones en el ámbito ITS y en cada uno de ellos, se catalogan de forma general las tecnologías que son utilizadas para la generación de servicios ITS. En este sentido, habrá tecnologías que funcionen en distintos escenarios y todo esto, va a depender de los servicios ITS que dichas tecnologías sean capaces de apoyar.

Por ejemplo, a partir de la Tabla 4 puede verse como las tecnologías DSRC RFID comprenden dos escenarios de comunicaciones en el ámbito ITS, el primero de ellos está relacionado con la comunicación entre el vehículo y la infraestructura y el segundo se da a nivel recíproco, es decir, entre la infraestructura y el vehículo.

Por lo tanto, si tomamos el servicio de tele-peaje el cual, funciona en muchos países Europeos, será posible ver la interrelación existente entre un servicio ITS y las tecnologías que lo apoyan. Esto mismo sucede de forma similar si lo llevamos al campo de otros servicios ITS. En consecuencia, vemos como las tecnologías ITS pueden ser catalogadas de acuerdo a su funcionalidad de cara al escenario global de los ITS.

Igualmente, dando paso a otra forma de catalogar las tecnologías ITS de comunicaciones, se toma como base lo que exponen las diferentes normativas propuestas por el TC 204 [14], el TC 278 [15], el TC ITS [16], pero ahora, serán tomados los siguientes parámetros: Tecnologías basadas en Infraestructuras, Tecnologías sin infraestructura y tecnologías directamente relacionadas con las VANET. Para elaborar esta nueva catalogación, hemos extraído las bondades de cada una de las tecnologías de comunicaciones que han sido mencionadas a lo largo del artículo, debido a que nos ayudarán igualmente a la catalogación de servicios que se realizará posteriormente. Como resultado de nuestra investigación y haciendo uso del resultado previo enseñado en la Tabla 4, ahora se presenta la Tabla 5 donde se recoge la nueva forma de catalogar las tecnologías ITS y sus principales bondades tecnológicas.

Tabla 5. 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 - DMB	WiFi a/b/g/n	WiMax	GSM / GPRS CALM 2G	UMTS / CALM 3G	DSRC IR	CALM IR	DSRC RFID	ZIGBEE WSN	BLUETOOTH	WAVE	CALM M5
Esc. de Comunicación	I2V	V2V, V2I, I2V	V2V, V2I, I2V, I2I	V2V, V2I, I2V, I2I	V2V, V2I, I2V, I2I	V2I, I2V, I2I	V2V, V2I, I2V, I2I	V2I, I2V	V2V, V2I, I2V	V, V2I, I2V	V2V, V2I, I2V	V2V, V2I, I2V
Velocidad de datos	1.2 Kbps / 1.73 Mbps	11-600 Mbps	1-75 Mbps	80-384 Kbps	7.2 Mbps	500 - 1024 Kbps	1-2 Mbps	4 Mbps	20-250 Kbps	1-3 Mbps	-6 Mbps	-6 Mbps
Rango	40 Km	100-250 M	50 Km	10 Km	10 Km -35KM	10 M	10 M -100 M -1 Km ²	30-35 M	100 M	10 M	-1 Km	-1 Km
Banda de operación	6-8 Mhz	2.4 -5.2 Ghz	5x Ghz	0.8- 1.9 Ghz	0.8- 1.9 Ghz	5.8 Ghz	800 - 1000 nm	865 - 868 Mhz	2.4 Ghz	5.4 Ghz	5.8 - 5.9 Ghz	5 - 6 GHz
Movilidad	Si	Limitada	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Limitada	Si	Si

Como es posible apreciar en la Tabla 5, cada una de las tecnologías expuestas ofrece sus bondades respectivas a un escenario o a varios escenarios concretos de los ITS es decir que, la elaboración de esta tabla permite determinar con gran coherencia que tipo de tecnologías son adecuadas para el ofrecimiento de algún servicio específico a partir de los requerimientos del mismo. Dicho servicio, podrá ser catalogado dentro de uno de los escenarios mencionados y a su vez, se será posible determinar si este requiere o no, tecnologías basadas en infraestructuras, sin infraestructuras o que pueda ser desplegado mediante tecnologías orientadas a VANET.

En consecuencia, del servicio extraído actuará en uno de los escenarios de comunicación expuestos en la tabla 3, y paralelamente hará uso de varias de las de las tecnologías ITS mencionadas o una combinación de las mismas para su despliegue coherente.

Por citar un ejemplo, algunas de las tecnologías que se encuentran catalogadas dentro del rol de *sin infraestructura* tales como BLUETOOTH, o la tecnología emergente ZIGBEE ambas pertenecientes al campo de las WSN, podrían ser utilizadas en una instancia para la generación o integración de varios servicios ITS de valor agregado relacionados con la seguridad del usuario. Por lo tanto, las relaciones que se generen entre las tecnologías y los servicios son un parámetro fundamental para la elaboración de nuestro modelo que apunta hacia un acoplamiento débil entre las tecnologías y los servicios.

Ahora nos centraremos en la catalogación de los servicios ITS y para ello vamos a destacar cómo a partir de las áreas ITS mencionadas se generan grandes cantidades de servicios. Para elaborar dicha catalogación hemos investigado los servicios ITS propuestos por el comité técnico de ITS TC 204 según la normativa ISO 14813 [34]. Por lo tanto, a continuación se presenta la Tabla 6, donde puede ser posible observar que existen once dominios de servicio ITS y cada dominio presenta diferentes áreas de desempeño relacionadas con dicho dominio.

Como es posible observar en la Tabla 6, por ejemplo, el dominio del servicio de *información al viajero* contiene el área de *información en el viaje*. Dicha área es bastante abierta y una gran cantidad de servicios ITS de valor agregado pueden ser generados allí. En este sentido, a continuación vamos a presentar una ampliación de los servicios que tienen lugar en cada uno de los dominios mencionados ya que esto no es comprendido por la normativa ISO 14813 lo cual, contribuye a un nuevo aporte que será utilizado por nuestro modelo.

Por lo tanto, vamos a ampliar y a catalogar de forma general nuevamente los servicios que se producen en cada dominio teniendo en cuenta para su catalogación, las relaciones previamente investigadas que existen entre la infraestructura de transporte y el vehículo. A los nuevos servicios les hemos llamado servicios específicos y los hemos clasificado de acuerdo al ámbito del servicio ya sea este, primario o secundario como se presenta en la Tabla 7.

El servicio de ámbito primario es el que se presenta de forma sistemática en el escenario general ITS, dicho servicio puede ser generado en un escenario I2V, V2V, V2I, I2I, o puede ser un servicio local del vehículo (V) o de la infraestructura solamente (I). Por lo tanto, el servicio de ámbito primario es el servicio que se presta con normalidad sobre uno de los escenarios mencionados.

Por su parte, el servicio de ámbito secundario es el que se genera a partir de la forma en que interactúa el servicio primario con la infraestructura de transporte, es decir, el servicio secundario suele ser un servicio de apoyo que puede ser extendido a muchos otros usuarios que no hagan parte del escenario primario en el cual se presta dicho servicio.

Tabla 6. Catalogación de los servicios ITS por parte de la ISO [34]

Dominio del Servicio(DS)	Área de desempeño
<p>1. Información al viajero (INFAV) El grupo de servicios dentro del dominio de la "Información al Viajero" está destinado a la provisión de información tanto estática como dinámica sobre la red de transporte y servicios para la los usuarios antes y durante el viaje, también este dominio proporciona herramientas para los profesionales del transporte para recopilar, archivar y administrar la información para las actividades futuras de planificación del transporte.</p>	<p>1.1 Info. antes del viaje 1.2 Info. en el viaje 1.3 Info. 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</p>

<p>2. Gestión de tráfico y operaciones (GTO) El grupo de servicios bajo el "dominio de gestión del tráfico y operaciones" está destinado específicamente a mantener la circulación de personas, mercancías y vehículos en toda la red de transporte, e incluyen la monitorización automática y actividades de control, así como los procesos de toma de decisiones (tanto manuales y automatizados) 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.</p>	<p>2.1 Control de tráfico 2.2 Gestión de incidentes relacionada con el transporte 2.3 Gestión de la demanda 2.4 Gestión y mantenimiento de la infraestructura de transporte</p>
<p>3. Vehículo (V) Este dominio se centra en servicios específicos que mejoran la seguridad de funcionamiento de los vehículos, y están contenidas en el propio vehículo.</p>	<p>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</p>
<p>4. Transporte de Mercancías (TM) Este dominio está destinado a dirigir las actividades que facilitan las operaciones de vehículos comerciales así como también la logística intermodal, incluyendo coordinación inter-jurisdiccional</p>	<p>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 mercancías 4.6 Gestión de información intermodal 4.7 Gestión y control de centros intermodales 4.8 Gestión de mercancías peligrosas</p>
<p>5. Transporte Público (TP) Este 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</p>	<p>5.1 Gestión del transporte público 5.2 Respuesta a la demanda de transporte público y Gestión de transporte compartido.</p>
<p>6. Emergencias (E) Este dominio describe las actividades que permiten servicios de apoyo para emergencias con lo cual sus procesos de despliegue son iniciados y expandidos en toda la red de transporte más rápidamente.</p>	<p>6.1 Notificación de emergencia relacionada con el transporte y seguridad personal 6.2 Gestión de vehículos de emergencias 6.3 Notificación de incidentes y materiales peligrosos</p>
<p>7. Pago electrónico relacionado con el transporte (PERT) Este dominio trata sobre las actividades que permiten ingresos para los servicios de transporte como peajes, en los cuales no se recoge el pago evitando congestiones</p>	<p>7.1 Transacciones financieras electrónicas relacionadas con el transporte 7.2 Integración de servicios de pago electrónico relacionado con el transporte</p>
<p>8. Seguridad personal relacionada con el transporte por carretera (SPRT) Los servicios en este dominio describen las actividades que protegen la seguridad personal de los peatones al utilizar la red de transportes.</p>	<p>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</p>
<p>9. Monitorización de las condiciones ambientales y climáticas (MCAC) El ámbito de estos servicios describen las actividades que monitorizan las condiciones climáticas y ambientales que tienen un impacto en la red de transporte y sus usuarios.</p>	<p>9.1 Monitorización del clima 9.2 Monitorización de condiciones ambientales</p>
<p>10. Coordinación y Gestión de la respuesta ante desastres (CGD) Este dominio describe las actividades de los ITS, que asistirán múltiples jurisdicciones en la respuesta ante desastres naturales, disturbios civiles, o de terrorismo</p>	<p>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</p>
<p>11. Seguridad Nacional (SN) Este dominio describe las actividades que protegen directamente o mitigan el daño físico o de funcionamiento a las personas y a las facilidades del transporte debido a desastres naturales, disturbios civiles, o ataques terroristas</p>	<p>11.1 Monitorización y control de vehículos sospechosos 11.2 Monitorización de gasoductos</p>
<p>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 las condiciones ambientales y climáticas, CGD → Coordinación y Gestión de la respuesta ante desastre, SN → Seguridad Nacional</p>	

Tabla 7. Catalogación de los servicios ITS según el ambito del servicio

DS	Servicios Especificos	Ámbito del Servicio	
		Primario	Secundario
1. INFAV	• Visualización 2D/3D, Selección de POI	I2V	V2V,V2I
	• 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
	• Pronostico del Clima	I2V	V2V
	• Descubrimiento de teléfonos en la vía	I2V	V2V, V2I
	• Advertencias por VMS	I2V	I2I

	<ul style="list-style-type: none"> • 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 : Visualización 3D y POI remotos, plazas libres de Parkings y su reserva 	I2V	V2V, V2I
		I2V	V2V
		I2V	V2V
		I2V	I2I
		I2V	V2V, V2I
2. TO	<ul style="list-style-type: none"> • Supervisión y monitorización en tiempo real, del estado de la circulación y tráfico interurbano • 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 autopistas 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 • Flujo de la Marea (Servicios de cambio de carril) • Incorporación a la vía • Gestión de Aparcamientos • Congestión en un carril específico • Gestión de desastres: Terremotos, Derrumbes, inundaciones, guerra • Precio del Parking • Vehículos como sondas para recolección de datos de la infraestructura • Control de Velocidad • Gestión de Trabajos en la vía • Mantenimiento de las autopistas • Almacenamiento de datos 	I2I	I2V, V2I
		I2V	V2V
		I2I	
		I2I	V2I, V2V, I2V
		I2I	I2V, V2V
		I2V	V2V
		I2V	V2V
		I2I	I
		I2V	V2V
		I2V	V2V, V2I, I2I
		V2V	I2V, V2I
		I2V	V2I, I2I
		I2V	V2V, V2I, I2I
		I2I	V2I, V2V, V2I
		V2V	V2I, I2V, I2I
		V2I	I2I
		I2V	V2V
		I2V	I2I, I2V
		I2V	I2I
		I	I2I, I2V
3. V	<ul style="list-style-type: none"> • Asistencia de Vehículo de Emergencias acercándose • Prioridad de vehículo de emergencia • Vehículo de pruebas para recolección de datos (Trabajos en la vía) • Información de Tráfico • 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 • Gestión del tráfico - vehículos como sondas • Advertencia de zona de trabajo • Advertencia de condiciones de la carretera • Advertencia de vehículo volcado • Advertencia de puente bajo • Prioridad 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 • Presión del aceite • Armado y despliegue de bolsas de aire (AirBags) 	V2V	V2I, I2I, I2V
		V2V	V2I, I2V, I2I
		V2I	I2V, V2V, I2I
		V2I	I2V
		V	I2V
		V2V	I2V, V2I
		V2V	V2I, I2V
		V	I2V, V2V
		V2V	V2I, I2V
		V2V	V2I, I2V, I2I
		V2I	I2I
		V2I	I2V, V2V
		V2V	V2I, I2V
		V2V	V2I, I2V
		V2V	V2I, I2V
		V2V	I2V, I2I
		V2V	V2I, I2V
		V	V2V, V2I, I2V
		V2V	I2V
		V2V	I2V, V2I
		V	V2V, V2I, I2V
		V	NA*
		V	NA*
		V	NA*
		V	NA*
		V	NA*
		V	NA*
Escenario del servicio: +→ 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
4. TM	<ul style="list-style-type: none"> • Peso en movimiento • Chequeo Rápido de características del vehículo comercial • Monitorización de los registros 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 mercancías • Intercambio de información de llegada tanto de contenedores como de vehículos • Facilidades intermodales • Compartición de datos de movimiento de carga peligrosa 	V2V	V2I, I2V
		I2V	V2I
		I2V	I2I
		V2I	V2V, I2V
		I2V	I2I
		I2V	V2I, I2I
		V	V2I, V2V, I2I
		V2I	I2I, V2V
		V2I	I2I
		V2I	I2I, I2V
		I2V	I2I
		V2V	V2I, I2V

	<ul style="list-style-type: none"> Registro de datos de mercancías peligrosas Coordinación de flotas con movimiento de carga peligrosa 	V2I I2V	I2V, I2I V2V, V2I, I2I
5. TP	<ul style="list-style-type: none"> 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) 	V2I V2I I2V V2I V	I2I I2I, V2V I2I V2V, I2V I2V
6. E	<ul style="list-style-type: none"> Notificación de colisión automática Llamada de socorro iniciada por el usuario 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 	V2V V2I V V2I V2I V2I I2V V2I V2I	V2I, I2I, I2V I2I, I2V, I2V NA I2V, I2I I2V, I2I, V2V V2V, I2V I2I V2V, I2I I2I
7. PERT	<ul style="list-style-type: none"> Pago de tarifas de tránsito Pago electrónico de peajes Pago electrónico de aparcamientos Pago de servicios electrónicos (Información de viaje, reservas, etc) Integración de sistemas de pago a nivel regional 	V2I V2I V2I V2I I2I	I2I, I2V I2V, I2I I2V, I2I I2V, I2I I
8. SPRT	<ul style="list-style-type: none"> Advertencias de MAYDAY para el transporte público Detección de intrusión Vigilancia del transporte público Detección de vehículos no motorizados Monitorización de peatones Detección de vehículos especiales Monitorización de medios de transporte especializados (carts, sillas de ruedas) Advertencias al conductor para medios de transporte especializados Advertencias de visualización por señales de alerta Advertencia de vehículo aproximándose 	V2I V2I I2V I2V I2V I2V V2I V2V V V2V	I2I I2V I2I V2V, V V V2I, I2I I2V, V2V, I2I V2I, I2V V2V, V2I, I2V V2I, I2V
9. MCAC	<ul style="list-style-type: none"> Intensidad de Niebla Detección de Nieve Detección de hielo Velocidad del viento Detección de lluvias y calor Previsión del tiempo(basados en los anteriores) Nivel de agua / Monitorización y predicción de la Mareas Monitorización sísmica Monitorización de Avalanchas, deslizamiento de lodo, rocas cayendo 	I2V I2V I2V I2V I2V I2V I2V I I2V	V2I, V2V, I2I V2I, V2V, I2I V2I, V2V, I2I V2I, V2V, I2I V2I, V2V, I2I I2I I2I, V2I, V2V I2I, I2V V2I,
10. CGD	<ul style="list-style-type: none"> Recopilación de datos pertenecientes a emergencias y desastres Compartición de datos de emergencias y desastres Planeación de respuesta ante desastres Coordinación de respuesta ante desastres 	I2I I2I I2I I2I	V2I, V2V, I2V I2V I2V, V2V I2V, V2V
11. SN	<ul style="list-style-type: none"> 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 	V2I I I I2I I	I2V I2I, I2V I2I, I2V I2V, V2V 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.

Con el fin de esclarecer más lo que ha sido descrito, vamos a tomar uno de los servicios pertenecientes a la Tabla 7, como por ejemplo el *servicio sobre información de tráfico dinámica* perteneciente al dominio INFAV. Este servicio lo hemos catalogado en el ámbito primario como servicio I2V, esto quiere decir que normalmente dicho servicio es apoyado desde la central de tráfico hacia el vehículo o en otras palabras de la infraestructura al vehículo. Además, como su nombre lo indica, es un servicio que es generado por las centrales de tráfico y es normalmente extendido a través de canales TMC. El mismo servicio, puede presentarse también en distintos ámbitos secundarios como servicios V2V y V2I los cuales son descritos a

continuación. Por ejemplo, para que dicho servicio sea prestado en un escenario V2V es necesario que alguno de los vehículos sea poseedor de la información de tráfico en un momento determinado y gracias a los ambientes WAVE extenderlo a más vehículos sin la necesidad de hacer contacto directo con la central de tráfico ya que en un inicio, uno de sus vehículo se ha convertido en proveedor del dicho servicio. Igualmente, en el ámbito secundario es posible que dicho servicio se preste como un servicio V2I ya que a través de los sistemas de abordaje, y los sensores que tenga el vehículo (por ejemplo un vehículo sonda) se puede dar el caso de que se preste de forma contraria, es decir que el vehículo sea el que alerte a la Infraestructura de algún cambio específico que será notificado a la central de tráfico la cual, lo convertirá en un servicio de ámbito primario I2V.

Igualmente, en la tabla 7 puede verse que existen unos servicios que sólo se producen en el ámbito local, es decir, que no son extendidos más allá del vehículo o de la infraestructura. Por ejemplo, el servicio de despliegue de airbags es propio de cada vehículo y esto no puede ser extendido a otro escenario de comunicación ITS.

De acuerdo al esquema tan amplio que tienen los servicios ITS, vamos a centralizar nuestro estudio sobre el dominio del servicio de información al viajero, debido a que esta, es una de las áreas con mayor expansión en el ámbito ITS y donde puede verse en gran medida reflejado la aplicabilidad de los servicios ITS de valor agregado. En dicho dominio, los servicios ITS están más orientados al escenario I2V, por lo tanto, vamos a centrarnos en las tecnologías ITS que lo apoyan, para luego establecer los subconjuntos tecnológicos adecuados que serán utilizados en nuestro modelo.

A continuación será abordada la fase de desacoplamiento tecnológico la cual nos permitirá organizar las tecnologías ITS de la manera más coherente para que contribuyan de forma eficiente a la prestación de servicios ITS de valor agregado.

3.3 Fase de Desacoplamiento

Siguiendo nuestra metodología de Integración de las TI en el ámbito ITS, ahora, vamos a abordar la fase de desacoplamiento tecnológico en la cual, las tecnologías ITS serán organizadas de forma coherente para que sea posible alcanzar un modelo de prestación de servicios ITS de valor agregado.

Para construir dicha fase, vamos a utilizar los resultados previos obtenidos a partir de las fases realizadas, con el fin de organizar de forma coherente las tecnologías ITS. Paralelamente, para la elaboración de esta fase se tendrán muy en cuenta las funcionalidades ofrecidas por las tecnológicas ITS a lo largo de la infraestructura de transporte lo cual, permitirá clasificarlas adecuadamente para que propicien un ambiente en el que sea posible la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Según este enfoque, nuestra propuesta para la fase de desacoplamiento es la creación de dos capas que nos permitirán organizar de manera coherente las tecnologías ITS. En este sentido, se presentan entonces la capa de servicios y la capa de comunicaciones. Ambas capas, ayudarán a la integración de las TI en el ámbito ITS y paralelamente, contribuirán al despliegue de servicios ITS de valor agregado.

Por su parte, la capa de servicios encapsulará tres niveles específicos que son el nivel de monitorización, el nivel de negocio y el nivel del usuario. Cada nivel de esta capa, concentra distintas tecnologías ITS afines a la funcionalidad tecnológica que

encerrará cada nivel. De la misma forma, de cara a nuestro modelo, cada nivel ofrecerá una gama de servicios que serán utilizados para desacoplar de forma débil las tecnologías involucradas.

Por otra parte, la capa de comunicaciones encapsula un solo nivel el cual, lo hemos llamado Nivel transversal de comunicaciones debido a que operará de forma transversal a los niveles que contiene la capa de servicios. Nuestra propuesta de desacoplamiento se recoge en la Figura 2.

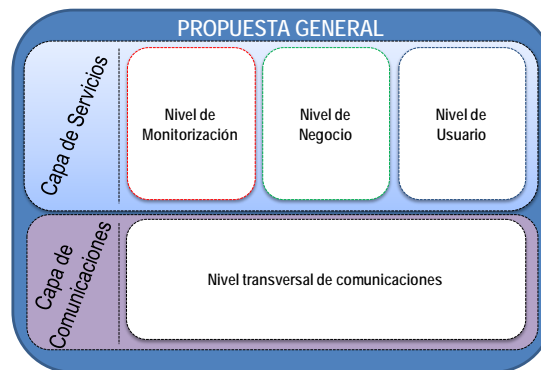


Fig 2. Desacoplamiento tecnológico ITS por capas para el planteamiento del modelo SOA

A continuación, vamos a describir como han sido conformadas las capas que hemos mencionado para comprender la visión general de nuestra propuesta.

3.3.1 Capa de Servicios

Esta capa tendrá como fin el desacoplamiento general de las tecnologías ITS en función del rol que desempeñan a lo largo de las infraestructuras de transporte, es decir que, al estar constituida por los niveles mencionados encerrará las tecnologías y los servicios pertenecientes a la funcionalidad que presenten en el escenario global de los ITS. Para comprender y aclarar más a fondo cuáles serán las tecnologías y los servicios que deberán ser encapsulados en dicha capa, a continuación, describiremos las tecnologías que han sido desacopladas y que por ende componen cada uno de los niveles que han sido mencionados.

Nivel de Monitorización

A partir de las fases de identificación y catalogación de las tecnologías ITS, ha sido posible observar que en la infraestructura de transporte hay una gran cantidad de tecnologías orientadas a la monitorización o vigilancia del entorno ITS. Por este motivo, en nuestra propuesta hemos conformado un nivel afín que contenga dichas tecnologías. Por ejemplo, tecnologías ITS tales como las redes de cámaras (circuito cerrado de televisión-CCTV), sistemas DSRC RFID, WSNs, VANETs (consideradas como redes móviles de sensores inalámbricos), sensores cableados, entre algunas otras, serán concentradas en este nivel.

El nivel de monitorización ha sido constituido principalmente para hacer frente a las restricciones ad hoc de la gran variedad de sistemas tecnológicos ITS que desempeñan un rol afín a dicho nivel.

Para comprender más a fondo como funciona este nivel, es importantísimo destacar la forma actual de cómo son gestionados y utilizados los sistemas que hay instalados a lo largo de la infraestructura de transporte. Normalmente, los sistemas tecnológicos que han sido mencionados son utilizados y gestionados desde las centrales de tráfico o desde las entidades encargadas de monitorizar la infraestructura de transporte. Actualmente, la forma en que dichos sistemas son gestionados y utilizados es demasiado personalizada es decir que, exponen una funcionalidad muy ad-hoc y los servicios que se generan son mínimos y más de cara al usuario.

Previamente, en la fase de identificación se ha destacado que existe un componente tecnológico transversal llamado la unidad de carretera o RSU el cual, toma parte en los sistemas de monitorización de la infraestructura de transporte, así como también, en el nuevo enfoque de redes de área vehicular VANET. Normalmente, como lo expone la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Transporte cada sistema de monitorización posee un dispositivo RSU [22] el cual, es utilizado por las centrales de tráfico no sólo para gestionar los dispositivos ITS sino también para monitorizar el entorno ITS. Cabe mencionar que, como lo expone *Lee et al*, la RSU está siendo objeto de estudio en grandes proyectos de investigación relacionados con los ITS y más que nada se debe a su importancia en todo el espectro de la gestión de tráfico [24].

Por lo tanto, en aras de desacoplar de forma coherente las tecnologías y servicios presentadas en este nivel, es de suma importancia destacar que la RSU se convierten en uno de los dispositivos transversales que permitirán alcanzar la integración coherente de las TI en el ámbito de los ITS y más, desde el punto de vista orientado a servicios que persigue nuestro modelo.

Nivel de Negocio

Este nivel ha sido conformado a partir de las tecnologías ITS que son capaces de procesar y almacenar la información extraída desde la infraestructura de transporte.

El objetivo fundamental de este nivel es el de albergar las tecnologías ITS que sean capaces de darle a nuestro modelo los elementos tecnológicos más apropiados basados en paradigmas TI que propicien la creación y generación de servicios ITS de valor agregado.

Esto se ha realizado de esta forma debido a que las propuestas actuales en cuestión la provisión de servicios ITS es bastante plana como ha sido discutido en el análisis de la perspectiva tecnológica ITS para el despliegue de servicios.

Al igual que el nivel de monitorización, el nivel de negocio concentrará distintos sistemas tecnológicos que ayudarán a controlar, administrar, y supervisar una amplia variedad de parámetros relacionados no solo con el transporte, sino también, con los mismos elementos tecnológicos instalados a lo largo de la infraestructura de transporte. Al mismo tiempo, los elementos ubicados en este nivel, podrán ser integrados para que de cara a nuestro modelo sean generados una amplia variedad de servicios ITS de valor agregado.

Según las características que han sido expuestas de los elementos tecnológicos ITS que conformaran este nivel, cabe destacar que muchos de ellos hacen parte de los de las centrales de tráfico.

Por ejemplo, desde una central de tráfico, no sólo se contrala el flujo de vehículos producidos en las carreteras, o los componentes tecnológicos que ayudan a identificar dicho flujo, sino también que, es posible generar información para los usuarios ITS críticos tales como centros de emergencia, la policía, entre algunos otros.

Por lo tanto, desde el punto de vista tecnológico, en este nivel incluiremos las tecnologías ITS comúnmente presentes en una central de gestión de tráfico junto con otras que nos permitirán la incorporación de los paradigmas TI avanzados que propendan hacia la generación servicios ITS de valor agregado, es decir que, en este nivel serán tomados en cuenta, los sistemas de almacenamiento que pueden ser servidores de bases de datos (en funcionalidad es como sistemas NAS: Network Attached Storage o SAN: Storage Area Network), los servidores de aplicaciones (Grid Systems), y los sistemas heredados.

En conclusión, el nivel de negocio actúa como el repositorio y procesado de datos principal del cual, de cara a nuestro modelo se pueden extraer gran cantidad de servicios y de acuerdo con lo que se propondrá en nuestro modelo, será posible extraer los servicios ITS de valor agregado para las diferentes áreas de los ITS.

Nivel de Usuario

Este nivel está concebido a partir de las tecnologías ITS que hacen parte del ámbito de usuario. El objetivo primordial de este nivel, es incluir todas las tecnologías más representativas que posibiliten de cara a nuestro modelo la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Por lo tanto, este nivel concentra las tecnologías ITS afines al usuario que para nuestro caso han sido divididas en tres categorías. La primera categoría, está relacionada con los dispositivos 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 categoría está centrada en otras tecnologías ITS que son consideradas bastante relevantes de cara al futuro de los ITS y se trata de los sistemas corporativos. Cabe destacar que, como lo expone el instituto de investigación de IBM, en el futuro, los sistemas corporativos serán incluidos en el desarrollo de ITS, debido a que apoyarán y mejoraran las relaciones con el cliente. En este sentido son incluidos los sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) y CRM (Customer Relationship Management). Dichos sistemas, permitirán analizar las preferencias de cada viajero lo cual, será muy útil para conformar un portafolio de servicios adecuado para el usuario ITS [35].

Por último, tenemos la tercera categoría que la constituyen los dispositivos que despliegan información visual de forma dinámica directamente en la infraestructura de transporte tales como los sistemas de mensajería variable (VMS).

Para finalizar la descripción de este nivel, es importante destacar que dentro de los usuarios ITS han sido consideradas las entidades que suelen hacer uso de los servicios generados por las centrales de tráfico es decir, como por ejemplo los hospitales, la policía, los centros de emergencia, los centros de asistencia en carretera, el propio conductor del vehículo, los viajeros, los peatones, entre algunos otros.

3.3.2 Capa de Comunicaciones

El objetivo principal de esta capa es el de apoyar de manera permanente a la capa de servicios tanto de forma directa como indirecta. La capa de comunicaciones ha sido propuesta debido a que el escenario ITS está plagado de gran cantidad de sistemas tecnológicos de comunicaciones que operan con tecnologías específicas lo que crea una funcionalidad ad-hoc entre muchos de los sistemas presentes en los ITS.

Por ejemplo, las WSNs operan mediante tecnología Zigbee la cual, apoya de forma directa a los procesos de transmisión de datos entre los nodos pertenecientes a dicha red y de forma indirecta a la información recolectada por dichas redes.

Al saber que todas las tecnologías presentes en los ITS poseen una funcionalidad propia en cuanto a los sistemas de comunicación, hemos propuesto un nivel único y transversal de comunicaciones, que será el encargado de apoyar la funcionalidad ad-hoc de cada sistema tecnológico ITS específico, la cual, de cara a nuestro modelo será desacoplada débilmente para apoyar la generación de servicios ITS de valor agregado. A continuación describiremos los sistemas tecnológicos más representativos que son utilizados en el nivel transversal de comunicaciones

Nivel Transversal de Comunicaciones

Como se ha dicho, este es el único nivel de la capa de comunicaciones y tiene el objetivo de apoyar de forma directa o indirecta a las tecnologías ITS de comunicaciones que permitirán la generación del ambiente de servicios.

Para ser coherentes con la estandarización ITS, es importante destacar que este nivel por una parte, seguirá las pautas planteadas por la iniciativa CALM [14] la cual, ofrece un gran abanico tecnológico relacionado con los sistemas de comunicaciones presentes en la infraestructura de transporte y por otra parte, tendrá en cuenta otras tecnologías ITS que ayudan a consolidar de cara a nuestro modelo la prestación de servicios ITS de valor agregado.

En este sentido, el nivel transversal de comunicaciones concentrará las tecnologías ITS que darán soporte indirecto a los servicios ITS es decir que, en esta nivel son consideradas las tecnologías ya sean cableadas o inalámbricas que apoyan los diferentes sistemas tecnológicos ubicados en los niveles pertenecientes a la capa de servicios. No obstante, dentro del nivel transversal de comunicaciones vamos a destacar la utilización de las redes maduras de telecomunicaciones como por ejemplo la red de telefonía celular ya que dicha red se extiende de manera coherente por la infraestructura de transporte lo cual, facilitará de cara a nuestro modelo el despliegue de servicios ITS de valor agregado.

En este sentido, destacamos las tecnologías específicas que apoyan la transmisión de datos en una red de telefonía móvil como por ejemplo GPRS (384 Kbps), o HSPA (7.2 Mbps) ya que son las tecnologías que sin lugar a dudas, son las que permitirían ofrecer un ambiente propicio de servicios al usuario ITS.

Al mismo tiempo, destacamos lo que propone *Wetterwald et al* con respecto al nuevo enfoque tecnológico de comunicaciones celulares que tendrá lugar en el escenario ITS. Dicho enfoque se refiere a la tecnología LTE (más de 100Mbps en bajada) la cual, es un gran avance en las redes de telefonía móvil lo que significa que, beneficiará en todos los sentidos al campo de los ITS y más aun en la integración y generación de servicios ITS existentes como de nuevos S-ITS de valor agregado [36].

Fig 3. Resultado final de la organización de las tecnologías ITS por capas y niveles.

Como puede observarse en la Figura 3, cada una de las tecnologías ITS estudiadas e investigadas en nuestra propuesta ha sido organizada y clasificada de acuerdo a su funcionalidad, por lo tanto, dichas tecnologías son ubicadas en cada uno de los niveles pertenecientes a las capas mencionadas. Lo anterior se ha realizado con el fin de tener un escenario ITS estructurado que sirva de base para la construcción de nuestro modelo.

3.4 Modelo para la Prestación de servicios de Valor Agregado VASITS_{DM}

Tomando de referencia el resultado que enseña en la Figura 3, ahora vamos a proponer nuestro modelo que permitirá acoplar de forma débil los elementos que han sido destacados en cada una de las capas mencionadas. Además, como se ha podido observar en nuestra metodología de integración, el resultado final es la creación de un modelo débilmente acoplado que contribuye a la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Por lo tanto, para lograr el acoplamiento débil entre cada una de las capas asociadas a nuestra propuesta, es necesario aplicar paradigmas coherentes que, puedan ser aceptados y adaptados por el sector ITS, que, de alguna u otra forma permitan 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, en nuestra propuesta vamos a aplicar el paradigma emergente SOA debido a que responde de manera coherente a las exigencias mencionadas y a su vez, contribuye a la interoperabilidad e integración de tecnologías ITS que están instaladas a lo largo de la infraestructura de transporte lo que facilita también la especialización de los fabricantes.

Al aplicar de forma precisa el paradigma SOA a nuestra propuesta de desacoplamiento se podrá disminuir en gran medida las restricciones causadas por los sistemas ad-hoc y será posible tender hacia la convergencia de servicios ITS de valor agregado.

Como ha sido mencionado, ya hemos separado por capas los elementos ITS de acuerdo con sus funcionalidades y según los resultados obtenidos, ahora, vamos a ver conceptualmente como serán integradas cada una de las capas a través del paradigma SOA (ver Figura 4).



Fig 4. Propuesta del modelo SOA al escenario desacoplado de los ITS.

Como puede observarse en la Figura 4, lo único que hemos incorporado son dos pequeñas nubes que representan conceptualmente en qué puntos vamos a aplicar el paradigma SOA y también un sistema de registro que se encuentra en el nivel transversal de comunicaciones el cual, apoyará el despliegue adecuado del paradigma SOA.

La aplicación del paradigma SOA a nuestra propuesta de desacoplamiento, nos lleva a integrar las capas y por ende los niveles que han sido mencionados y todo esto se hace con el fin de facilitar el despliegue de servicios ITS de valor agregado.

En nuestra propuesta vamos a utilizar el paradigma emergente de los servicios web que es una de las formas más adecuadas para implementar el paradigma SOA[40]. En este sentido, vamos a describir a continuación, en primera instancia, las interfaces que se generan entre los niveles que han sido mencionados continuamente y asimismo, la forma en que se crean los servicios ITS de valor agregado. En segunda instancia, vamos a describir la forma en que es alcanzada la integración de las TI en el ámbito ITS a través del paradigma SOA.

3.4.1 Interfaz entre el Nivel de Monitorización y el Nivel de Negocio

Al aplicar el paradigma SOA en nuestra propuesta de desacoplamiento, la primera interfaz que será generada es la que existe entre el nivel de monitorización y el nivel de negocio.

Dicha Interfaz provoca que sean producidos una serie de servicios en el nivel de monitorización que serán consumidos desde el nivel de negocio. Al mismo tiempo, para que dicha interfaz se produzca de forma adecuada es utilizado el nivel transversal

de comunicaciones el cual, apoya de forma indirecta la creación de servicios en cada uno de los niveles pertenecientes a la capa de servicios.

Los servicios que se producen en el nivel de monitorización serán llamados *servicios de monitorización y de gestión* y estarán encargados, por una parte de, recolectar la información pertinente que ofrecen los distintos sistemas de monitorización instalados a lo largo de la infraestructura de transporte y por otra parte de, gestionar los diversos sistemas de monitorización.

En síntesis, el objetivo fundamental de la aplicación del paradigma SOA en esta primera interfaz, es el de lograr el acoplamiento débil entre el nivel de monitorización y el nivel de negocio para que sea posible producir de forma adecuada un ambiente orientado a servicios. Con el fin de alcanzar este objetivo, es imprescindible mencionar que en el nivel de monitorización identificamos que las unidades de carretera o RSUs son los elementos que permiten el acceso a un gran número de sistemas de monitorización, por lo que fue denotada como un componente tecnológico transversal presente a lo largo de la infraestructura de transporte.

Sabiendo esto, investigamos las capacidades de computo que poseen las RSUs y como resultado obtuvimos que gran parte de ellas tienen muy bajas características para el procesamiento de datos. Por este motivo, uno de los objetivos primordiales del Departamento de Investigación e innovación en Tecnologías dedicadas al transporte de los EEUU y asimismo, organismo como ERTICO (ITS Europa) o ITS Japón, pretenden comenzar a integrar más inteligencia a las RSUs [26] 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.

A partir de lo que se ha expuesto, hemos decidido aplicar las nuevas tecnologías embebidas que tienen altas prestaciones de computo para crear un nuevo concepto de RSU que permitirá integrar de manera coherente los servicios de monitorización y de gestión que tiene lugar en el nivel de monitorización.

Por lo tanto, el nuevo concepto para la RSU lo hemos llamado RSUaaS (*RSU as a Service*) y esto se debe a la incorporación del paradigma SOA en la unidad de carretera a la cual, le hemos integrado la capacidad de entender y consumir servicios web.

Como se ha podido observar en el nivel de monitorización, cada sistema de monitorización posee una RSU, lo que significa que para llegar a un acoplamiento débil completo es necesario extender el paradigma SOA a los elementos más representativos pertenecientes a dicho nivel. Por lograrlo, es imprescindible conocer las funcionalidades que ofrecen los sistemas ubicados en el nivel de monitorización con el fin de realizar una composición de servicios adecuada que promueva la creación de un ambiente orientado a servicios.

En conclusión, gracias a la RSUaaS, será posible ver cómo desde el nivel de monitorización el paradigma SOA empieza a entregarnos un gran número de servicios relacionados con los dispositivos que se encuentran desplegados por la infraestructura de transporte. Esto quiere decir que, las WSNs, las VANET, las redes de cámaras y los sistemas basados en CEN DSRC/RFID, comienzan a entregar una gran cantidad de servicios de monitorización y de gestión de los cuales, los servicios de monitorización serán la base para la construcción de servicios ITS de valor agregado.

3.4.2 Creación de los Servicios ITS de Valor Agregado

De acuerdo a nuestra propuesta, el nivel de negocio, por un parte, se encuentra ubicado en medio de dos niveles de la capa de servicios (entre el nivel de monitorización y el nivel de usuario) y por otra parte, es apoyado en todo momento por el nivel transversal e comunicaciones.

Según este escenario, en el nivel de negocio se producen las interfaces adecuadas que permiten alcanzar el acoplamiento débil entre cada uno de los niveles mencionados. Dichas interfaces actúan de forma bidireccional entre los niveles adyacentes y a partir de estas se logra la creación de los servicios ITS de valor agregado.

Por ejemplo, como se ha mencionado una de las formas en que se relaciona el nivel de negocio con el nivel de monitorización es a través de los servicios de monitorización y de gestión que son producidos por las RSUaaS. La importancia de esto radica en que, a partir de los servicios de monitorización o de una composición de varios servicios de monitorización, se obtendrán los servicios ITS de valor agregado.

En aras de producir dichos servicios, el nivel de negocio debe contar con una plataforma tecnológica adecuada para transformar los servicios de monitorización en servicios ITS de valor agregado. Por este motivo, dicha plataforma estará compuesta por los sistemas de almacenamiento, por los servidores de aplicaciones y por los sistemas heredados.

En este sentido, los sistemas de almacenamiento nos ofrecen una plataforma adecuada para recolectar la información perteneciente a la infraestructura de transporte. Dicha información junto con alguna otra extraída desde los sistemas heredados, es la referencia para la composición, generación y creación de los servicios ITS de valor agregado.

Por su parte, los servidores de aplicaciones son los que alojaran a los servicios ITS de valor agregado y gracias a la interfaz existente entre el nivel de negocio y el nivel del usuario (vista a continuación), será posible la prestación de servicios ITS de valor agregado.

Es importante destacar que desde este nivel se consumen los servicios de gestión ofrecidos por las RSUaaS lo cual, genera un ambiente orientado a servicios que contribuye al funcionamiento general de nuestro modelo.

Para que el nivel de negocio funcione adecuadamente, ahora vamos a describir las relaciones respectivas entre el nivel de negocio y el nivel del usuario.

3.4.3 Interfaz entre el Nivel de Negocio y el Nivel del Usuario

Como ha sido posible ver en la Figura 4, hemos ubicado el paradigma SOA entre los niveles de negocio y el nivel de usuario, a los cuales, les apoya igualmente el nivel transversal de comunicaciones.

Lo anterior se ha realizado con el objetivo proponer un acoplamiento débil entre los niveles mencionados logrando así, eliminar de igual forma, las restricciones ad-hoc que se presentan entre los dispositivos pertenecientes al nivel de negocio y al nivel del usuario. En dicho acoplamiento, igualmente, hemos utilizado los servicios web con el fin de desplegar de forma adecuada los servicios ITS de valor agregado que serán consumidos en el nivel del usuario.

Al igual que ha sido destacada la RSU en el nivel de monitorización, en este interfaz, vamos a referirnos los componentes tecnológicos pertenecientes al nivel del usuario, y de estos, en primera instancia, hacemos énfasis en los dispositivos de usuario final que tienen la capacidad de ofrecer el servicio de navegación.

Esto lo hacemos principalmente porque en el ámbito ITS, la navegación es un servicio fundamental que permite al usuario conocer su ubicación en todo momento sobre la infraestructura de transporte. Esto quiere decir que, los dispositivos que cuenten con el 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 generados en el nivel de negocio.

En segunda instancia, hemos visto que en el nivel del usuario se presentan los sistemas corporativos, los cuales, contribuirán de cara al futuro, a la generación de servicios especiales relacionados con las preferencias de los viajeros al momento de iniciar su viaje. De aquí destacamos que, si estos sistemas operan bajo el paradigma SOA, el despliegue de servicios ITS de valor agregado podrá ser mucho más específico y filtrado ya que todo esto, va a depender del conocimiento que se tenga sobre las preferencias del usuario ITS.

En última instancia, son mencionados los sistemas de mensajería variable o VMS los cuales en su mayoría, están enfocados a desplegar mensajes de seguridad a lo largo de la infraestructura de transporte para los usuarios ITS. Dada la característica inherente de estos sistemas, la aplicación del paradigma SOA en los VMS permitirá desplegar de forma más ágil los servicios ITS de valor agregado relacionados con las condiciones del camino, advertencias en la vía, orientación a los usuarios y demás. Por lo tanto, los usuarios ITS que no estén en posesión de algún sistema tecnológico de usuario, podrán apoyarse en los VMS para consumir de forma visual los servicios ITS de valor agregado.

3.4.4 Interfaz de los Niveles de Monitorización, Negocio y Usuario con el Nivel Transversal de Comunicaciones.

Como ha sido posible ver en la descripción de nuestro modelo, continuamente se están generando servicios en cada uno de los niveles que han sido mencionados, por lo tanto, es indiscutible la existencia de una interfaz bidireccional que sustente la prestación de servicios en el espectro de nuestro modelo.

Para ello, sabiendo que nuestro modelo está basado en el paradigma SOA e implementado con la tecnología emergente de los servicios web, es imprescindible mencionar que, se hace necesaria la utilización de un sistema de registro y descubrimiento de servicios web el cual, ha sido denotado al inicio de nuestra propuesta como *servidor de registro*. Dicho sistema estará ubicado en el nivel transversal de comunicaciones ya que desde allí, es posible apoyar directamente a los componentes tecnológicos ITS pertenecientes tanto al nivel de monitorización como al nivel del usuario. Dicho sistema se encargará entonces de apoyar las transacciones que realizan todos los servicios que se generan en la capa de servicios.

3.4.5 Integración de Servicios bajo nuestra propuesta.

Continuado con el desarrollo de nuestro modelo, a continuación describimos de forma general las tres fases (Fig. 5) que componen la integración de servicios entre

cada uno de los niveles mencionados. Dichas fases se refieren a la publicación, descubrimiento y consumo de todos los servicios que se generan en nuestro modelo.

Publicación

La primera fase está relacionada con la publicación de servicios; en primer lugar, de los servicios de monitorización y de gestión (Monitoring/ManagementServices) ofrecidos por las RSUaaS, y en segundo lugar, de los servicios ITS de valor agregado ofrecidos por los servidores de aplicaciones (ITS_ValueAddedServices). Dichos servicios serán publicados a través de un sistema de registro de servicios (UDDI) el cual, lo hemos ubicado en el nivel transversal de comunicaciones. Además, como estamos utilizando la tecnología de servicios web para implementar el paradigma SOA, en primer lugar, las RSUaaS intercambiarán mediante hojas WSDL y mensajes SOAP los servicios de monitorización y gestión de forma paralela lo harán los servidores de aplicaciones que son los contenedores de los servicios ITS de valor agregado.

De acuerdo a nuestro modelo, existen entonces dos proveedores principales de servicios, que están ubicados por un lado, en el nivel de monitorización y por otro lado, en el nivel de negocio.

En un principio, vamos a analizar cómo nuestro modelo trabaja con los proveedores de servicios para el nivel de monitorización y luego será expuesto como trabaja nuestro modelo con el nivel de negocio.

Como hemos mencionado, los diferentes sistemas de monitorización serán poseedores de una RSUaaS y a través de ella, podrán ser publicados los servicios de monitorización y gestión pertinentes al sistema de monitorización controlado por la RSUaaS. Esto quiere decir que, para el caso de los sistemas de monitorización basados en redes de sensores inalámbricos (WSN), existirá una RSU a través de la cual, podrán ser obtenidos los servicios de monitorización y gestión. En consecuencia, existirá una WSN-RSU la cual, será capaz de publicar los diversos servicios que ofrecen este tipo de redes así como también, los servicios de gestión que controlan las WSN.

Para el caso de los sistemas de monitorización basados en redes VANET, igualmente existirán varios servicios de monitorización que pueden extraerse a través de la VANET-RSU o a través de un nodo de la red vehicular, con el fin de que dichos servicios, contribuyan a la composición de otros servicios ITS de valor agregado que pueden ser desplegados en otro ámbito de los ITS.

En el caso de los sistemas de monitorización basados en CCTV, sucede algo muy similar así que, existirá la CCTV-RSU la cual, ofrecerá distintos servicios de monitorización y de gestión. Por lo tanto, será posible publicar dichos servicios donde, los servicios de monitorización podrán ayudara a la composición de nuevos servicios ITS de valor agregados y los servicios de gestión ayudarán a mantener en un punto óptimo al CCTV.

Por último, los sistemas de monitorización basados en DSRC-RFID o CALM IR también son generadores de servicios de monitorización y de gestión. Es de agregar que dichas tecnologías, son utilizados en los sistemas de tele-peaje o de pago de parking automático. Por lo tanto, se presentará la DSRC-RFID RSU que ofrecerá dichos servicios y a su vez, contribuirá por una parte a la generación de servicios ITS

de valor agregado y por otra parte, a la gestión de los componentes que sustentan dichos servicios.

Luego de describir los elementos que conforman los proveedores de servicios en el nivel de monitorización, ahora vamos a dar paso a los otros proveedores de servicios que se encuentran en el nivel de negocio.

Como hemos mencionado, los servidores de aplicaciones son los que sustentarán la generación de servicios de valor agregado en el ámbito de nuestra propuesta. En aras de conseguir dicha generación, se toman de base los servicios de monitorización ofrecidos por las RSUaaS junto con otra información que puede ser utilizada para la generación de servicios más complejos. Si la información es proveniente de otros servicios, los servicios ITS de valor agregado podrán ser generados mediante la orquestación de dichos servicios junto con los servicios de monitorización.

Descubrimiento

La segunda fase es alcanzada cuando la fase de publicación ha sido terminada, es decir que, para que la fase de descubrimiento de servicios sea factible se debe contar con un directorio adecuado y coherente de los servicios ofertados por los sistemas que comprenden tanto en nivel de negocio como el nivel de monitorización. En esta fase, vuelve a tener importancia el sistema de registro de servicios ya que es, el que nos permitirá saber qué tipo de servicios son los que hay ofertados por los niveles que han sido mencionados. Por lo tanto, es importante destacar una vez más, las funciones que tendrá el sistema de registro de servicios ya que estará dedicado a realizar las transacciones de todos los servicios que se generan en todos los niveles que componen nuestra propuesta.

Como puede analizarse desde el diagrama expuesto en la Figura 5, los sistemas de almacenamiento buscarán los servicios publicados por los sistemas de monitorización y en paralelo, los sistemas ubicados en el nivel del usuario estarán buscando los servicios ITS de valor agregado que han sido generados a través de los servicios de monitorización. Todo esto se hace con el fin de generar los servicios ITS de valor agregado. Paralelamente, también existe el descubrimiento de los servicios por parte de los mismos servidores de aplicaciones, esto se debe a que desde dichos servidores, se genera la gestión adecuada de las RSUaaS y por ende de los sistemas de monitorización que dichas RSUaaS controlan.

Consumo

La tercera y última fase tiene que ver con el consumo de los servicios por parte de cada uno de los niveles. Esto se generará de la siguiente forma:

En primer lugar, el nivel de negocio consume los servicios que son generados en el nivel de monitorización es decir, los servicios de monitorización y los servicios de gestión que en su momento fueron publicados por las RSUaaS.

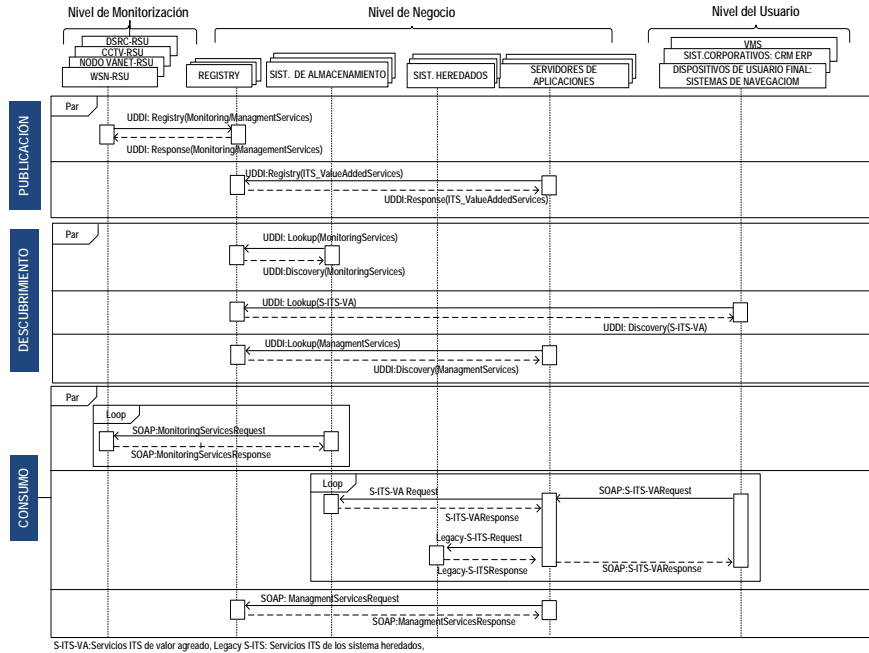


Fig 5. Diagrama de secuencia para la creación de servicios ITS de valor agregado.

En segundo lugar, el nivel del usuario consume los servicios ITS de valor agregado generados en el nivel de negocio. Como puede observarse en la Figura 5, para el consumo de los servicios ITS de valor agregado (S-ITS VA), los servidores de aplicaciones hacen uso de la información contenida en los sistemas de almacenamiento y a través del sistema orquestador de servicios se compondrán los servicios ITS de valor agregado. Es importante destacar que, en la fase de consumo, para la creación de los servicios ITS de valor agregado han sido tenidos en cuenta los sistemas heredados ya que estos, también ofrecen otro tipo de información acerca de la infraestructura de transporte que podría ser empleada por el sistema de orquestación de servicios para construir nuevos servicios ITS de valor agregado.

Según todo lo que se ha expuesto, a continuación describimos los resultados pertinentes al aplicar nuestro modelo basado en SOA a nuestra propuesta general de desacoplamiento creada para los elementos tecnológicos pertenecientes al ámbito de los ITS (ver Tabla 8). Consecuentemente, dicha tabla recoge los resultados obtenidos de cada una de las fases analizadas a partir de nuestra metodología de integración de las TI en el ámbito de los ITS. Igualmente, la Tabla 8 expone los mecanismos de integración y acoplamiento débil que surgen entre cada uno de los niveles que contiene nuestra propuesta. Paralelamente hemos introducido unos nuevos servicios que realizan tareas de gestión entre cada uno de los sistemas que componen el modelo (servicios internos)

Tabla 8. Mecanismos de desacoplamiento planteados en el VASITS_{DM}

Clases de Servicios para nuestro Modelo	Mecanismos de desacoplamiento y Integración	Proveedores de servicios	Consumidores de Servicios
Servicios de Monitorización (WSN-RSU/VANET-RSU /CCTV-RSU/DSRC-RSU) RSUaaS	SOA (SOAP)	RSUaaS (WSN-RSU/ VANET-RSU o Nodo VANET /CCTV-RSU/ DSRC-RSU) (NM)	Sistemas de Almacenamiento / Servidores de Aplicaciones (NN)
Servicios de Gestión para las RSUaaS	SOA(SOAP)	RSUaaS (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	Registro de Servicios (NTC)	Servicios de Monitorización(NM)
Servicios de registro y descubrimiento para los servicios de Gestión de las RSUaaS*	SOA(UDDI) Catálogo de Servicios	Registro de Servicios (NTC)	Servicios de Gestión para las RSUaaS (NM)
Servicios de registro y descubrimiento para los servicios de valor agregado*	SOA(UDDI) Catálogo de Servicios	Servidor de Registro(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

Como ha sido posible notar en la Tabla 3, existen algunos servicios que no han sido recogidos en un principio en el planteamiento de nuestro modelo y son los servicios destacados con el símbolo (*). Esto se ha hecho de esta forma ya que en nuestra propuesta se abarca de forma más general los servicios más importantes que contribuyen al despliegue de servicios ITS de valor Agregado. No obstante, dichos servicios fortalecen la viabilidad de nuestro modelo debido a que aseguran que un servicio publicado sea accesible.

Una de las cuestiones que más se cita con el planteamiento de nuestro modelo está relacionado con el ofrecimiento de servicios ITS de valor agregado en tiempo real ya que es una de las cuestiones más demandadas por los usuarios ITS al momento de hacer el consumo de algún servicio que tenga lugar a lo largo de la infraestructura ITS.

Por este motivo, es necesario aclarar que, el escenario de los ITS es muy dependiente de las tecnologías ITS que hayan instaladas a lo largo de la infraestructura de transporte y cada una de ellas presenta niveles de latencia diferentes por lo que la prestación de un servicio ITS de manera adecuada dependerá de la gran velocidad que tengan los sistemas adyacentes que apoyan nuestro escenario de servicios. Por el momento y de acuerdo a nuestra implementación que será realizada en la siguiente sección, se tomaran servicios en el orden de actualización menor a 60 segundos.

4 Caso de Estudio: Sistema de Gestión de aparcamientos orientado a servicios.

De acuerdo a todo lo que se ha planteado en la sección anterior, ahora damos paso a la implementación respectiva que permite verificar la aplicabilidad de nuestro modelo. Para alcanzar el objetivo de nuestra propuesta hemos tomado uno de los servicios ITS

más representativos y con más demanda por gran parte de los usuarios ITS. Dicho servicio tiene que ver con el área de información al viaje y está directamente relacionado con el servicio de aparcamiento. Nuestro objetivo es alcanzar la construcción de un sistema que sea capaz de involucrar todos los elementos que han sido destacados para la generación de servicios y paralelamente, utilizar las nuevas tecnologías embebidas que demuestran la flexibilidad de incorporación tecnológica que hace posible la aplicación de nuestro modelo.

En este sentido, nuestro sistema es capaz por una parte de, ofrecer el servicio ITS de valor agregado relacionado con el descubrimiento de plazas libres de aparcamiento, por otra parte, nuestro sistema es capaz paralelamente, de ofrecer los servicios de gestión que controlan las RSU respectivas a los sistemas de monitorización que han sido utilizadas para el desarrollo de nuestra propuesta.

El servicio producido por nuestro sistema será ofertado a los sistemas que posean las características de sistemas de navegación, es decir que, el usuario ITS a través de un dispositivo que cuente con dichas características podrá consumir ese servicio o algún otro que sea ofertado de forma paralela.

En este sentido a continuación, describimos de forma general como ha sido implementada cada una de las capas correspondientes a nuestro modelo.

4.1 Capa de Servicios: Nivel de Monitorización

Para desarrollar este nivel, hemos escogido un sistema de monitorización basado en redes de sensores inalámbricos los cuales serán los encargados de proveer la información pertinente al estado de las plazas de aparcamiento. La tecnología que hemos utilizado en relación con las WSNs es la plataforma de sensores MicaZ [41]. Estas redes han sido utilizadas debido su característica de ubicuidad y nodos de pequeño tamaño. En sí, la WSN nos permite saber cuando existe un lugar de estacionamiento libre u ocupado. Cada nodo sensor ha sido programado para que notifique al nodo Gateway la disponibilidad de una plaza de aparcamiento. Para la programación de los nodos sensores hemos utilizado el sistema operativo TinyOS [42] que fue creado por la Universidad de Berkeley.

El nodo Gateway recibe todos los mensajes de los nodos sensores presentes en el aparcamiento, y este, a su vez, ofrece una interfaz serial del tipo RS232.

Como fue mencionado en la sección tres, un elemento fundamental para la integración de todos los servicios ITS es la denominada RSU, a la cual, se le ha de conectar el Gateway de la red de sensores. Lo anterior nos lleva obtener el concepto de WSN-RSU. Este dispositivo en concreto será el encargado de gestionar por completo la WSN así como también, sus servicios ofrecidos.

Para elegir el dispositivo que actuaría como RSU tuvimos en cuenta varios requerimientos a nivel de computación y máxime, para la implementación futura de nuevos servicios ITS.

El dispositivo debía ser lo más pequeño posible, para facilitar su despliegue a lo largo de las infraestructuras ITS, debe apoyar el soporte de protocolos de las actuales RSU, teniendo en cuenta que muchas de ellas son gestionadas por SNMP, también, debe integrar protocolos estándares para comunicación con las centrales de tráfico o en su defecto, tener las capacidades necesarias para implementarlos, debe poseer

conectividad de red ya sea alámbrica o inalámbrica para facilitar su gestión, entre algunos otros.

De acuerdo con estos requisitos, hemos elegido el dispositivo embebido llamado MOXA específicamente de la serie W321 [43]. El dispositivo ha sido seleccionado por varias razones, tanto por la parte de hardware como la de integración de software y de estas destacamos las siguientes: Microprocesador ARM a 192 MHz de 32 bits, 32 MB de memoria RAM, soporte de tarjeta SD para ampliación de memoria, bajo costo, respuesta de alta velocidad, pasarela Ethernet-serie (soporte Wi-Fi), sistema operativo uClinux, soporte de lenguajes C++ y C, Servidor Web integrado (Apache) entre algunas otras.

Teniendo en cuenta las características de este dispositivo embebido, y en concordancia con los servicios de monitorización y de gestión mencionados en el trascurso del artículo, un gran desafío consistió en integrar la plataforma de servicios web que hacen posible convertir el dispositivo RSU en una unidad RSU orientada a servicios (RSUaaS). De acuerdo a nuestro enfoque, hemos creado los servicios de monitorización y los servicios de gestión como servicios web, haciendo énfasis al primer acoplamiento débil que tiene lugar entre el nivel de monitorización y el nivel de negocio.

Para lograr esto, fue necesario implementar un sistema de intercambio de información entre el nivel de monitorización y el nivel de negocio.

En primer lugar, para desarrollar este sistema, mediante el paradigma SOA hemos utilizado para descripción de los servicios hojas WSDL que contienen la información respectiva a todos los servicios prestados por las WSN como los ofrecidos in situ para la gestión de la RSU.

Para el intercambio de información entre ambos niveles, hemos utilizado el protocolo SOAP (Simple Object Access Protocol). Aquí es importante destacar que, el MOXA es decir, la RSU, no posee una implementación para SOAP, pero gracias al soporte de lenguajes estándares como C y C++ por parte de la misma, ha sido posible utilizar una de las diversas alternativas existentes para implementar el protocolo SOAP en dicha RSU. La alternativa que fue utilizada es la librería gsoap la cual, ha sido elegida gracias a sus características tales como adaptación a los dispositivos embebidos, solución de código abierto y independencia de la plataforma.

Por otra parte, el servicio ITS seleccionado requiere que exista una base de datos en el dispositivo RSU. Por esta razón, hemos integrado en la RSU una pequeña base de datos SQLite que también cumple con las normativas ITS para el intercambio de mensajes. Hemos utilizado esta base de datos ya que está orientada a dispositivos con limitaciones de memoria.

Reuniendo las partes que fueron implementadas en el dispositivo MOXA, nos permite transformar el concepto genérico de RSU en uno que sea capaz de funcionar en un ambiente orientado a servicios, es decir, el concepto continuamente mencionado RSUaaS. Este nuevo enfoque para las RSU, permite en primer lugar, la integración de los servicios ofrecidos por el sistema de monitorización, en segundo lugar, la gestión de los mismos sistemas de monitorización basados en WSN y en tercer lugar, que sea alcanzada la composición de servicios ITS de valor agregado.

4.2 Capa de Servicios: Nivel de Negocio

Para desarrollar este nivel hemos empleado los sistemas que previamente fueron identificados en nuestra fase de desacoplamiento tecnológico.

En este sentido, para los sistemas de almacenamiento hemos utilizado el sistema de gestión de base de datos MySQL el cual se encuentra instalado en un PC tipo Rack ASUS RS120-E4, el cual recibe los servicios de monitorización brindados por las RSUaaS. Igualmente, para el desarrollo de este nivel, hemos utilizado los servidores de aplicaciones (dos PC de escritorio) que son los encargados de generar los servicios ITS de valor agregado y al mismo tiempo se encargan de gestionar las RSUaaS a través de los servicios de gestión que estas han ofertado.

Entre cada uno de los niveles se ha empleado el paradigma SOA implementado mediante servicios web. A sí que, si un usuario desea conectarse a los servidores de aplicaciones no importará que tecnología este utilizando ya que la forma de acoplamiento lo hace idóneo para la prestación de servicios ITS de valor agregado a lo largo de la infraestructura de transporte.

Lo anterior, ocasiona que nuestro sistema ofrezca la integración, interoperabilidad, expandibilidad y compatibilidad entre cada uno de las tecnologías que han sido empleadas.

En este nivel, han sido desarrolladas dos aplicaciones en C#. La primera, permite gestionar de forma coherente los aparcamientos que hemos tenido en cuenta el despliegue de servicios y a partir de dicha aplicación se construirán los servicios ITS de valor agregado que serán prestados utilizando el paradigma SOA. La segunda, permite consumir los servicios de gestión que son ofrecidos por las RSUaaS logrando que sea posible en control de la WSN.

4.3 Capa de Servicios: Nivel de Usuario

Para el nivel del usuario, hemos diseñado e implementado dos aplicaciones que consumen los servicios ITS de valor añadido, las cuales, son generadas por los servidores de aplicaciones. La primera trabaja en ambientes WLAN. La aplicación aprovecha la tecnología de los servicios Web para proporcionar la información sobre el estado de la plaza de aparcamiento. La aplicación puede ser instalada en dispositivos de usuarios que sena posible consumidores de dicho servicio. Esta aplicación fue probada en varios dispositivos de usuarios tales como un HTC Diamond 2, una PDA iPAQ h6340, y algunos otros. Su funcionamiento fue el adecuado y la respuesta de los servicios Web era lo suficientemente rápida permitiendo a los usuarios comprobar la disponibilidad de un lugar de estacionamiento mientras lo estaban buscando. La segunda aplicación se ha desarrollado por medio de la API de Google Maps y trabaja en línea desde el navegador web. La información que suministrada por esta aplicación está asociada con el descubrimiento de lugares de estacionamiento libres y, a su vez, dicha información se despliega en el mapa por lo que el usuario puede saber donde hay una plaza libre para aparcar. Para probar esta aplicación se utilizaron varios navegadores web de los teléfonos móviles (iPhone, HTC Diamond 2, entre otros).

4.4 Capa de Comunicación: Nivel Transversal de Comunicaciones

Como ha sido mencionado desde en un principio, el apoyo de este nivel a nuestra propuesta es fundamental ya que soportará las transacciones de servicios que sean generadas en la capa de servicios. En este nivel se utilizaron diversos sistemas de comunicación que ayudan a compartir los servicios generados por la capa de servicio tanto de forma directa como indirecta. En este nivel han sido utilizadas tecnologías tales como ZigBee, el estándar serial RS232, Ethernet, WiFi, y GPRS / HSPA.

Bajo el enfoque SOA, hemos empleado un servidor para el registro de los servicios, en este caso se utilizó jUDDI (juddi-rc4 versión), que es un servidor UDDI desarrollado en Java y apoyara tanto la publicación como el descubrimiento de servicios que tiene lugar en nuestro modelo.

4.5 Escenario de Prueba

Para poner a prueba nuestro modelo hemos seleccionado un servicio de ámbito I2V (el descubrimiento de lugares de estacionamiento libres). Para desplegar este servicio, hemos elegido dos aparcamientos que se encuentran ubicados al interior de la Universidad de Alicante para probar nuestro sistema pero esto puede ser extendido a cualquier tipo de aparcamiento dada la flexibilidad tecnológica que soporta nuestro modelo. En dichos aparcamientos, hemos desplegado dos sistemas de monitorización basados en WSN los cuales, nos entregan la información sobre el estado de la plaza de aparcamiento. Nuestras redes de sensores están conformadas cada una por 5 nodos sensores y son capaces de detectar la disponibilidad de las plazas de aparcamiento. Cada uno de los sensores es gestionado mediante una RSUaaS y sirve para la integración de nuevos servicios, más que nada por los sensores en cuanto a magnitudes físicas que trae la plataforma MicaZ.

El sistema general que ha sido diseñado puede observarse en la Figura 6, dicho sistema, lo hemos contrastado con nuestro modelo para identificar de forma coherente como han sido distribuidas las tecnologías ITS utilizadas.

Es de agregar que, en el extremo derecho de la Figura 6, 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 (HARDWARE), sistemas operativos (OS), las aplicaciones (APPL) y los servicios ofrecidos (SERV).

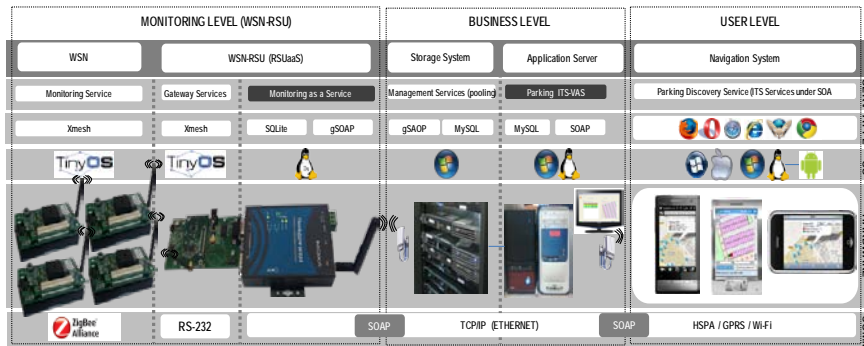


Fig 6. Sistema de Gestión de aparcamiento por medio del modelo basado en SOA para la integración de las IT en los ITS (Servicio utilizado: Descubrimiento de plazas libres de aparcamiento)

5. Conclusiones

En este artículo se ha presentado y desarrollado un modelo basado en SOA para la prestación de servicios ITS de valor agregado que contempla y facilita la integración de las TI en los ITS. El enfoque ha permitido lograr el acoplamiento débil entre cada una de las tecnologías y servicios presentes en el escenario de ITS. Con el desarrollo de nuestra propuesta, hemos creado un nuevo concepto para la Unidad de Carretera al que se le ha llamado RSUaaS. Al hacer esto, se ha logrado integrar de manera coherente la tecnología emergente de las WSNs creando así, una WSN-RSU orientada a servicios (RSUaaS). Nuestro modelo basado en SOA utiliza estándares abiertos con el fin de integrar un gran número de tecnologías ITS y sus servicios. El modelo ha sido probado con un servicio ITS (descubrimiento de plazas libres de aparcamiento), pero hay más servicios ITS que podrían ser involucrados para extender la funcionalidad del modelo. En nuestro trabajo futuro, vamos a incorporar más servicios ITS de valor agregado que permitan analizar cómo pueden ser integradas más tecnologías ITS y para ello vamos a describir la arquitectura genérica que debe tenerse en cuenta para la generación de servicios ITS de valor agregado.

Referencias

1. European Commission. *Intelligent Transport Systems and Services: initiative for accelerated deployment across Europe*. 2009 [cited 2009; Available from: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/08/1979&format=HTML>]
2. European Commission, *Action Plan for the deployment of Intelligent Transport Systems in Europe*. 2008: Brussels.
3. Chowdhury, M.A. and A. Sadek, *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*, ed. A. House. 2003, Boston London: Artech House. 191.

4. GSA. *Location-based services market ready for takeoff*. 2009 [cited 2009 July 10]; Available from: <http://www.gsa.europa.eu/go/news/location-based-services-market-ready-for-takeoff>.
5. European Commission, *The Intelligent Car Initiative: Raising Awareness of ICT for Smarter, Safer and Cleaner Vehicles*. 2006.
6. Li, Y., M. Andrade, and V. Blervaque. *The concept of an open platform for traffic and traveler information services*. in *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*. 2008.
7. Hotle M, et al., *Predicts 2009: Application Governance Skills, SOA and Shifting Organizations*. 2009, Gartner Consulting.
8. ITU-T. *Intelligent Transport Systems and CALM*. 2008 [cited 2008 May 10]; from: www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/23/01/T23010000010003PDFE.pdf.
9. ITSSG. *Intelligent Transport Systems Steering Group (ITSSG)*. 2003 [cited 2009 March]; Available from: http://www.ictsb.org/Working_Groups/ITSSG/ITSSG_introduction.htm.
10. EasyWay. *EasyWay - Project Overview*. 2009 [cited 2009 May]; from: http://www.easyway-its.eu/1/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=38.
11. ITS-JP. *The Japanese ITS Architecture*. 2007 [cited 2007 July 15]; Available from: http://www.its-jp.org/english/arch_e/doc/summary.pdf.
12. US.DOT, *National ITS Architecture*, U.D.o.T. Research and Innovative Technology Administration (RITA), Editor. 2009: Washington, DC 20590.
13. E-FRAME. *E-FRAME Extend framework architecture for cooperative systems Funded under 7th Framework Programme. Research area: ICT for cooperative systems*. 2008 [cited 2009 March]; Available from: <http://www.frame-online.net>.
14. ISO_TC204. *ISO - Technical committees - TC 204 - Intelligent transport systems*. 2009 [cited 2008 December 10]; Available from: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=54706.
15. CEN. *Technical Committee 278 Road Transport and Traffic Telematics*. 2007 [cited 2007 January 29]; Available from: <http://www3.nen.nl/cen278/>.
16. ETSI_TC_ITS. *Terms of Reference for Technical Committee (TC) Intelligent Transport Systems (ITS)*. 2010 [cited 2010 January 20]; Available from: http://portal.etsi.org/its/its_tor.asp.
17. ISO_JTC1_WG7, *Technical Document of ISO/IEC JTC 1 Study Group on Sensor Networks (SGSN)*. 2009.
18. Lin, K.C. and C.H. Lin. *Development of telematics communication system with WAVE DSRC*. in *Conference Proceedings - IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 2009.
19. Cho, S., et al., *Real time traffic information service using terrestrial digital multimedia broadcasting system*. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2006. **52**(4): p. 550-556.
20. Guo, J., et al. *Using GSM technologies to collect and supply expressway traffic information*. in *Proceedings - 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2009*. 2009.
21. Hwang, M.S., H.H. Ou, and J.K. Jan, *The UMTS-AKA protocols for intelligent transportation systems*. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009.
22. AASHTO, *National Transportation Communication for ITS protocol NTCIP 9001*, I.o.t. engineers, Editor. 2009, AASHTO, ITE, NEMA: Washington. p. 127.
23. Zhang, Y., J. Zhao, and G. Cao, *Service scheduling of vehicle-roadside data access*. *Mobile Networks and Applications*, 2009. **15**(1): p. 83-96.

24. Lee, J. *Design of a network coverage analyzer for roadside-to-vehicle telematics networks*. in *Proc. 9th ACIS Int. Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing, SNPDP 2008 and 2nd Int. Workshop on Advanced Internet Technology and Applications*. 2008.
25. Papadimitratos, P., et al., *Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation*. IEEE Communications Magazine, 2009. 47(11): p. 84-95.
26. RITA, *Advanced Transportation Controller (ATC) Family of Standards*. 2009, Research and Innovative Technology Administration.
27. Tubaishat, M., et al., *Wireless sensor networks in intelligent transportation systems*. Wireless Communications and Mobile Computing, 2009. 9(3): p. 287.
28. Rybicki, J., et al. *Challenge: Peers on wheels - A road to new traffic information systems*. in *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*. 2007.
29. Santa, J., A.F. Gómez-Skarmeta, and M. Sánchez -Artigas, *Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks*. Computer Communications, 2008. 31(12): p. 2850-2861.
30. Holm, S. *Audio quality on the air in DAB digital radio in norway*. in *Proceedings of the AES International Conference*. 2007.
31. Jenkins, B., *GNSS Market size: personal LBS*, in *LOCATION A BI - Monthly Publication on Positioning and Navigation*. 2007.
32. PIARC, *The Intelligent Transportation Systems Handbook Recomendation from the world road association (PIARC)*. Jhon C Miles and Kan Chen ed. 2004, Swanley, United Kingdom: Andrew Barribal. 365.
33. HIDO, *ITS Toolkit for road transport in countries with developing and transitional economies*, H.I.D. Organization, Editor. 2004.
34. ISO_14813, *ISO/WD 14813-1 Intelligent Transport Systems -- Reference Model Architecture(s) for the ITS sector -- Part 1: ITS service domains, service groups and services*. 2007.
35. IBM, *Intelligent Transport - How the cities can improve the mobility*, I.G.B. Services, Editor. 2009, IBM Institute for Business Value.
36. Wetterwald, M. *A case for using MBMS in geographical networking*. in *2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications, ITST 2009*. 2009.
37. Misra, P., B.P. Burke, and M.M. Pratt, *GPS performance in navigation*. Proceedings of the IEEE, 1999. 87(1): p. 65-85.
38. Enge, P.K., *The Global Positioning System: Signals, measurements, and performance*. International Journal of Wireless Information Networks, 1994. 1(2): p. 83-105.
39. Trautenberg, H.L., T. Weber, and C. Schäfer, *GALILEO system overview*. Acta Astronautica, 2004. 55(3-9): p. 643-647.
40. Papazoglou, M.P. and W.J. Van Den Heuvel, *Service oriented architectures: Approaches, technologies and research issues*. VLDB Journal, 2007. 16(3): p. 389-415.
41. Crossbow. *Crossbow Technology*. 2009 [cited 2008; Available from: www.xbow.com].
42. Levis, P., et al., *TinyOS: An Operating System for Sensor Networks*, in *Ambient Intelligence*, S.B. Heidelberg, Editor. 2005. p. 115 -148.
43. MOXA. *Moxa , Wireless Embedded Computers W321*. 2008 [cited 2008 October 10]; Available from: <http://www.moxa.com/product/W321.htm>.