

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA
GRADO EN INGENIERÍA DE COMPUTADORES

**Comunicaciones Vehículo/Infraestructura. Conducción Asistida
Vehicle/Infrastructure. Driving Assistance**

Realizado por
ADOLFO SANTOS FLORIDO
Tutorizado por
MERCEDES AMOR PINILLA
Departamento
LENGUAJES Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
MÁLAGA, JUNIO DE 2017

Fecha defensa:
El Secretario del Tribunal

Resumen:

La implantación de sistemas integrados en los vehículos está en pleno auge, bien como sistemas empotrados, o a través de aplicaciones externas en disponibles en los smartphones. Esta implantación busca una integración hombre-máquina orientados hacia la comodidad del conductor y los ocupantes, pero también hacia una integración con los sistemas propios del vehículo de forma que se establezca una asistencia a la conducción poco intrusiva y aumentando así la seguridad vial. Esta inversión de conocimiento se ha impulsado principalmente en sistemas de comunicaciones y protocolos orientados a la interacción vehículo-conductor y vehículo-vehículo.

El objetivo de este trabajo es definir bases de trabajo para el desarrollo de sistemas de comunicaciones vehículo-infraestructura (V2I), realizar un estudio práctico de la situación actual de los desarrollos y/o tecnología existente, así como la definición a nivel de ingeniería de los elementos básicos de comunicación a instalar en la cara de la infraestructura para dar cobertura a los servicios de seguridad vial que se requirieran.

Palabras Clave: Sistema Inteligente de Transporte, comunicaciones vehículo-infraestructura (V2I), servicio de seguridad, servicio de confort, redes vehiculares, interacción vehículo-conductor, interacción vehículo-vehículo.

Abstract:

The actual penetration of integrated systems vehicle is getting higher every day, as well as embedded, as well as external apps available via smartphones. This implantation is looking for a perfect machine-man integration not only oriented to comfort of drivers and passengers, but looking for integration between vehicle systems to achieve a non-intrusive driving assistance and increase road safety. This knowledge investment has been boost mainly in vehicle to driver and vehicle to vehicle communication systems oriented protocols.

The main target of this work is to get the base knowledge and notions to deploy Road to Vehicle communications, studying the current situation of this technology and, describe what would be the elementary communications items that would give coverage to the road safety services required.

Keywords: Intelligent Transportation System, Vehicle-infraestructure communications (V2I), security service, comfort service, vehicular networks, vehicle-driver interaction, vehicle-vehicle interaction.

INDICE

1.	<i>Introducción</i>	9
2.	<i>Regulación Europea</i>	10
3.	<i>Líneas de Acción</i>	12
3.1.	Eficiencia	13
3.2.	Seguridad	14
3.3.	Información sobre la circulación	15
4.	<i>Asistencia a la conducción.</i>	16
4.1.	Niveles de control de vehículo inteligente.	22
5.	<i>Comunicaciones V2X</i>	24
6.	<i>Normas y protocolos.</i>	25
6.1.	Nivel Físico.	27
6.2.	Nivel Enlace de Datos, Red y Transporte	27
6.3.	Nivel de Aplicación.	28
6.4.	Protocolos de Aplicación Específicos.	31
7.	<i>Comunicación Vehículo-Infraestructura</i>	32
7.1.	Normas y protocolos	32
7.2.	Estado de desarrollo/momento tecnológico.	33
8.	<i>Comunicaciones V2I en Europa.</i>	38
8.1.	Principales proyectos.	38
	COMeSafety	38
	PRE-DRIVE C2X	39
	CVIS (Cooperative Vehicles-Infrastructure Systems)	39
	SAFESPOT	40
	Coopers (Co-operative Systems for Intelligent Road Safety)	40
	GeoNet	41
	COMeSafety2	41
	DRIVE C2X	42
	FOTsis (European Field Operational Test on Safe, Intelligent and Sustainable Road Operation)	42
	COMPASS4D	43
	CO-GISTICS	44
8.2.	Comunicaciones V2I en España. Proyecto SISCOGA	45
	Arquitectura SISCOGA.	45
	Tipos de mensajes.	47
	Casos de uso.	49
	Despliegue y pruebas	50
8.3.	Estado de desarrollo/momento tecnológico	51
8.4.	Posibles escenarios.	55
8.5.	Situación actual.	57
8.6.	Estado del Arte	58
9.	<i>Conclusiones</i>	59
10.	<i>Bibliografía.</i>	61
11.	<i>Tabla de Imágenes.</i>	63

1. Introducción

PALABRAS CLAVE: CONGESTIÓN, SEGURIDAD VIAL, COSTES ACCIDENTES/CONGESTIÓN, COSTES AMBIENTALES

Desde la época del Imperio Romano ha sido necesario establecer y regular el tráfico y el transporte de mercancías. Desde entonces, los medios de transporte terrestre han evolucionado en velocidad, comodidad y seguridad, pero su evolución ha dependido siempre de la otra parte de la ecuación, la infraestructura. La evolución en tándem vehículo/infraestructura ha estado liderada en el siglo XX por los EEUU, donde todo el conocimiento relativo a la Ingeniería del Tráfico y del transporte y su estudio constante del tráfico ha sido el que ha establecido las bases de ingeniería desde los años 50. Desde esa década, el país de mayores carreteras multicarril comienza a estudiar el tráfico y la disciplina del movimiento a través del Manual de Capacidad Americano (**Highway Capacity Manual**) que en la actualidad cuenta con seis versiones y dos actualizaciones importantes.

La solución a los problemas de movilidad en la década de los 70. Mientras que la solución inicial a los problemas del tráfico y del transporte estaban siempre orientadas hacia la construcción de más y mayores carreteras, el tiempo ha demostrado que ese tipo de infraestructuras no suponen una mejora en la movilidad de las personas, por lo que desde hace más de 10 años, los esfuerzos tanto americanos como europeos es el transporte intermodal, el estudio de desplazamientos multimodales y la tendencia cada vez más arraigada de la movilidad sostenible.

Como parte de ese gran todo que es la movilidad de las personas y mercancías, comienza la necesidad de establecer, regular y fomentar los Sistemas Inteligentes de Transporte (**Intelligent transportation systems**)¹



Imagen 1 Escenarios de aplicación de los Sistemas Inteligentes de Transporte

(extraída de <http://www.etsi.org/>)

¹ (Intelligent Transportation Systems. Innovating for the transport of the future s.f.) Accesible en: https://ec.europa.eu/transport/themes/its_en

Desde España, es la Dirección General de Tráfico (DGT) la que lleva décadas impulsando el despliegue de sistemas, aplicaciones y servicios con el principal objetivo de aportar seguridad; disminuir las demoras aumentando la precisión en la predicción de los tiempos de viaje; y mejorar la calidad del transporte por carretera y la comodidad de los que se desplazan por ellas.

Aunque el entorno tecnológico está evolucionando hacia los sistemas integrados en vehículos y converge hacia la conectividad total, aún nos queda un largo camino por recorrer, al menos en lo que se refiere al desarrollo de estándares adecuados y a implementaciones de equipamiento eficientes y sobre todo seguras, tanto desde el punto de vista de los procesos de ingeniería como desde el punto de vista del usuario final.

A continuación, este trabajo se ocupa del marco legislativo europeo que se ocupa de regular la implantación de los Sistemas Inteligentes de Transporte y los medios tecnológicos actuales que desarrollan los elementos que actúan en la asistencia a la conducción y tienen como objetivo el vehículo autónomo.

2. Regulación Europea

DIRECTIVE 2010/40/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 July 2010

The framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport

La Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece el marco para la implantación de los Sistemas Inteligentes de Transporte en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte.

De conformidad con esta Directiva, la Comisión tiene que adoptar durante los siete próximos años **especificaciones** (es decir, disposiciones funcionales, técnicas, organizativas o de servicios) aprobados por la Comisión mediante actos delegados, para abordar la compatibilidad, interoperabilidad y continuidad de las soluciones de ITS en toda Europa.

La Comisión también creará un **Grupo Consultivo Europeo de ITS** que reunirá a los representantes de los interesados en los ITS pertinentes y asesorará a la Comisión sobre los aspectos técnicos y empresariales de la aplicación y el despliegue de los ITS en la Unión.

Áreas Prioritarias

Existen 4 áreas prioritarias en la Directiva que se desarrollarán a través de 6 acciones prioritarias-

- I. Utilización óptima de los datos sobre la red viaria, el tráfico y los desplazamientos
- II. Continuidad de los servicios de ITS para la gestión del tráfico y del transporte de mercancías
- III. Aplicaciones de ITS para la seguridad vial y protección del transporte por carretera
- IV. Conexión del vehículo a la infraestructura de transporte.

Para la cobertura de estas áreas de trabajo se desarrollarán 6 acciones prioritarias:

- a) Suministro extenso de servicios de información sobre desplazamientos multimodales en toda la Unión Europea
- b) Suministro de servicios de información sobre tráfico en tiempo real en toda la Unión
- c) Procedimientos para facilitar información mínima sobre el tráfico universal en relación con la seguridad vial, con carácter gratuito para el usuario
- d) Suministro armonizado de un número de llamada de emergencia en toda la Unión (eCall)
- e) Suministro de servicios de información sobre plazas de aparcamiento seguras y protegidas para los camiones y vehículos comerciales.
- f) Suministro de servicios de reserva de plazas de aparcamiento seguras y protegidas para los camiones y vehículos comerciales.
- g)

El desarrollo de estos ámbitos y acciones prioritarias se desarrollan en el ANEXO I de la Directiva, mientras que los principios concretos de las especificaciones y de la implantación de las ITS a nivel europeo se desarrollan en el ANEXO II.

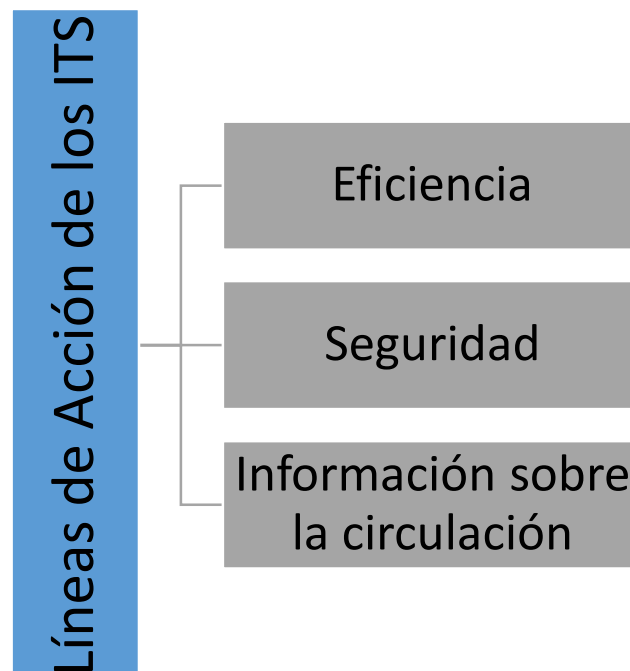
En concreto se especifican que las medidas deben de ser:

- a) **serán eficaces:** contribuirán por ejemplo a la reducción de la congestión del tráfico, disminución de las emisiones y aumento de la eficiencia energética y de los niveles de seguridad y protección
- b) **serán rentables:** optimizarán la relación entre los costes y los resultados obtenidos respecto del logro de objetivos;
- c) **serán proporcionadas:** fijarán distintos niveles alcanzables de calidad y de implantación de los servicios, teniendo en cuenta las especificidades regionales, nacionales y europeas;
- d) **apoyarán la continuidad de los servicios:** asegurarán unos servicios ininterrumpidos en el conjunto de la Unión, en particular en la red transeuropea.
- e) **facilitarán la interoperabilidad:** garantizarán que los sistemas y los procesos empresariales en que aquellos se basan tengan la capacidad de intercambiar datos y compartir información y conocimientos.

- f) **apoyarán la retrocompatibilidad:** garantizarán la capacidad de los sistemas de ITS de funcionar con los sistemas existentes que comparten las mismas funciones, sin obstaculizar el desarrollo de las nuevas tecnologías;
- g) **respetarán las características de la infraestructura y la red nacionales existentes:** tendrán en cuenta las diferencias inherentes a las características de las redes de transporte, en particular la dimensión de los volúmenes de tráfico y las condiciones meteorológicas de la red viaria.
- h) **fomentarán la igualdad de acceso:** no impondrán obstáculos ni discriminaciones al acceso de los usuarios.
- i) **fomentarán la madurez:** demostrarán la solidez de los sistemas de STI innovadores, mediante un nivel suficiente de desarrollo técnico y explotación operativa
- j) **proporcionarán horarios y posicionamiento de calidad:** utilizarán infraestructuras basadas en satélites o cualquier otra tecnología que proporcione un nivel equivalente de precisión.
- k) **facilitarán la intermodalidad:** tendrán en cuenta la coordinación de los diversos modos de transporte
- l) **respetarán la coherencia:** tendrán en cuenta las normas, políticas y actuaciones de la Unión en materia de normalización.

3. Líneas de Acción

Actualmente, las necesidades de este tipo de sistemas se centran en tres áreas: eficiencia, seguridad, e información sobre la circulación.



3.1. Eficiencia

En esta área, las líneas de desarrollo en curso deben permitirnos optimizar el funcionamiento de la red viaria como conjunto; es decir, si a pesar de todo se alcanza la congestión en un determinado tramo, es preciso adoptar todas las medidas necesarias para controlarla, limitarla en el espacio y evitar que sus efectos se extiendan a otros tramos de la red, de modo que las demoras a los usuarios sean mínimas y el número de éstos afectados el más reducido posible. Desde el punto de vista de las infraestructuras, necesitamos maximizar el uso de las mismas sin que esto genere un perjuicio al usuario y evitando en todo momento situaciones de potencial peligro.

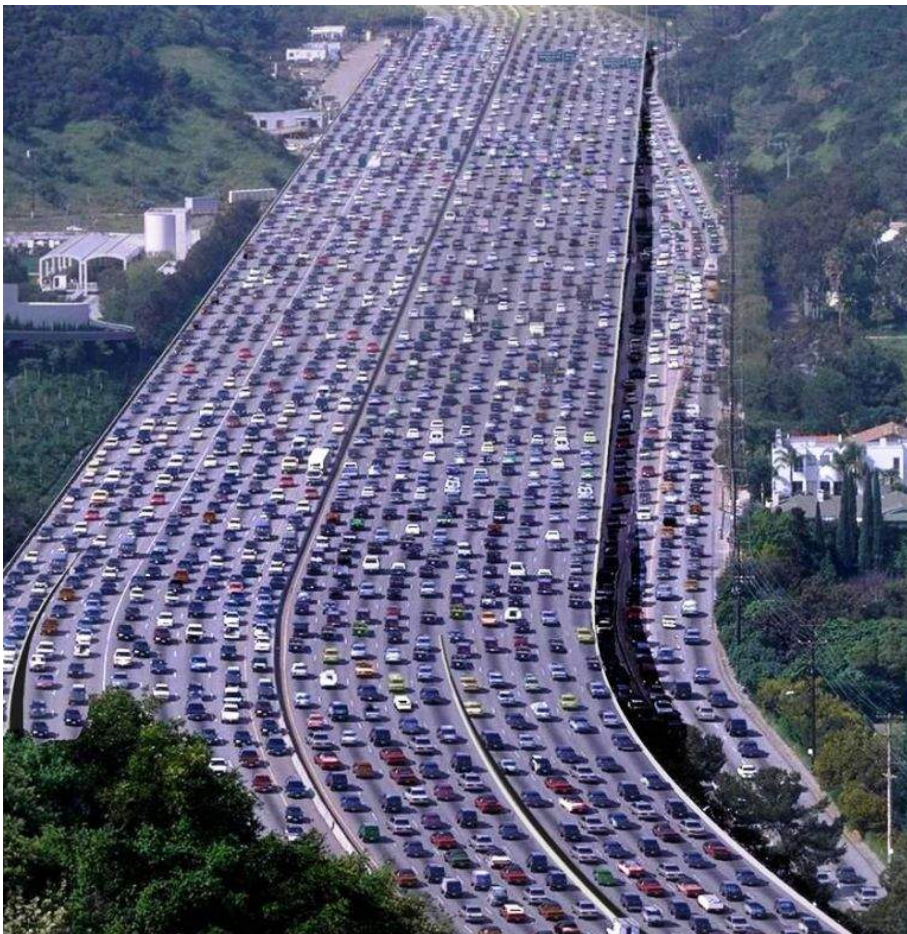


Imagen 2 Extreme Traffic Jam. <http://informedinfrastructure.com/16484/mit-study-traffic-jams-magnify-how-roads-affect-fuel-consumption/>

Las condiciones de circulación deben ser tal que se logre la mayor fluidez y comodidad posible en la conducción. Así, las medidas de control y regulación de tráfico deben mejorar la circulación haciendo posible que se desarrolle en situaciones cercanas a la congestión durante menos tiempo posible y deben evitar congestiones no recurrentes.

3.2. Seguridad

El objetivo fundamental en el control y gestión del tráfico debe de ser la Seguridad Vial por encima de todo, y por tanto debemos intentar alcanzar el nivel más alto posible. Por ello, los esfuerzos tecnológicos en este sentido deben orientarse a las medidas y técnicas que favorezcan la disminución de los accidentes de tráfico. Así, los conceptos tradicionales para enfocar la seguridad vial están comenzando a cambiar y ya no se basan de manera casi exclusiva en la necesaria responsabilidad del conductor, apoyado además por los pilares habituales de educación, formación, vigilancia y sanción, ahora además debemos de empezar a pensar que entra un nuevo factor en juego, el espacio tecnológico y su implantación en la conducción y en el entorno.



Imagen 3 Alerta para Seguridad en vehículo

(extraída de <https://www.tecnocarreteras.es/2011/04/11/que-son-los-sistemas-inteligentes-de-transporte-its/>)

Con independencia de las consideraciones legales que pueda tener la asistencia a la conducción, no podemos olvidar que el conductor es un ser humano y por tanto comete errores en el momento más insospechado. En consecuencia, el sistema de transporte por carretera debe permitir que ese error no sea fatídico y, llegados a este punto, son los campos de la infraestructura y el vehículo donde están puestas las mayores esperanzas en la aplicación de la telemática vial, pero al mismo tiempo, es fundamental garantizar que el equipo embarcado en el vehículo o instalado en la carretera, no lleve consigo un aumento del riesgo de distracción o tenga cualquier otro efecto pernicioso. En este ámbito se desarrolla la línea marcada bajo el concepto e-Safety de la Unión Europea.

Además, a este aspecto relativo al “road safety” se añade otro relativo a los elementos de seguridad necesarios para el propio sistema, evitando que intrusos hagan un uso fraudulento o inadecuado del mismo. Imaginemos que disponemos de un sistema de asistencia a la conducción (de cualquier tipo) y que algún *cracker*² malintencionado decide que es muy divertido comunicar a todos los vehículos cercanos a una curva peligrosa que el límite de velocidad en el punto es de 100km/h en lugar de 40km/h, produciendo en el vehículo una inadecuada (y peligrosa) adaptación de la velocidad.

3.3. Información sobre la circulación

Además, dentro de la normal evolución hacia la conducción totalmente asistida y autónoma, desde hace varios años los vehículos están experimentando la inclusión de cada vez más elementos tecnológicos que apoyan y ayudan al conductor (control de estabilidad, control de tracción, alerta a cambios involuntarios de carril, adaptación automática de la velocidad etc....), están complementándose en la actualidad con sistemas de información embarcados en el vehículo donde además de sistemas de guiado se encuentran sistemas con información adaptativa sobre el estado de la circulación. Estos sistemas del estado de la circulación deben tener la suficiente calidad para que los usuarios adopten las decisiones oportunas durante el viaje modificando el itinerario ante el aviso de un incidente en la ruta inicial (hasta hace relativamente poco tiempo el conductor podía tomar decisiones *pre-trip* –es decir, pre-viaje, con la información disponible en ese momento)

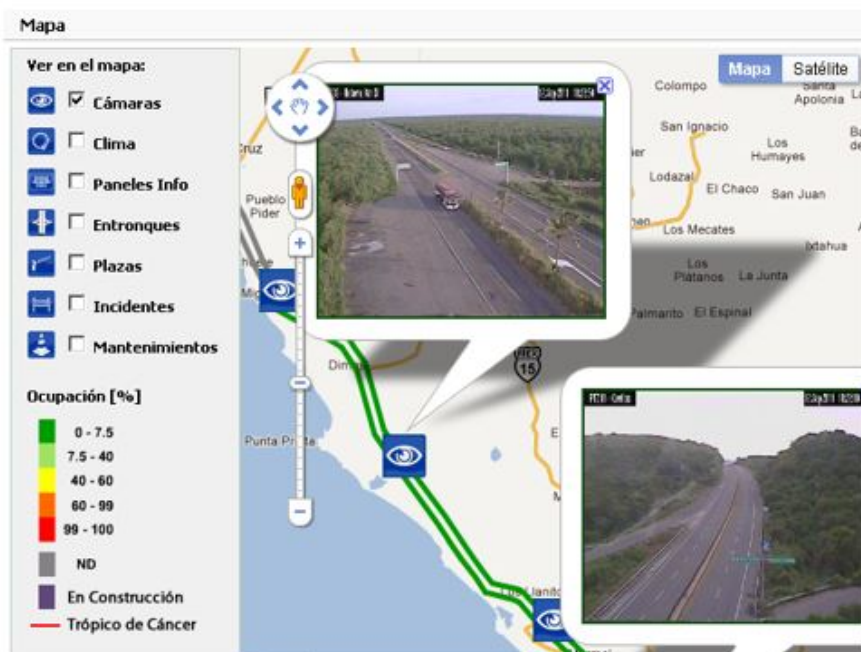


Imagen 4. Información sobre circulación (extraída de <http://www.americasresources.com/sistemas-inteligentes-de-transporte/>).

² El término cracker (del inglés to crack, que significa romper o quebrar) se utiliza para referirse a las personas que rompen o vulneran algún sistema de seguridad.

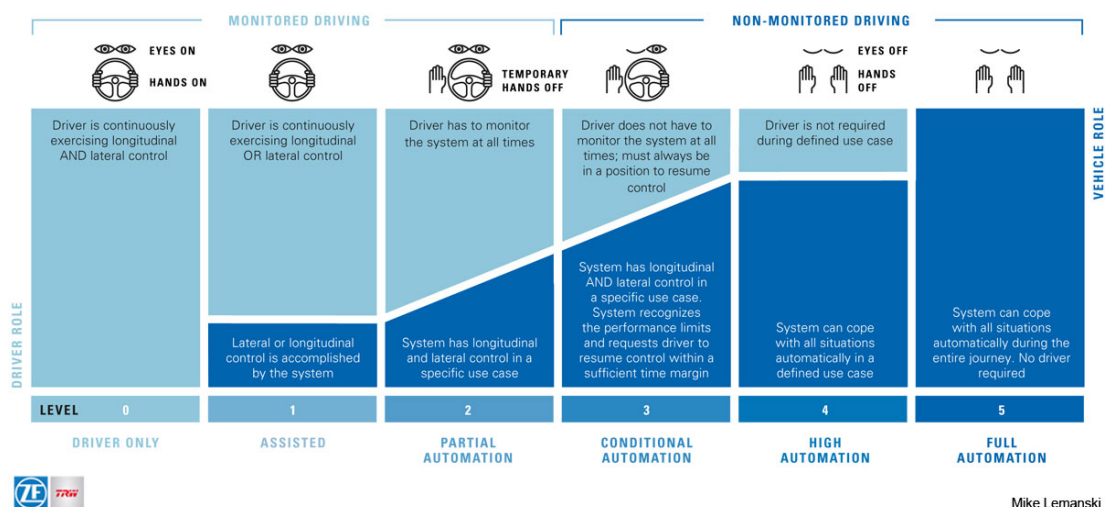
La información sobre el estado de la circulación se ha convertido ya en muchos países en un elemento fundamental para los ciudadanos junto con la información meteorológica. Además, la información vial es seguramente el medio más potente de actuación sobre la demanda de uso de la infraestructura y, volviendo al concepto de la dimensión temporal de las incidencias de tráfico, la señalización dinámica preventiva se hace fundamental pues, en definitiva, optimiza la capacidad de decisión de los usuarios.

4. Asistencia a la conducción.

Poco a poco la asistencia a la conducción va cobrando un papel cada vez más relevante tanto en la industria como en el día a día. Los sistemas de alta asistencia pueden ayudar al conductor a evitar distracciones o sufrir estrés en condiciones de circulación normales (retenciones, tráfico condicionado, etc..)

Normalmente los conductores necesitan de asistencia en circunstancias de baja y alta carga sensitiva, las situaciones de alta carga se producen normalmente en situaciones viales donde el conductor debe atender varias cosas a la vez (cambios de dirección, carreteras sinuosas, etc..), mientras que las situaciones en baja carga se producen en situaciones monótonas (viajes largos, etc..). Cualquiera de las dos situaciones aumenta el riesgo de accidente, por lo que es en ambos extremos donde la asistencia a la conducción cobra sentido.

La **Society of Automobile Engineer (SAE)** establece en la norma SAEJ3016, las definiciones y la taxonomía de los sistemas de automatismos a la conducción y se establecen 6 niveles de automatización. El nivel 0 corresponde a la conducción tal y como la conocemos hoy en día, y el nivel 5 corresponde a la automatización total. (Ahmed, S. A., Ariffin, S. H., & Faisal, N. ,2013)



Mike Lemanski

Imagen 5 Niveles de Automatización.

<http://www.birmingham.ac.uk/news/thebirminghambrief/items/2016/11/driving-the-revolution.aspx>

El mercado y la industria automovilística se encuentra en un nivel 2 de automatización y está en comenzando a ofrecer el nivel 3 (automatización ligera o condicional).

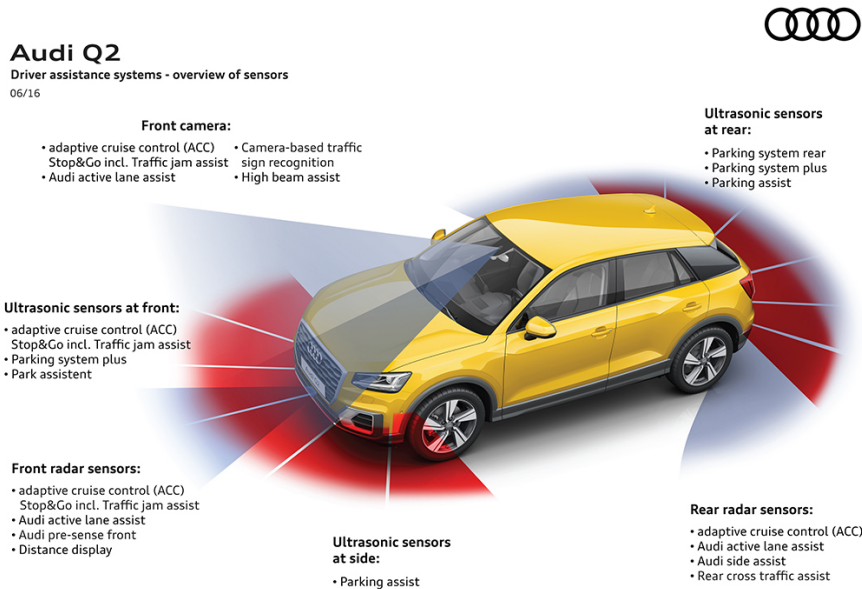


Imagen 6 Audi Q2 Sensors. <https://audi-illustrated.com>

Debemos hacer una sencilla distinción entre lo que se considera conducción asistida, donde el conductor es el que realiza todos los aspectos relevantes en la tarea de la conducción y con control total sobre el manejo del vehículo y puede apoyarse en sistemas que proporcionan asistencia en un componente básico de la conducción (el movimiento longitudinal o el movimiento transversal).

Conducción Asistida

Nivel 0. El conductor realiza toda la mecánica de la conducción, es el responsable de la vigilancia del entorno, mantener la velocidad y trayectoria del vehículo. Pueden incluirse avisos sonoros/luminosos básicos como recordar pausas en la conducción cada 2 horas.

Nivel 1. Asistencia al Conductor. Tan solo se informa al conductor de una situación de riesgo, no existe intervención de ningún tipo, tan solo monitorización de algunos sistemas y la actuación estática. Por ejemplo el control de velocidad de crucero. El conductor sigue siendo responsable de la vigilancia del entorno y de mantener la trayectoria del vehículo. Un sistema asistido se encarga de mantener constante la velocidad.



Imagen 7 Control de Velocidad. <http://cdn2.carsizzler.com/>

Nivel 2. Automatización parcial. No solo se produce el aviso, sino que además se guía al conductor a actuar ante una situación de riesgo. (p.ej. aviso de cambio de carril involuntario). Además del aviso (acústico, visual) puede incitarse al conductor a intervenir hacia la solución correcta mediante vibración en el volante/asiento. Los sistemas integrados en el vehículo comienzan a fijarse en el entorno y pueden tomar el control. Por ejemplo el control adaptativo de la velocidad es capaz de controlar el movimiento longitudinal del vehículo adaptándolo al vehículo precedente y haciendo uso del freno en caso de emergencia.

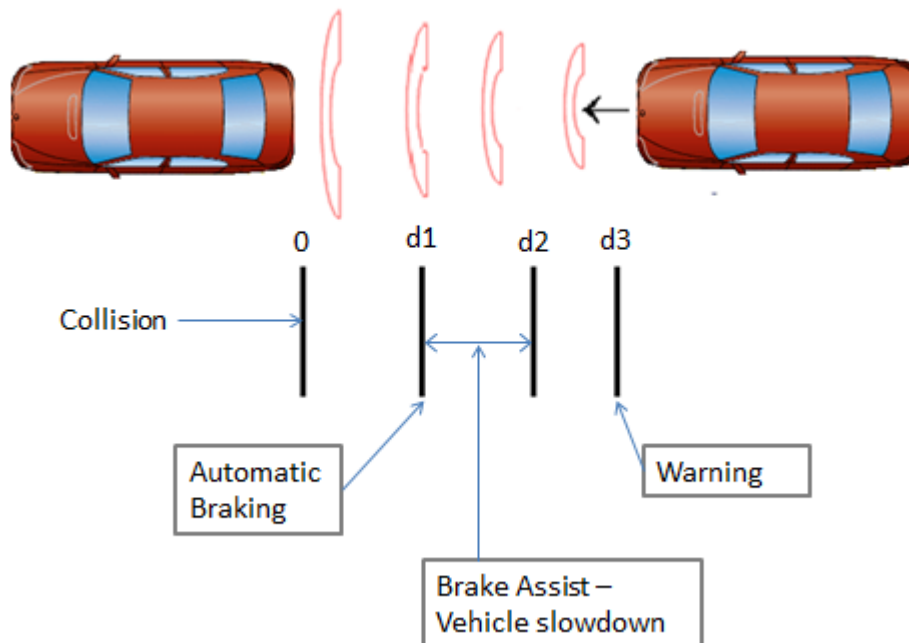


Imagen 8 Frenada de emergencia <http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-brake.html>

Conducción Automatizada

Los sistemas integrados en el vehículo toman el control del mismo en determinadas situaciones, pudiendo distinguirse entre intervención parcialmente automatizada, altamente automatizada o completamente automática. (Jiménez Alonso & Olalla 2014).

Los datos de entorno ya son obligatorios y necesarios para la adecuada toma de decisiones, básicamente además de los valores de velocidad, acelerador/freno del vehículo, los sensores captan y se calculan distancias con los vehículos precedentes, de forma que elementos como el control adaptativo de la velocidad, la frenada de emergencia son totalmente habituales y se comienzan a introducir conceptos tales como asistencia al aparcamiento, reconocimiento de señales de

tráfico, asistencia al giro, control de mantenimiento de carril, sistema de control de colisiones en intersecciones, etc...

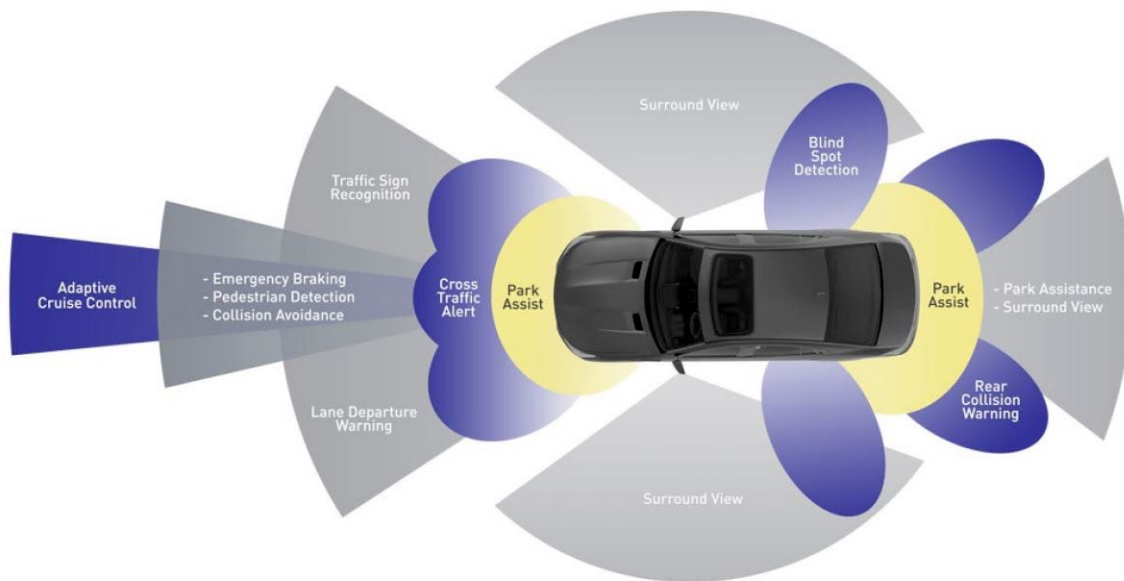


Imagen 9 Despliegue de sensores. <http://www.embedded.com/design/programming-languages-and-tools/4458083/Specialized-compilers-address-ADAS-needs>

Nivel 3. Conducción parcialmente automática. Los sistemas del vehículo pueden tomar el control del movimiento lateral y longitudinal. El conductor humano tiene la capacidad de retomar el control.

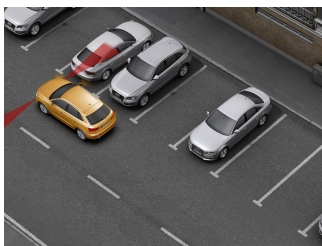


Imagen 10 Asistencia al aparcamiento. <https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/driver-assistant-systems/park-assist>

El ejemplo típico de este tipo de automatismos son los sistemas de asistencia al aparcamiento.

Nivel 4. Conducción altamente automatizada. Los sistemas de abordaje toman el control longitudinal y lateral del vehículo en situaciones de tráfico determinadas, ya no es necesario que el conductor supervise continuamente el sistema o su entorno. En caso de ser necesario los sistemas del vehículo advierten al conductor con tiempo suficiente para que retome el control. Una situación típica de este nivel es la conducción en caravana ante retenciones de tráfico.



Imagen 11 Conducción en retención. <https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/driver-assistant-systems/audi-q7-traffic-jam-assist>

En intervención automática, el vehículo estará normalmente dotado de radar, cámara y sensores ultrasónicos de proximidad. En estos casos el modo TAP (Temporary Automatic Driver) toma el control del acelerador, freno, indicadores de dirección y volante, de forma que en entornos controlados como puede ser una autopista, el sistema puede mantener la distancia

con el vehículo precedente, girar el volante para seguir el trazado de la vía e incluso adelantar. El hecho de desplegar esta tecnología exclusivamente en este tipo de entornos se debe al control más estricto del entorno (curvas suaves, velocidad prácticamente uniforme, marcas viales definidas, un solo sentido de la circulación, etc.). Marcas como BMW tienen planteado desplegar este tipo de asistencia durante el año 2020.

Nivel 5. Conducción totalmente automatizada. El vehículo toma el control del movimiento longitudinal, lateral y del entorno. No es necesaria intervención humana de ningún tipo. Es el piloto automático.



Imagen 12 Conducción autónoma.
¹<https://www.continental-corporation.com/en/products-and-innovation/innovation/automated-driving/automated-driving-10556>

El final del camino de la asistencia se alcanza con la conducción autónoma, en esta fase la asistencia es total, siendo la figura del conductor relegada totalmente al sistema. Aún sigue siendo ciencia ficción, aunque los desarrollos en este ámbito son importantes, el coche autónomo desarrollado por Google usa cámaras, sensores de radar, *lidar*³ (Light Detection and Ranging), sensores de entorno y mapas georreferenciados para la navegación, además de apoyarse en los servidores de google para procesar la información recibida por el coche del entorno que le rodea. Las estimaciones más optimistas sitúan que la conducción totalmente autónoma alcanzará al 75% de la población en el año 2040.

La evolución lógica de este tipo de asistencia plenamente automática nos lleva a la pregunta más lógica. Si el vehículo actúa sobre elementos del vehículo como acelerador o freno, ¿por qué no notificarlo al resto de vehículos circundantes? . De esa forma no queda todo relegado a la detección de las situaciones mediante sensores, sino que es propio vehículo el que indica a los demás sistemas automáticos cuales son las actuaciones que está llevando a cabo para que la adaptación entre los vehículos del entorno sea plena.

El sistema de control cooperativo-adaptativo de la velocidad usa para comunicaciones vehículo a vehículo (V2V), indicando a los vehículos que le rodean las actuaciones del sistema sobre el par acelerador/freno, evitando actuaciones innecesarias del resto y ayudando a reducir el consumo de combustible.

³ **LIDAR** (un acrónimo del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) es una tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado.

ADAS

Todos los sistemas que intervienen en la ayuda a la conducción se conocen como ADAS (**Advanced Driver Assistance Systems**) y bajo este paraguas se incluyen todos los sistemas electrónicos, mecánicos, sensores y software que supervisan e influyen en la toma de decisiones del conductor en mayor o menor medida.

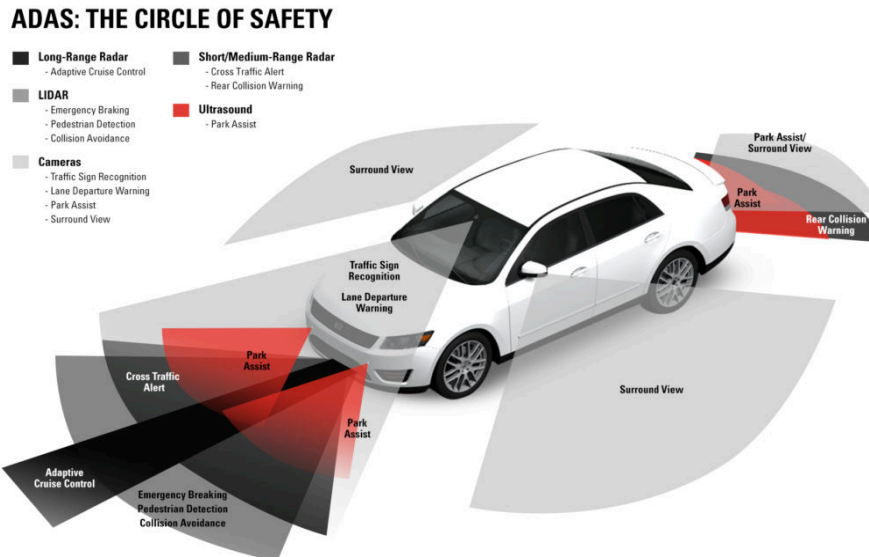


Imagen 13. Círculo de seguridad ADAS. <http://www.repairerdrivenews.com/2016/10/04/safelite-bosch-announce-adas-windshield-calibration-partnership/>

A modo de ejemplo, las principales industrias del sector como nVidia o Bosch comercializan un amplio catálogo de sensores para su integración por parte de los distintos fabricantes.

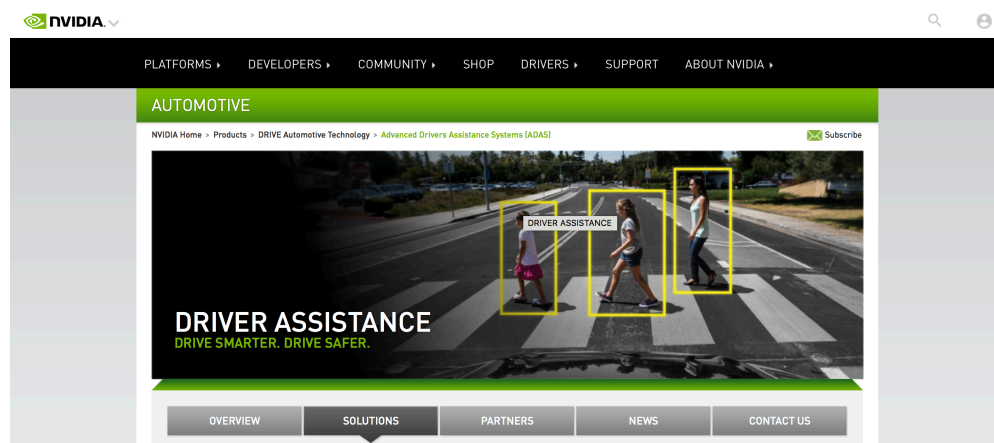
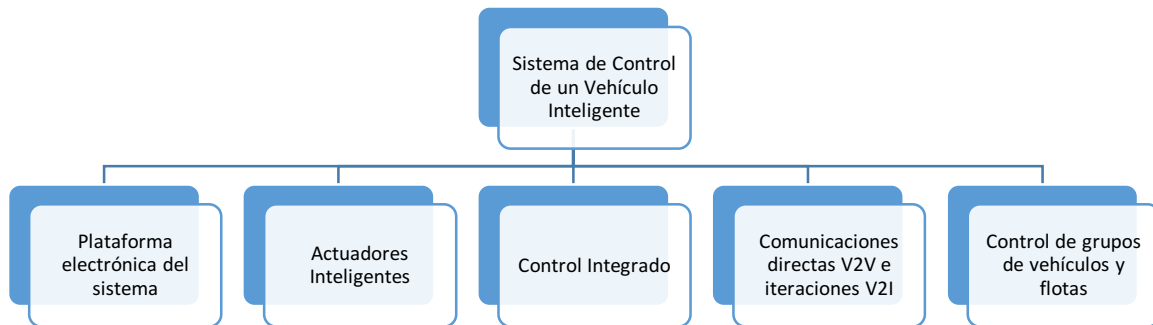


Imagen 14 Sensores Nvidia. <http://www.nvidia.com/object/advanced-driver-assistance-systems.htm>

4.1. Niveles de control de vehículo inteligente.

Se distinguen diferentes niveles en un sistema de control de vehículo inteligente.



Plataforma de electrónica del sistema

El nivel inferior, que contiene toda la electrónica y elementos constructivos necesarios para el control electrónico del vehículo incluye todo el hardware relativo a sensores, actuadores, servomotores, así como componentes software necesarios para su actuación como pueden ser software de diagnóstico, drivers, etc. de forma que se constituye la plataforma de base para dotar al vehículo de los elementos básicos de fábrica. (“Highly Automated Vehicle Systems”, 2014)

Actuadores inteligentes

En el segundo nivel, los actuadores inteligentes son las cinco principales unidades de control y movimiento del vehículo controlables electrónicamente, esto es, motor, transmisión, suspensión, sistema de frenado y sistema de dirección. Cada uno de esos sistemas dispone de su propia unidad de control electrónico (ECU) puede que, interconectadas con otras, pero cada una de ellas responsable de su propio sistema.

Control Integrado del Vehículo

En el siguiente nivel, el control integrado del vehículo es el control armonizado de los actuadores inteligentes (en lugar del control individual) a nivel vehicular. Esta capa tiene influencia sobre todo el movimiento del vehículo, pues depende de la sinergia en el uso de cada uno de los actuadores para conseguir el efecto deseado en el movimiento. Imaginemos una situación donde la parte izquierda de la superficie presenta un coeficiente de rozamiento mucho mayor que la parte derecha de la calzada (como por ejemplo ante una helada, la parte más cercana al

arcén puede presentar ligeras acumulaciones de nieve/hielo que provocan que las ruedas derechas del vehículo tengan menos adherencia que las del lado izquierdo). En esta situación una actuación en el freno por parte del conductor hará que los sistemas antibloqueo del vehículo apliquen la estrategia “menor fuerza posible”, pero con una actuación conjunta del sistema de frenos y el sistema de dirección por parte de los actuadores inteligentes puede hacer que se aplique la máxima fuerza de frenado a cada lado con la ayuda del sistema de dirección para estabilizar la trayectoria.

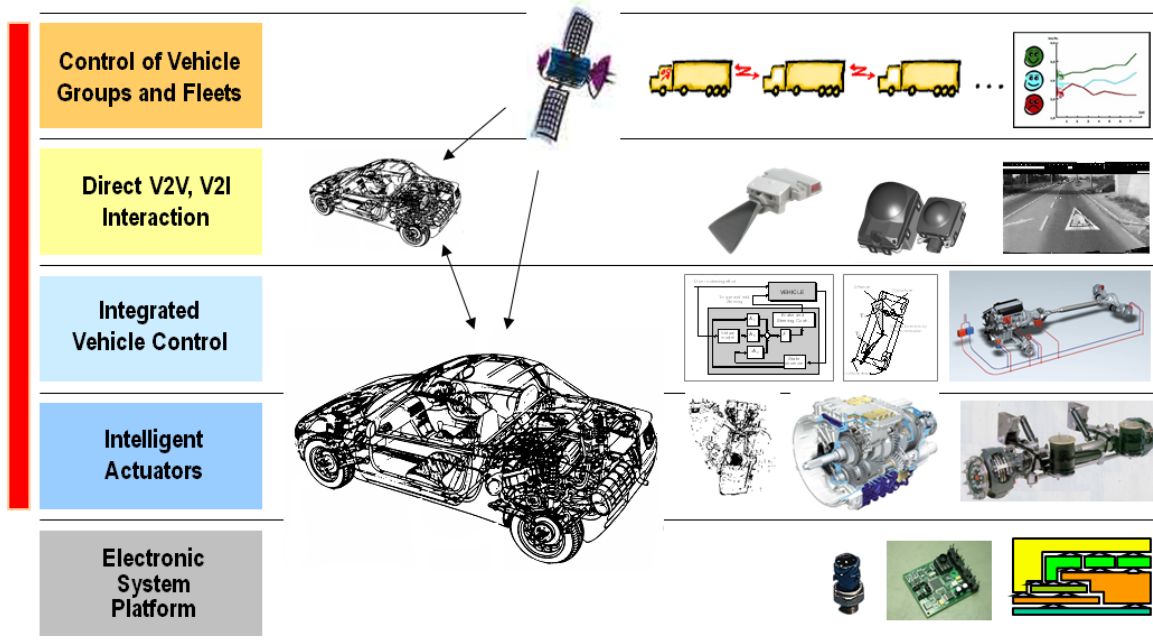


Imagen 15. Relación entre los componente o niveles de un en un sistema de control de vehículo inteligente (extraída de ...)

Comunicaciones directas V2V e iteraciones V2I

El cuarto nivel provee las comunicaciones ad-hoc V2V y V2I, basando el control en la posición relativa del vehículo y su conductor respecto a otros vehículos y a la infraestructura. El ejemplo más simple de estas interacciones es el control adaptativo de la velocidad, donde las distancias y velocidad con el vehículo precedente son determinadas por el sistema de radar delantero, y donde se establecen comunicaciones entre los dos para mantener la distancia. Este control adaptativo de la velocidad está limitado longitudinalmente, pero aproximaciones posteriores pueden calcularse además para direcciones laterales, apoyando el control de trayectoria. En comunicaciones ad-hoc con la infraestructura, el ejemplo más simple es el reconocimiento automático de señales de tráfico.

Control de grupos de vehículos y flotas

El último nivel cubre el control de una flota completa de vehículos (a al menos un conjunto parcial de estos) donde el agrupamiento está basado bien en su localización, bien en su propietario. Un buen ejemplo para la selección de un grupo

de vehículos basado en localización es el control formulado en secciones transversales de la vía, de forma que se puedan establecer “pelotones/convoys” de vehículos controlados de forma centralizada por sistemas informáticos, principalmente orientados a la logística y a la maximización del uso de las autovías/autopistas. (Debemos recordar que el uso ideal de máxima explotación de una autovía se encuentra en su capacidad máxima, mientras que desde el punto de vista del conductor la vía ideal es la que se encuentra totalmente vacía y para su uso exclusivo.

5. Comunicaciones V2X

Durante la última década, el momento tecnológico han propiciado la necesidad de conectar los vehículos unos con otros. Las redes móviles son una de las tecnologías que mayor penetración han tenido en entornos industriales y sociales, y la base del desarrollo de redes vehiculares ad-hoc.

Este tipo de redes MANET, definidas en la tesis de doctorado de tres estudiantes de Ingeniería, define las redes multicast entre vehículos, principalmente el LVMM (Localized Vehicular Multicast Middleware), que permite en encaminamiento y la comunicación multicasting (a grupos o uno-a-muchos) entre aplicaciones y el resto de receptores de forma económica.

El modelo y uso de redes móviles tradicionalmente tienen dos modelos aceptados, las basadas en infraestructura y las ad-hoc.

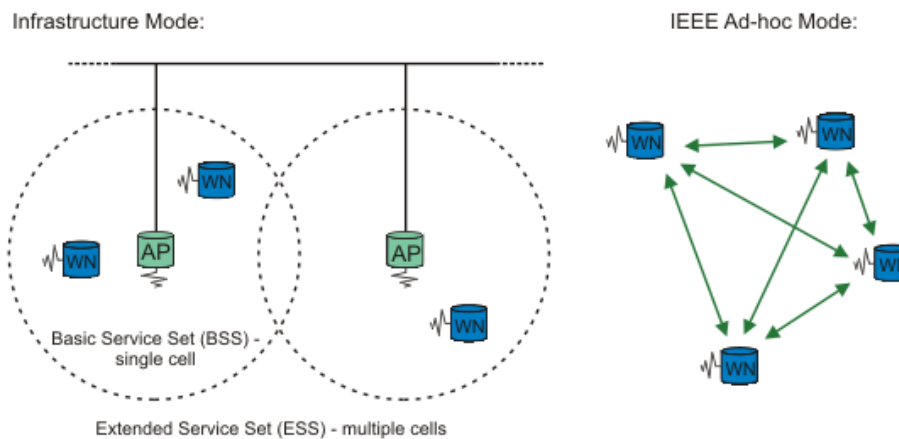


Imagen 16 Estructura VANET

Mientras que las redes móviles de comunicaciones tienen un fuerte componente de infraestructura, esto es, los dispositivos se conectan a puntos de acceso fijos, fuertemente implantados y localizados que son los que mantienen y organizan el peso y capacidad de red, las redes ad-hoc consisten en nodos totalmente autónomos que en un momento dado colaboran y comparten información, de forma que los dispositivos actúan a la vez como nodo final y como router. Las redes ad-hoc se pueden catalogar como estáticas y móviles, en las redes estáticas un

elemento de red queda fijo una vez entra a formar parte de la red mientras que en las redes ad-hoc móviles, los elementos de red están en continuo movimiento, es lo que se conoce como redes MANET, siendo las redes móviles vehiculares (VANET) un subconjunto de este tipo de redes donde se hace hincapié que los nodos están constituidos por vehículos. Estos nodos VANET se les supone que disponen de un sistema GPS (o similar) con capacidad de geolocalización instantánea, un transceptor de radio y capacidad de computo.

6. Normas y protocolos.

El desarrollo del estándar internacional WAVE (Wireless Access in Vehicle Environments) establece sus pilares en la ampliación del protocolo 802.11 (realmente 802.11p es solo parte del estándar internacional), además de que en esta extensión del protocolo IEEE 802.11, se definen las capas físicas y de acceso al medio de las redes vehiculares (WAVE), y está complementado por las normas IEEE 1609 (1609.2 orientada a la seguridad, 1609.3 orientadas a la conectividad y 1609.4 que ofrece conectividad para las capas de alto nivel)⁴. (Ahmed, Ariffin, & Faisal 2013).

El nivel .0 del 1609 (**IEEE 1609.0TM-2013, Architecture (Guide)**) describe la arquitectura y operación de WAVE, basado en IEEE1609 y IEEE 802.11-2012., permitiendo el desarrollo de dispositivos de baja latencia y baja sobrecarga que ofrezcan soporte a las comunicaciones ITS en materias de seguridad, eficiencia, y sostenibilidad.

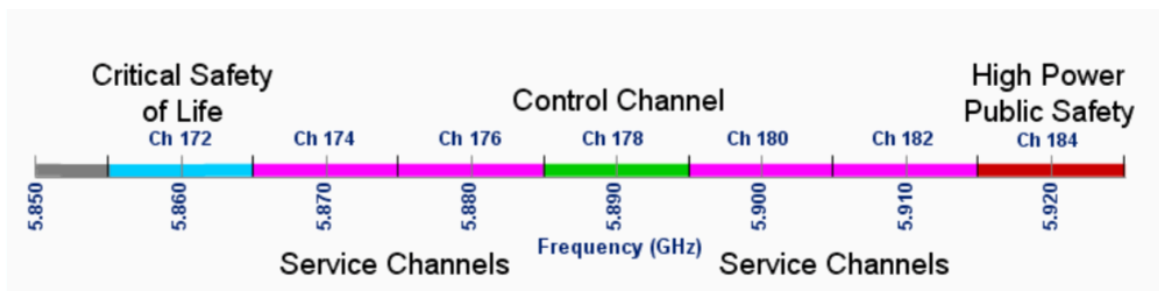


Imagen 17 Espectro de Frecuencias. Jiang, D. & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access

La implantación de estas redes vehiculares implican desarrollos de nuevos protocolos de comunicación y nuevas asignaciones del espectro de frecuencias. Este tipo de comunicación inter-vehicular está considerado dentro de la definición

⁴ A nivel ISO estos estándares están recogidos en:

EN 12253:2004 Dedicated Short-Range Communication – Physical layer using microwave at 5.8 GHz (review)
 EN 12795:2002 Dedicated Short-Range Communication (DSRC) – DSRC Data link layer: Medium Access and Logical Link Control (review)
 EN 12834:2002 Dedicated Short-Range Communication – Application layer (review)
 EN 13372:2004 Dedicated Short-Range Communication (DSRC) – DSRC profiles for RTTT applications (review)
 EN ISO 14906:2004 Electronic Fee Collection – Application interface

de las DSRC (Dedicated Short Range Communications) que operan en el rango de los 5,9Ghz con un ancho de banda reservado en Europa de 50Mhz (75Mhz en EEUU), divididos en 5 (7) canales de 10Mhz.

WAVE presenta una estructura multicapa donde intervienen protocolos heterogéneos para aunar conectividad con seguridad

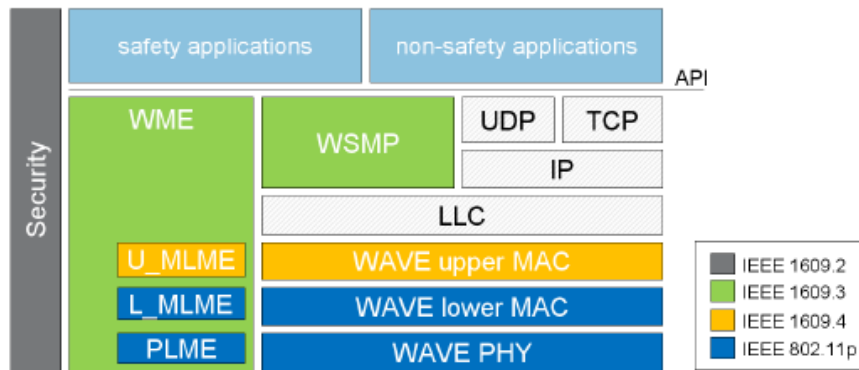


Imagen 18 Protocolos WAVE. Jiang, D. & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access

Observando la pila de protocolos de forma análoga al modelo de niveles ISO, los protocolos que actúan en las comunicaciones WAVE son los siguientes.

		No. of layer	ISO/OSI ref model	Data Plane		Management Plane
Higher Layers	SAE J2735					
	IEEE 1609.1	7	Application	e.g. HTTP	WAVE Application (Resource Manager)	
Network Services	IEEE 1609.2	4	Transport	TCP/UDP	WSMP	WAVE Station Management Entity (WSME)
		3	Network	IPv6		
	IEEE 1609.3	2b	Data Link	802.2 LLC		
		2a		WAVE MAC	MAC Management	
Lower Layers	IEEE 1609.4	1b	Physical	WAVE Physical Layer Convergence Protocol (PLCP)		PHY Management
		1a		WAVE Physical Medium Dependent (PMD)		

1609.1 Resource Manager
 1609.2 Security Services
 1609.3 Networking Services
 1609.4 Multi-channel operations

Imagen 19 Analogía WAVE/ISO. Lecture Vehicle Networks, Thomas Strang and Matthias Röckl, WS 2008/2009

6.1. Nivel Físico.

A nivel físico intervienen los protocolos 802.11-2012 y el documento .4 del protocolo IEEE 1609. (ITS, E. 2011)

En concreto **IEEE 802.11-2012** se encarga de:

- Proveer conectividad inalámbrica a estaciones fijas, portables y en movimiento en una zona local.
- Soportar comunicación inalámbrica en entornos vehiculares
- Especificar los canales, anchos de banda, tipos de operación, potencia y máscaras de transmisión, y requisitos de los canales alternativos en la banda de los 5.9Ghz. (IEEE 802.11p está incluido en la especificación IEEE 802.11-2012)

El documento .4 de la 1609 (**IEEE Std 1609.4TM-2010, Multi-Channel Operation**) especifica las extensiones de la capa MAC de IEEE 802.11-2012 para operaciones multicanal, de forma que pueda operar alternativamente entre un canal de control y algún canal de servicio. Incluye la capacidad de *timming* (temporización) y conmutación de canales y redireccionamiento de la capa MAC para soportar pseudonombres.

6.2. Nivel Enlace de Datos, Red y Transporte

IEEE 1609 define las partes de la arquitectura, el modelo de comunicaciones, el control de la estructura y los mecanismos de seguridad. Estos componentes primarios de la arquitectura comprenden elementos a bordo (On Board Unit-OBU), Unidades de Carretera (Roadside Unit-RSU), y la interfaz WAVE.

En concreto para las capas MAC y de Red:

IEEE Std 1609.2TM-2013, Security Services for Applications and Management Messages

Especifica los requerimientos de seguridad y los conjuntos de mensajes de aplicaciones para transmisiones WAVE seguras.

Especifica la seguridad en las comunicaciones para los mensajes WAVE Service Advertisements y Short Messages y provee servicios de seguridad adicionales a las capas superiores.

IEEE Std 1609.3TM-2010, Networking Services

Especifica los servicios de red requeridos para los sistemas WAVE que emplean el protocolo IPv6, especifica el protocolo WAVE de Short Message (WSMP) y ofrece un conjunto de funciones de gestión para los servicios WAVE.

6.3. Nivel de Aplicación.

Intervienen dos protocolos fundamentales, el propio protocolo 1609 en sus distintas extensiones de aplicación, como SAEJ2735, protocolo de intercambio de mensajes.

IEEE Std 1609.11TM-2010, Over-the-air Electronic Payment Data Exchange Protocol for ITS

Nivel de aplicación del estándar 1609, para el protocolo de pago “en el aire”

IEEE P1609.12TM, WAVE - Provider Service Identifier Allocation (PSID)

Especifica las localizaciones de los identificadores WAVE definidos en IEE1609TM y registra las decisiones de localización de los identificadores de proveedor de servicio y otros identificadores usados por los estándares WAVE

SAE J2735

Estándar desarrollado por la Sociedad de Ingenieros de la Automoción que define el diccionario que contiene los mensajes, definición de tramas y elementos de trama para las aplicaciones que quieren usar WAVE como sistemas de comunicaciones.

Pensado para la interoperabilidad de las aplicaciones, provee a los desarrolladores de una implementación específica.

El conjunto del diccionario contiene 15 mensajes, 72 tramas de datos, 146 elementos de datos y 11 entradas de datos externos.

Los tipos de mensajes son:

- Alerta por vehículos. de emergencia. Para alertar a los demás vehículos de la presencia de servicios de emergencia en un punto.
- Mensaje de transferencia. Para remisión de mensajes a la infraestructura
- Mensaje de exploración. Para examinar condiciones de circulación en el segmento de la vía.
- Mensaje de solicitud sobre seguridad. Para preguntar a otros vehículos sobre información adicional.
- A la carta.

Dedicated Short Range Communications (DSRC) Diccionario de mensajes

Basic Safety Message (BSM)

Mensaje de difusión desde los vehículos definido en dos niveles distintos de ejecución: Mensajes de Nivel I son aquellos que deben de ser difundidos con mayor frecuencia y contienen los datos básicos para las aplicaciones de seguridad, mientras que los mensajes de nivel II sin difundidos con menor frecuencia y bajo

demanda. Todos estos mensajes pueden ser recibidos tanto por vehículos como por RSU.

El tipo de mensaje de nivel I más importante es el **heartbeat**, que es compartido constantemente con los vehículos circundantes ofreciendo información de los distintos sensores. Los principales atributos son:

- ID Temporal
- Hora
- Localización: Latitud/Longitud/Elevación
- Fiabilidad posicional
- Velocidad y transmisión
- Dirección
- Aceleración
- Angulo de giro de las ruedas
- Estado del sistema de frenos

Los tipos de mensajes de nivel II se distribuyen bajo demanda o bajo determinadas circunstancias, en este tipo de mensajes no esenciales se incluyen desde mensajes a la carta (donde se establece un intercambio de información entre vehículos), hasta avisos por vehículos de emergencia próximos o mapeo del estado de una intersección.

J2735 Defined Messages

ID	Messages	Typical Use	Status
0	Reserved	N/A	
1	MSG_A_la_Carte	V2X	
2	MSG_BasicSafetyMessage (BSM)	V2V	Used by USDOT program & other ITS industry research
3	MSG_CommonSafetyRequest	V2?	
4	MSG_EmergencyVehicleAlert		
5	MSG_IntersectionCollisionAvoidance	V2X	
6	MSG_MapData	I2V	Based on USDOT/CAMP CICAS-V project. Used by various demo/research program
7	MSG_NMEA_Corrections	I2V	
8	MSG_ProbeDataManagement	I2V	Used by VII Proof of Concept (PoC) project
9	MSG_ProbeVehicleData	V2I	Used by VII PoC project
10	MSG_RoadSideAlert		
11	MSG_RTCM_Corrections	I2V	Based on USDOT/CAMP CICAS-V project. Used by various demo/research program
12	MSG_SignalPhaseAndTiming	I2V	Based on USDOT/CAMP CICAS-V project. Used by various demo/research program
13	MSG_SignalRequestMessage	V2I	
14	MSG_SignalStatusMessage	I2V	
15	MSG_TravelerInformation Message	I2V	Used by VII PoC & will be used in Model Deployment (Curve Speed Warning)

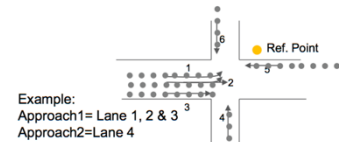
Imagen 20 Diccionario de Mensajes.

Los mensajes de nivel II especialmente orientados a la interacción V2I/I2V son los siguientes:

MAPData Message. Mensaje con la información geométrica de la carretera (actualmente tan solo información de intersecciones) (Palacios, Begoña Molinete Cuezva y Ana Isabel Torre Bastida 2014)-5, que incluirá ancho de carriles, dirección, localización, tipo de carriles, cruces, carriles reservados, movimientos permitidos, etc.

MSG_MapData

- Wrapper object to relate all types of maps such as intersection map, high speed curve outlines, segment of roadway



Data elements/frames	Description	Remarks
DSRCMsgID		
MsgCnt		
DescriptiveName		Optional
LayerType		Optional
LayerID		Optional
Sequence of intersection	Up to 32 intersections	Optional
DescriptiveName		Optional
IntersectionID		
Ref. Point	3D positional data of the reference point	Optional
RefInterNum	Present only if it is a computed intersection	Optional
Orientation	Present only if it is a computed intersection	Optional
LaneWidth		Optional
Type	As intersectionstatus object	Optional
Sequence of approaches	See DF_ApproachesObject for detail (next page)	
Sequence of preemptZones		Optional
Sequence of priorityZones		Optional
DataParameters		Optional
MsgCRC		

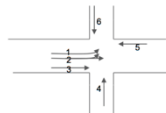
Imagen 21 Mensajes Específicos. MAPDATA.

Traveler Information Message (TIM). Proporciona información relevante para el viajero, como por ejemplo tiempos de comienzo, duración y prioridad, regiones o dirección del viaje.

MSG_SignalPhaseTiming (SPaT)

- DSRCmsgID
- SPAT
- Intersection ID
- Intersection Status
- List of movement states with lanes associated

Example:
Movement1=left turn Lane 1,2
Movement 2=straight Lane 2,3



- Movement state
- Movement name
- List of lane numbers in this movement
- Signal/pedestrian state
- Time to change
- Yellow state
- Yellow time to change
- Pedestrian detected/ped cnt

	Green	Yellow	Red	Flashing
Ball	0x00000001	0x00000002	0x00000004	0x00000008
Left Arrow	0x00000010	0x00000020	0x00000040	0x00000080
Right Arrow	0x00000100	0x00000200	0x00000400	0x00000800
Straight Arrow	0x00001000	0x00002000	0x00004000	0x00008000
Soft Left Arrow	0x00100000	0x00200000	0x00400000	0x00800000
Soft Right Arrow	0x01000000	0x02000000	0x04000000	0x08000000
U-Turn Arrow	0x01000000	0x02000000	0x04000000	0x08000000

Imagen 22. Mensajes específicos. SPaT

Signal Phase and Timing (SPaT).

Ofrece información de tiempo y fase semafórica a uno o más controladores. Principalmente, información del estado general del controlador, movimientos permitidos por carril, indicación de la señal, conteo de vehículos y peatones. Esta información puede anclarse a los mensajes MAP.

Mensajes de advertencia del tipo:

- **Emergency Vehicle Alert (EVA).** Mensaje de difusión de aviso a otros vehículos que un vehículo de emergencia está operando en las proximidades y es necesaria adoptar precauciones adicionales.
- **Roadside Alert (RSA).** Para emisión de alertas por circunstancias en la propia carretera.
- **Intersection Collision Avoidance (ICA).** Usa la información de otros vehículos para construir sistemas de advertencia de colisión en intersecciones.

⁵ Para más información sobre trazado de la geometría de la vía visitar. Monografías ASEPRA. Sistemas de asistencia al conductor y de gestión inteligente del tráfico.

Y mensajes orientados al intercambio de estado y corrección de posición GPS.

Signal Request / Signal Status Message (SRM/SSM). Ofrece mensajes de estado para flotas de vehículos.

Probe Messages. Recoge, almacena y envía datos de sensores a través de un segmento de carretera desde el vehículo.

National Marine Electronics Association (NMEA) Corrections, Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) Corrections. Mensajes de control para calibraciones de localización de GPS.

6.4. Protocolos de Aplicación Específicos.

- **SAE J2945.**

Dedicated Short Range Communications (DSRC) Mínimos requerimientos de rendimiento.

Cada estándar (J2945/n) puede contener un concepto distinto para operaciones, requisitos, definiciones de diálogos de información de cada nivel, diseño de formas y datos de mensajes específicos de cada interface o conjunto de aplicaciones. Entre otras define además cuan a menudo se envía un mensaje (mínimo, típico, máximo) y los requisitos mínimos de calidad.

J2945/0 Requisitos comunes DSRC (incluyendo contenidos concepto de operaciones, requisitos, intercambio de mensajes, y contenido de los mensajes)

J2945/3 – Punto de inicio para Aplicaciones centralizadas V2I

J2945/4 – Punto de inicio para aplicaciones de seguridad en intersecciones MAP/SPAT

J2945/5 – Punto de inicio para mensajes de información al viajero.

J2945/6 – Necesidades de rendimiento para control de velocidad de cruce adaptativo y pelotones de vehículos.

J2945/9 – Necesidades para comunicaciones de seguridad para usuario vulnerables.

- **SAE J3067**

Candidatos de mejora para el conjunto de mensajes (DSRC) Message Set Dictionary [SAE J2735] Usando Metodologías de Ingeniería de Sistemas, se incluyen matrices de trazabilidad entre necesidades de usuario, requisitos y diseño.

- **ISO TS 19091 Family**

Definiciones C-ITS (Cooperative ITS), para el uso de comunicaciones V2I e I2V para aplicaciones de señalización de intersecciones

Define los mensajes, estructuras de datos y elementos de datos para soportar intercambio de comunicaciones entre el equipamiento de carretera y los vehículos.

Proporciona los casos de uso, y definición de requisitos para el tipo y contenido de los mensajes. (Especifica los detalles de los mensajes SPaT, MAP, SSM y SRM.⁶)

7. Comunicación Vehículo-Infraestructura

La comunicación vehículo infraestructura, desarrollada intensamente por el gobierno estadounidense, de forma análoga a las comunicaciones V2V están basadas en tecnología de comunicación inalámbrica y tiene una orientación claramente enfocada al intercambio de información crítica de seguridad y datos de operaciones para los gestores del tráfico, con la principal finalidad de evitar accidentes pero también para cubrir otras necesidades de seguridad, movilidad y beneficios para el medio ambiente. De esta forma, la tendencia es que todos los elementos de la infraestructura se transformen hacia la infraestructura inteligente. Deben por tanto incorporarse algoritmos que usen los datos intercambiados entre vehículos y los elementos de la infraestructura para reconocer lo antes posible situaciones de alto riesgo, pudiendo advertir y alertar al conductor a través de acciones específicas. (Program, T. 2017).

7.1. Normas y protocolos

Aunque existen varias descripciones de arquitectura en diferentes documentos técnicos, básicamente el sistema mínimo V2I debe incorporar obligatoriamente los siguientes puntos:

- Equipamiento a bordo (OBU/OBE On Board Equipment)
- Unidades de Carretera (RSU)
- Canal de comunicación seguro

El OBU es el la parte del vehículo en comunicaciones V2I, compuesto normalmente por un elemento con capacidad de proceso, algún tipo de transmisor (DSRC) un GPS y las interfaces hombre/máquina (HMI). El OBUS es el que transmitirá información regularmente a otros OBUS y a las RSU cercanas, normalmente mensajes de estado que sirvan de apoyo a aplicaciones de seguridad de los vehículos cercanos así como información relativa al vehículo y posición a las RSU. Las RSU están formadas por un tipo de transmisor (DSRC/WAVE), una aplicación de proceso, la interfaz de comunicación V2I y un GPS. Intercambia información de seguridad con los OBUS cercanos, así como a través de la correspondiente red de

⁶ Desarrollado en capítulos posteriores.

comunicación intercambia datos con el resto de RSU que compongan la red (a efectos de gestión del tráfico) y con RSU cercanas a efectos de seguridad.

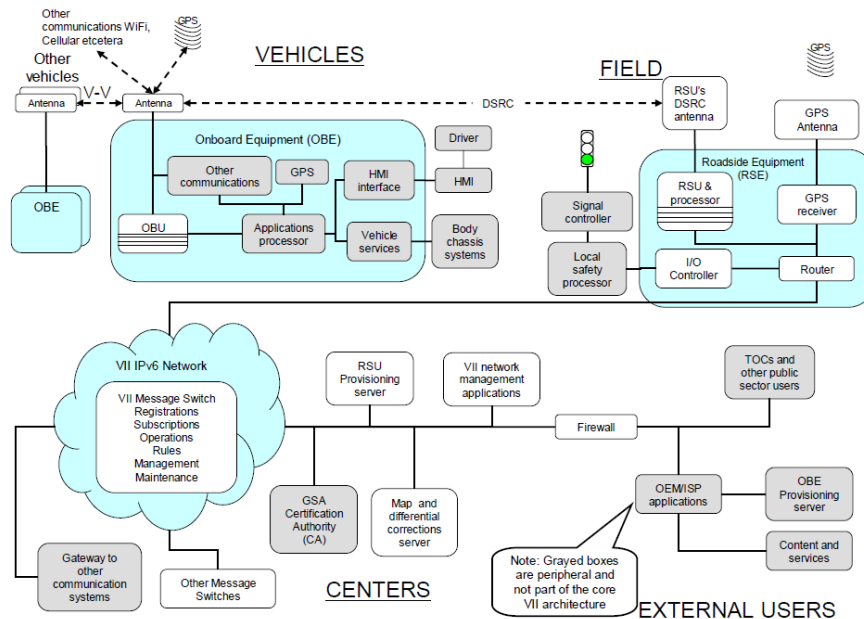


Imagen 23. Arquitectura V2I

7.2. Estado de desarrollo/momento tecnológico.

Las tecnologías de comunicación inalámbricas empleadas para V2I mantienen los mismos estándares que en comunicaciones V2V, definiéndose en la arquitectura los conceptos propios de RSU.



Imagen 24 OBU Comercial

(http://www.hhnet.com.tw/products_show_en.asp?pid=192&cat=&Page=1)

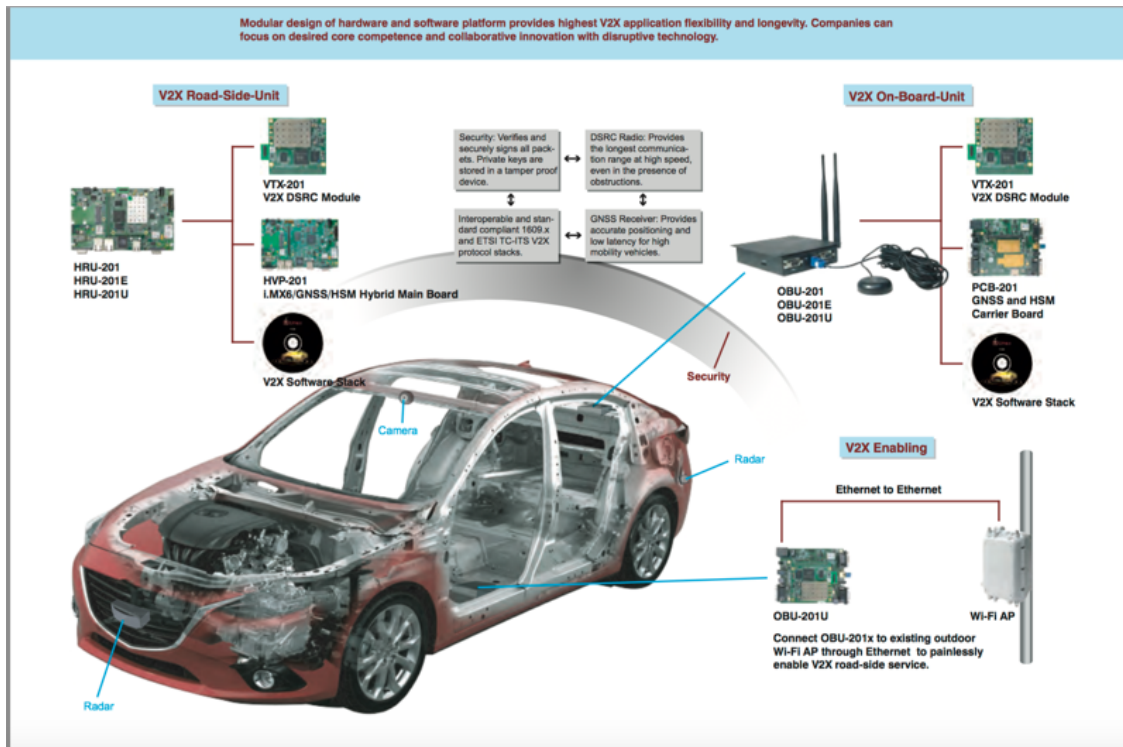


Imagen 25. Modularidad de los sistemas V2X

Además de comunicaciones DSRC, por el carácter estático de la infraestructura, en sistemas V2I se pueden establecer comunicaciones mediante:

Bluetooth.

Esta tecnología inalámbrica de comunicación provee un sistema de comunicación de corto alcance entre dispositivos heterogéneos, estableciéndose dinámicamente picoredes (redes adHoc) entre pares de dispositivos. Aunque ha sido implementado básicamente por los fabricantes de automóviles como comunicación vocal para sistemas de manos libres/audio, los sistemas BT permiten múltiples aplicaciones además de la conectividad entre iguales. Si disponemos de una cantidad suficiente de equipos con BT en modo "visible para todos" los puntos de acceso BT posicionados en carretera pueden usar esta información para mediar intensidades de tráfico en entornos controlados (en ámbito interurbano). Además, puede usarse como canal de comunicación entre el vehículo y las señales de tráfico. Actualmente varios fabricantes estadounidenses están implementando dispositivos de control de tráfico con comunicaciones BT, de forma que priorizan el transporte público en intersecciones además de facilitar cálculos de tiempos de viaje al detectarse las MAC del BT en distintas ubicaciones.

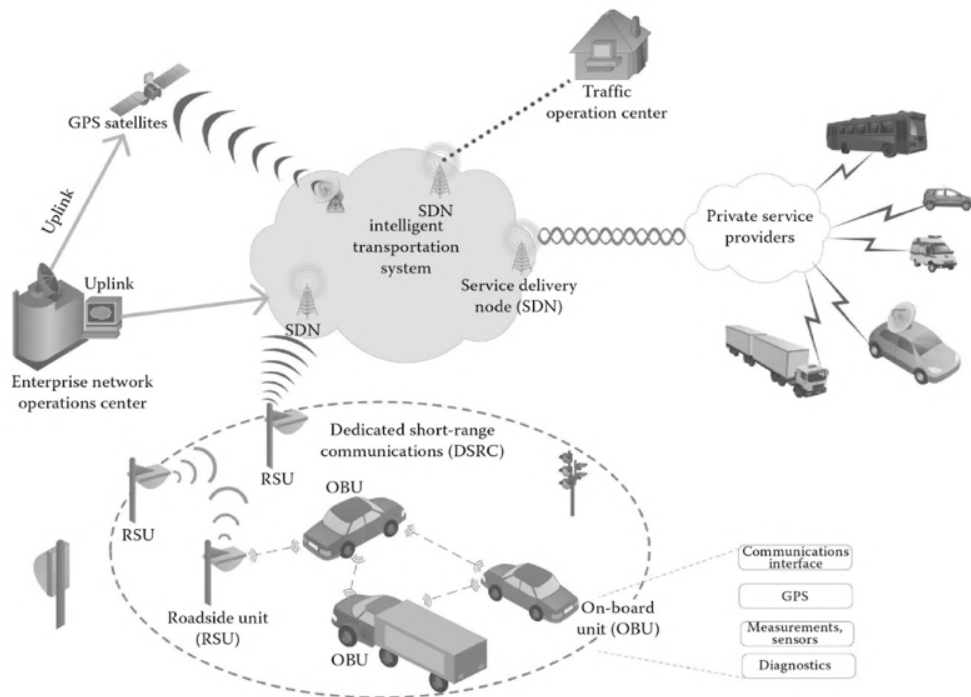
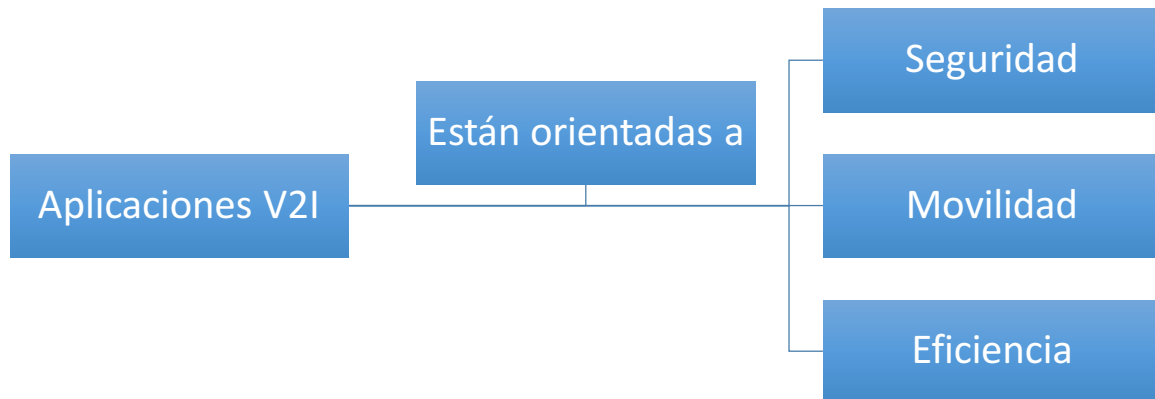


Imagen 26 Integración V2X y gestores de servicios.

WiFi/GSM/4G.

Los estándares de la familia 802.11 usan básicamente el mismo protocolo half dúplex con distintas técnicas de modulación, incluyendo en control de interferencias implementados en las familias b y g (DSSS/OFDM) . Los rangos de frecuencia en los que operan estos protocolos y su latencia y desempeño los hacen inoperativos para aplicaciones V2X y quedan relegados a aplicaciones de entretenimiento a bordo. El estándar 802.11p WAVE (DSRC) en cambio si dispone de capacidad de comunicaciones seguras entre elementos de carretera y vehículos en movimiento. De idéntica forma, las redes de telefonía inalámbrica orientadas originalmente hacia la comunicación vocal y de servicios (GSM) de bajo desempeño han evolucionado hacia redes 3G, HDSPA y 4G/LTE con anchos de banda de 100Mbps de pico de descarga y latencias del orden de los 10ms y con la evolución hacia LTE Advanced con anchos de banda de 1Gbps y latencias inferiores a los 5ms.

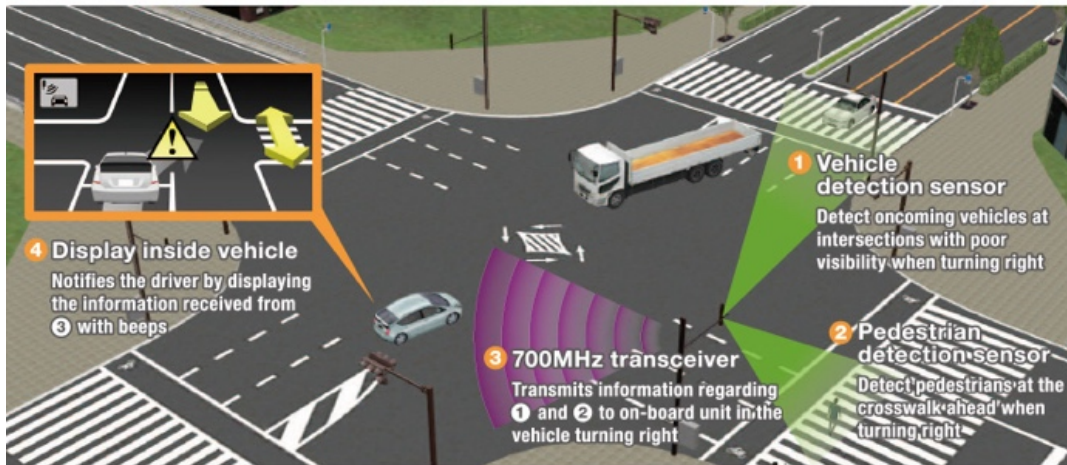


Las aplicaciones específicas V2I están orientadas a: (Rodríguez López, 2011)

Seguridad.

- Aviso de situaciones de peligro cercanas. Como puede ser aviso de curva de velocidad limitada.
- Asistencia en las incorporaciones a autovías
- Seguridad en intersecciones a nivel. Como el aviso de vehículo que no obedece la luz roja del semáforo o el aviso de peatones cruzando a una distancia cercana.
- Control de velocidad. Aviso de vehículo pesado cercano (lento)
- Vehículos de emergencia.
- Asistencia a parada en señal de STOP
- Zona de velocidad reducida.
- Avisos de carril exclusivo (BUS/TAXI)
- Aviso de FMA (Niebla, nieve, etc).

Vehicle-to-Infrastructure Communication



Right-turn collision prevention system (**1 3 4**)

Crossing pedestrian recognition enhancement system (**2 3 4**)

This service uses roadside infrastructure to detect in real time and notify the driver of oncoming vehicles and pedestrians at the crosswalk ahead when turning right.

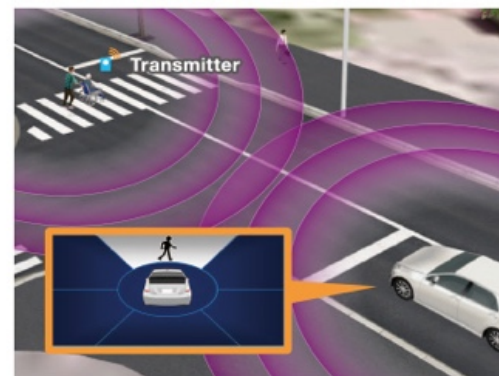
Vehicle-to-Vehicle Communication



Crossing collision prevention system

This service uses direct communication between vehicles to exchange

Vehicle-to-Pedestrian Communication



Pedestrian existence advisory system

The vehicle communicates with terminals (transmitters) which are carried by pedestrians to notify the driver of pedestrians, including children, elderly persons and other road users in

Imagen 27 Casos de Uso V2I

Movilidad

- Notificación automática de colisión (E-Call). El sistema automáticamente emite un mensaje de emergencia ante una colisión y con vehículo inutilizado.
- Datos de Vehículos para gestión del tráfico. Los datos proporcionados por los vehículos son captados por los sistemas de infraestructura, proporcionando información a los gestores para organizar estrategias para evitar la congestión.
- Notificaciones de retenciones de tráfico/Reconocimiento temprano de retenciones potenciales
- Control dinámico de semáforos/señales. Permitiendo por ejemplo a determinadas flotas de vehículos prioridad en las intersecciones.

- Navegadores inteligentes. De forma que se proporcione al usuario no solo información de la ruta, sino además densidad de tráfico, incidencias, tiempos reales de tránsito etc.
- Control de parking. Ofreciendo información de localización, tipo, precios y plazas disponibles en parking cercanos.
- Peajes de Autopistas
- Recargos por congestión-

Eficiencia

- Apoyo a la toma de decisiones en FMA. Provee a los gestores del tráfico/infraestructura de información sobre condiciones ambientales tomadas desde el vehículo y facilitar la toma de decisiones.
- Señalización inteligente. Optimiza la señalización para que los tiempos de tránsito de los vehículos minimicen las emisiones contaminantes.
- Información sobre electrolineras y oferta de movilidad para vehículos sostenibles.

8. Comunicaciones V2I en Europa.

8.1. Principales proyectos.

En Europa, la investigación en sistemas cooperativos comienza en los años 80 con el proyecto PROMETHEUS, lanzado dentro del programa de investigación EUREKA. Evidentemente el momento tecnológico no era el adecuado y no es hasta bien comenzada esta década cuando contamos con tecnología lo suficientemente madura y asentada como para que los proyectos de investigación y las implementaciones en este sentido vayan cobrando entidad propia. Entre estos proyectos podemos distinguir claramente los eminentemente orientados desde y hacia la investigación a aquellos gestados como pruebas de campo. Entre los primeros debemos destacar las iniciativas europeas COMeSafety y COMeSafety2 que han facilitado los estándares para el desarrollo de proyectos como PRE-DRIVE C2X, CVIS, SafeSpot, Coopers o GeoNet. En el segundo grupo de proyectos, más orientados hacia la implementación y las pruebas en campo, podemos destacar DRIVE C2X, FOTSIS, COMPASS4D o CO-GIS- TICS. (Jiménez Alonso & Olalla, 2014)

COMeSafety

Piedra angular del desarrollo de sistemas cooperativos, COMeSafety fue un proyecto del tipo Specific Support Activity (SSA), que dio soporte al eSafety Forum con respecto a los sistemas cooperativos ofreciendo una arquitectura de comunicación europea para ITS. En el desarrollo de esta definición participaron COOPERS, CVIS, SAFESPOT, GeoNet y Pre-Drive C2X y en cooperación con el C2C-CC, ETSI, IETF e ISO, con contribuciones de IEEE y SAE.

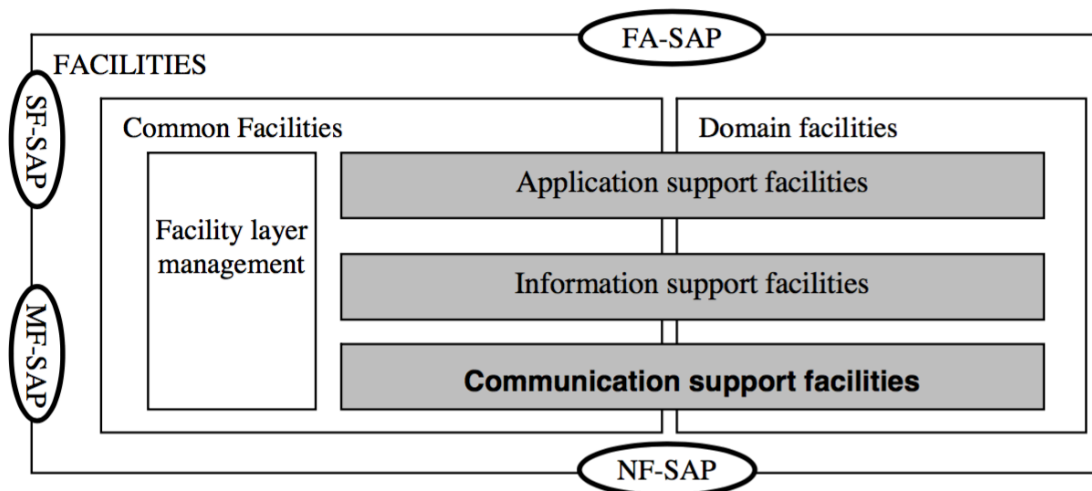


Imagen 28 Arquitectura ComeSafety

COMeSafety modela un conjunto de capas y sus Service Access Points (SAP) como interfaces de comunicación iter-agentes.

PRE-DRIVE C2X

En ejecución entre los años 2008 y 2010, PRO-DRIVE C2X tomó la base de la arquitectura definida en COMeSafety y desarrolló un sistema cooperativo para la demostración, validación funcional y evaluación con test de campo. Estos test incluían los elementos embarcados en el vehículo (OBU/E), los sistemas de carretera (RSU) y los sistemas de backend propios de la estructura ITS desplegada. En las definiciones cubiertas por PRE-DRIVE C2X se encontraban modelos de simulación y definiciones de métodos para los test de campo con tráfico real.

CVIS (Cooperative Vehicles-Infrastructure Systems)

Desarrollado entre los años 2006 y 2010 tenía como objetivo desarrollar y probar nuevas tecnologías que permitieran la comunicación entre el vehículo y cualquier elemento de carretera, principalmente pensando en aumentar la seguridad y la eficiencia de la carretera. El principal desarrollo de este programa se centró en los mapas locales dinámicos y

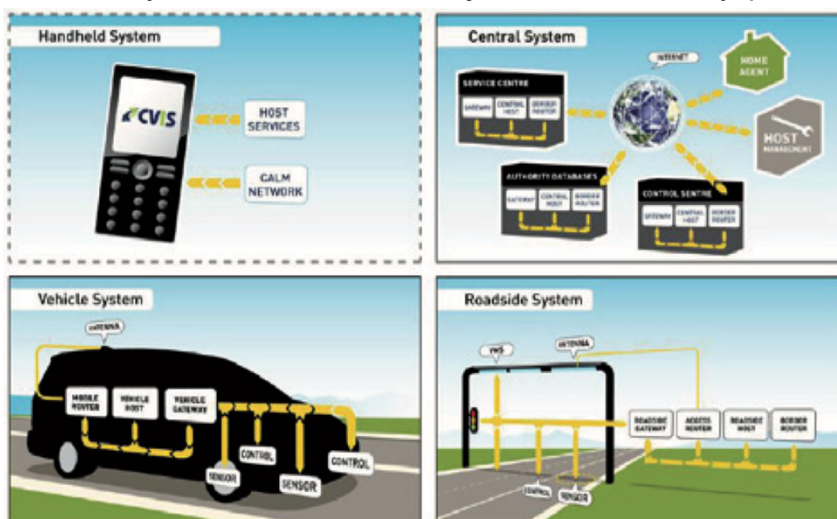


Imagen 29. CVIS Infraestructura

georeferenciados con alta precisión y la definición del sistema de información seguro para la recogida e integración de los datos.

SAFESPOT

Desarrollado entre los años 2006 y 2009, se centró en la creación de redes dinámicas cooperativas para el intercambio de información entre vehículos e infraestructura para mejorar la visión del conductor y su entorno aumentando así la seguridad vial.

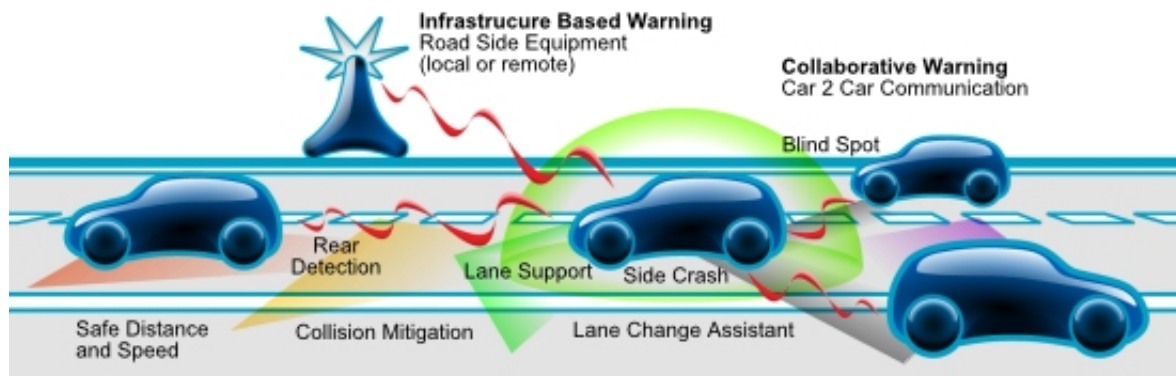


Imagen 30 Casos de estudio Safespot.

Uso de la infraestructura y los vehículos como Fuente y destino de información relativa a seguridad y desarrollar una arquitectura abierta, flexible y modular y su plataforma de comunicación.

Desarrollar las tecnologías de base, como las redes dinámicas adHoc, la precisión en la localización y los mapas dinámicos locales de tráfico.

Desarrollar un entorno de test para evaluar el impacto en seguridad vial.

Definir una estrategia de despliegue sostenible para sistemas cooperativos evaluando aspectos como estandarización, regulación y fiabilidad.

Todo el sistema cooperativo de SAFESPOT se componía de Vehículos inteligentes equipados con sistemas cooperativos embarcados, infraestructura inteligente incluyendo las RSU y Centros de Seguridad/Centro de tráfico donde centralizar la información de seguridad. (Sobre Compass4D. (2017).

Coopers (Co-operative Systems for Intelligent Road Safety)

Desarrollado entre 2006 y 2010, este proyecto liderado por Austria se centraba en zonas definidas de autopista donde se instalaron elementos de conexión Wireless entre la vía y los vehículos para la toma de datos entre ambos, centrándose especialmente en la definición, desarrollo y test de los servicios de seguridad equipamiento y aplicaciones I2V/V2I.

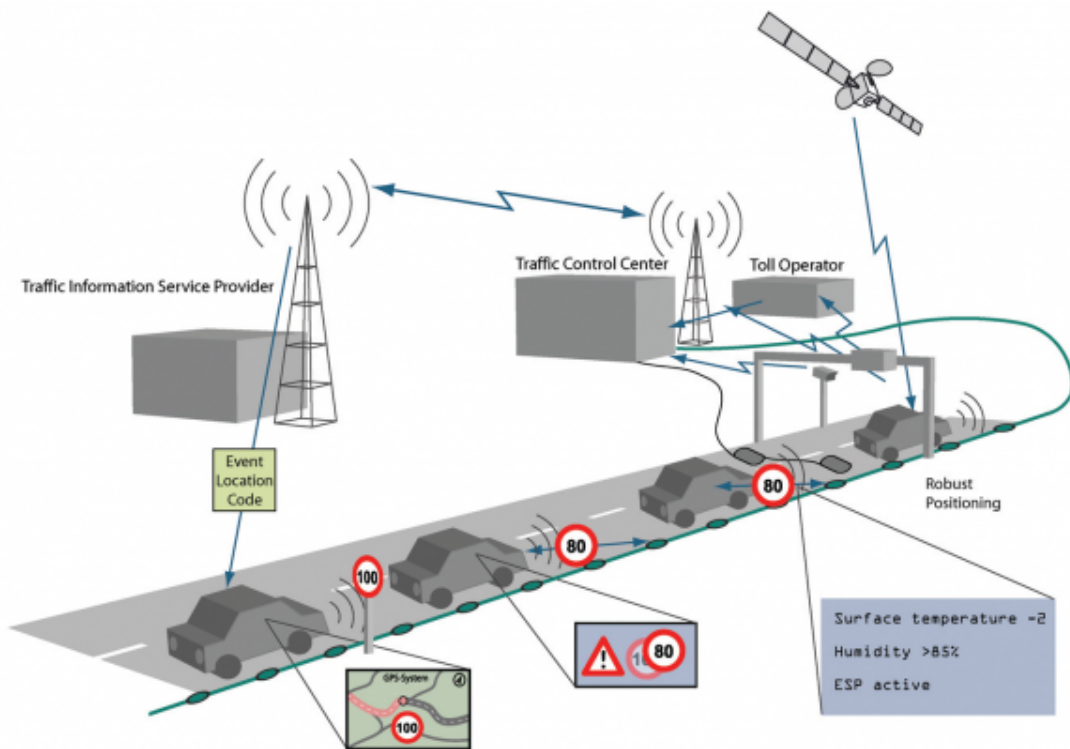


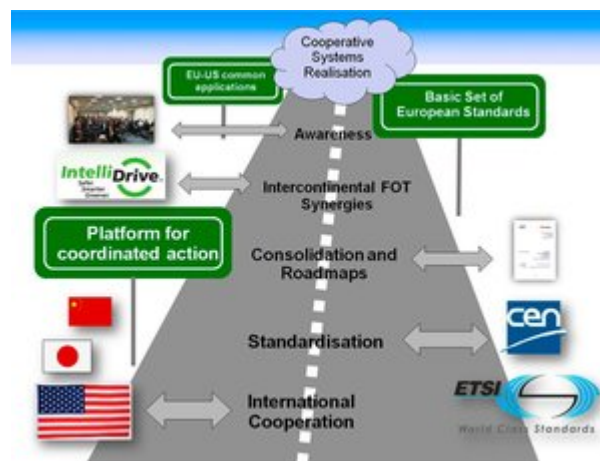
Imagen 31. Visión V2I del proyecto Coopers

GeoNet

Geonet Geographic addressing and routing for vehicular communications (GeoNet), desarrolló entre los años 2008 y 2010 dos implementaciones de referencia en protocolos de red con IPv6 para dar soporte a aplicaciones de gestión de tráfico y de información al conductor.

COMeSafety2

Continuación del proyecto COMeSafety, y desarrollado entre 2011 y 2014 trata de establecer los medios para el despliegue de los sistemas cooperativos en Europa.



DRIVE C2X

Partiendo de los resultados del proyecto PRE-DRIVE C2X, este proyecto desarrollado entre los años 2011 y 2014, se centró en la comunicación V2V y V2I, incluyendo el sistema de backend. La arquitectura del sistema se basa en la necesidad de la definición de casos de test a gran escala de forma que los resultados sean compatibles y comparables, principalmente asegurándose la compatibilidad de estos sistemas emergentes entre cada uno de los estados miembros.

Los componentes de test de DRIVE C2X son los tres pilares básicos de tecnologías V2X. El vehículo DRIVE C2X está equipado con HW IEEE 802.11p y UMTS para intercambio de datos con otros vehículos y la infraestructura. La pila del protocolo soporta comunicaciones adHoc basadas en GeoNet que permite un intercambio rápido de mensajes entre vehículos. El sistema está conectado a los sistemas propios del vehículo para la recogida de información de los sensores.



Imagen 32. OnBoard Unit del proyecto DRIVE C2X

Los sistemas de carretera (RSU) embebidos en semáforos o PMV están incluidos en la red de forma que pueden actuar como elementos repetidores o mediante conexión a Internet enviar datos a la Central. Esta Central será la encargada del proceso de los datos y remitir información relevante a los vehículos o la infraestructura.

FOTsis (European Field Operational Test on Safe, Intelligent and Sustainable Road Operation)

Mientras que el proyecto DRIVE C2X estaba más centrado en aplicaciones cooperativas desde el punto de vista del vehículo, FOTsis se centró en test de campo a gran escala sobre los sistemas de gestión de infraestructura de autopistas

necesarios para la operación de aplicaciones cooperativas I2V, V2I e I2I próximas a su puesta en producción en el mercado.

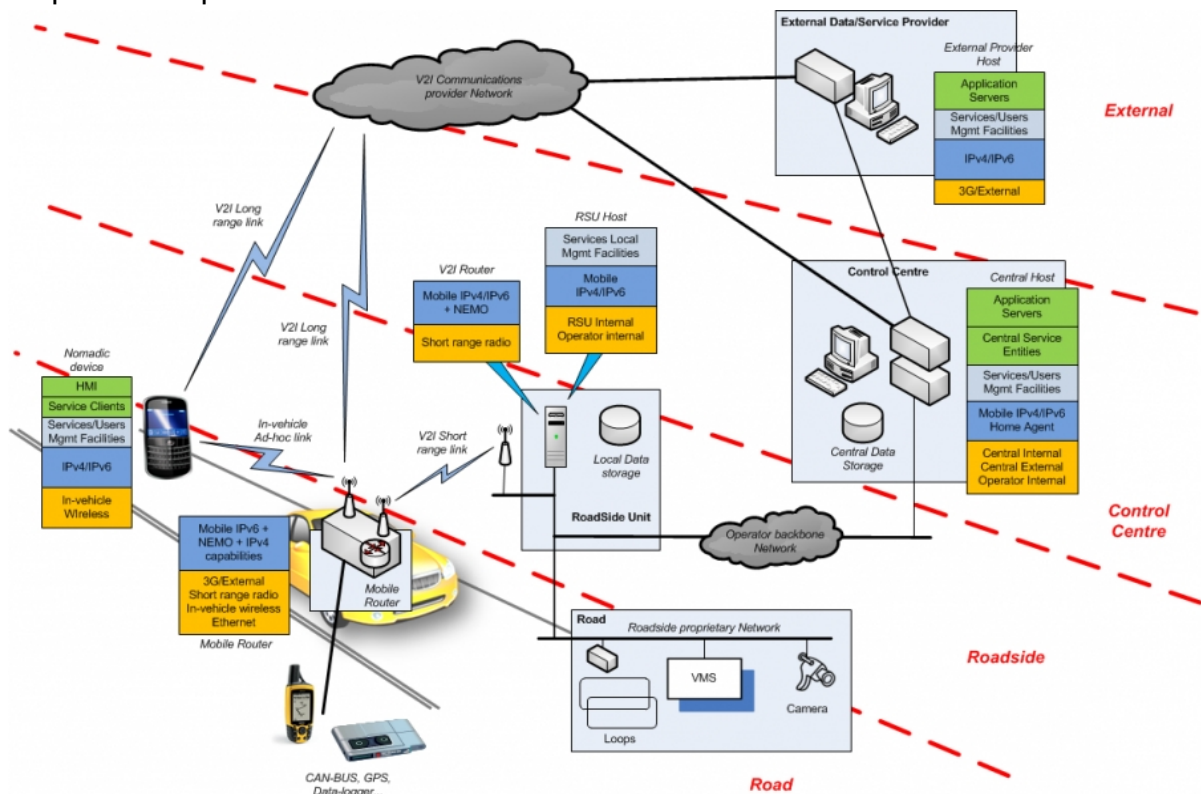


Imagen 33. Topología de actores en FOTSis

La red de comunicaciones propuesta permite conectar todo tipo de dispositivos (móviles, RSUs,...). Las comunicaciones entre la infraestructura (I2I) se basan en tecnologías ya existentes: redes IP sobre Ethernet o usando protocolos como MPLS (Multiprotocol Label Switching) que permiten garantizar la funcionalidad deseada, la calidad de servicio y la seguridad. Adicionalmente se han usado DMB (Digital Media Broadcasting) y DVB-H (Digital Video Broadcasting) para enviar información a elementos de infraestructura como, por ejemplo, los paneles informativos de la carretera.

COMPASS4D

Es un proyecto de entorno urbano que enmarca las ciudades de (Copenhague, Burdeos, Helmond, Newcastle, Tesalónica, Verona y Vigo) y proporciona tres servicios cooperativos que incrementarán la seguridad y el confort de los conductores reduciendo el número y la severidad de los accidentes de tráfico, así como mediante la optimización de la velocidad del vehículo en las intersecciones y evitando posiblemente las colas y los atascos de tráfico. Los tres servicios son: el servicio de intersecciones eficientes (IEE), la alerta de riesgo en carretera (RHW) y la alerta de violación de semáforo en rojo (RLVW). Los servicios de Compass4D tienen también un impacto positivo en el medio ambiente con la reducción de emisiones de CO2 y consumo de combustible para los vehículos equipados. (SobreCompass4D. (2017).)

A medida que el foco de Compass4D es el despliegue real, estos servicios se han implementado a través de una combinación de tecnologías establecidas y disponibilidad de equipos pre-comerciales. Se han utilizado una comunicación dedicado de corto alcance (SU-G5) y las redes celulares (3G / LTE), siguiendo las normas ETSI TC SUS. Además, Compass4D ha identificado soluciones a las barreras de implementación y elaborado modelos de negocio para hacer autosostenible los servicios para una amplia comercialización. Este trabajo incluye la cooperación con las organizaciones de normalización y socios mundiales para lograr la interoperabilidad y la armonización de los servicios.



Imagen 34. Alerta sobre Smartphone Compass4D

Compass4D ha instalado equipos e implementado servicios cooperativos en casi 300 RSU y semáforos y también en más de 600 vehículos, con más de 1200 conductores implicados en la operación de piloto.

En octubre de 2015, los socios de Compass4D decidieron continuar operando los servicios C-ITS en 2016, es decir, más allá de la vida del proyecto financiado por la UE y por lo menos durante un año, con el objetivo de pasar de piloto para el despliegue a gran escala.

CO-GISTICS

Al igual que COMPASS4D se trata de un proyecto piloto para desplegar tecnologías cooperativas en siete ciudades europeas Arad (Romania), Bordeaux (France), Bilbao (Spain), Frankfurt (Germany), Thessaloniki (Greece), Trieste (Italy) y Vigo (Spain).

Los participantes trabajan juntos para instalar y desplegar servicios cooperativos en 315 vehículos (camiones y furgones) y ofreciendo los servicios de:

- Parking inteligente para camiones y gestión de áreas de reparto
- Optimización del transporte de mercancías
- Monitorización de la huella de CO2
- Avisos de velocidad
- Soporte para conducción eficiente

El proyecto está activo desde 2014 y tiene una duración prevista de tres años.

8.2. Comunicaciones V2I en España. Proyecto SISCOGA

Dentro de nuestras fronteras, se encuentra en desarrollo el proyecto SISCOGA (Sistemas Cooperativos Galicia), un proyecto conjunto entre la Dirección General de Tráfico (DGT) y el Centro Tecnológico de automoción de Galicia (CTAG). Gracias a la infraestructura desplegada en carretera por parte de la DGT, en el año 2010 se propusieron la creación de un corredor inteligente en la zona noroeste de España, que permitiera ensayar y evaluar futuras soluciones de comunicación cooperativa entre vehículos e infraestructuras, enfocadas a la mejora de la seguridad y la eficiencia del tráfico por carretera. Con este proyecto España a formado parte de los proyectos europeos. DRIVE C2X, COMPASS4D Y CO-GISTICS cubriéndose así entornos interurbanos y urbanos (Vigo). (Sanchez, 2011).

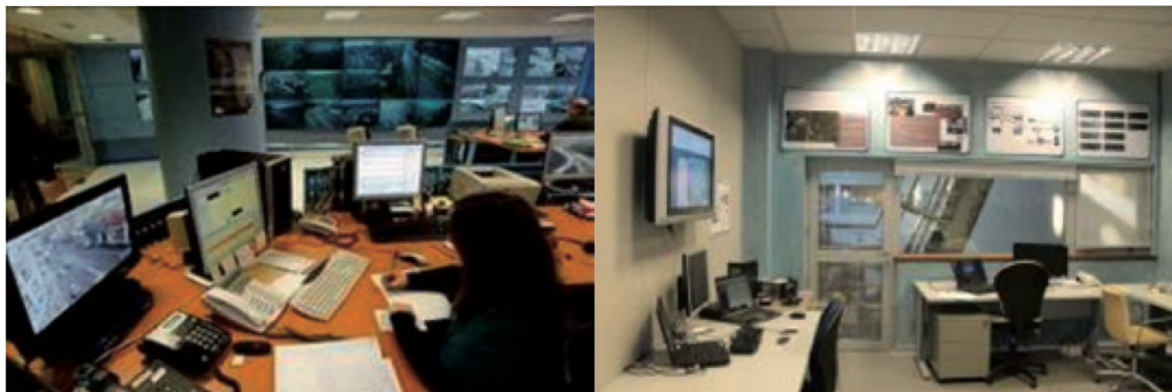


Imagen 35. Centro de Gestión y Control del Tráfico. (www.dgt.es)

Arquitectura SISCOGA.

SISCOGA presenta los elementos fundamentales de las arquitecturas V2I, una unidad vehicular (Vehicle ITS Station- VIS), una unidad de carretera (Roadside ITS Station –RIS /RSU), una Central para la recolección y procesado de la información (Central ITS Station -CIS), e introduce un nuevo actor en el sistema cooperativo el Personal ITS Station (PIS).

Un PIS representa un dispositivo móvil de consume, como puede ser un teléfono móvil o un navegador GPS, que puede ofrecer multitud de aplicaciones ITS. Típicamente estos dispositivos son personales y usan un hardware específico de comunicaciones, además pueden soportar aplicaciones cooperativas basadas en comunicaciones con otros usuarios de la carretera y con la propia infraestructura. Puede ofrecer información interna (como posicionamiento GPS) o recibida por otro agente o aplicación externa. Desde el punto de vista de SISCOGA, el PIS representa parte del equipamiento del vehículo y funciona como un elemento HMI proporcionando información al usuario

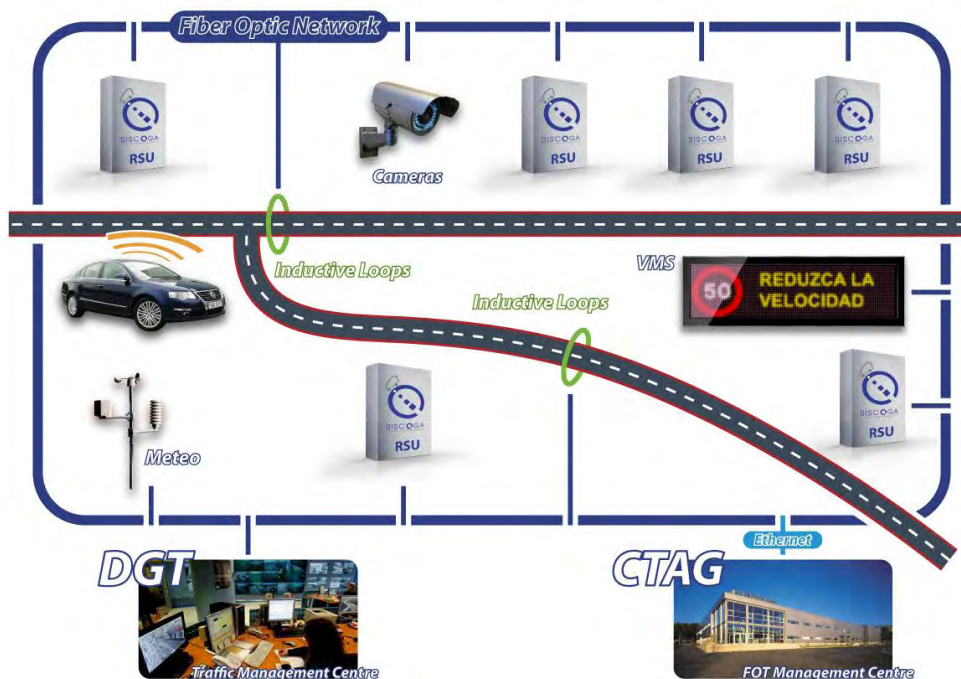


Imagen 36 Arquitectura SISCOGA

En el despliegue de test de SISCOGA se han usado 30 RSU instaladas en cabinas con acometida eléctrica y conexión ethernet y con capacidad de comunicación directa en tiempo real con el Centro de Gestión del Tráfico con acceso remoto a las RSU mediante red de FO tanto desde el Centro de Gestión del Tráfico como desde el Centro de Control del FOT en el CTAG con la recolección de los datos.



Imagen 37. Road Side Unit ERU Siscoga

Los 20 vehículos participantes están equipados con una unidad de comunicación es a bordo, un sistema de navegación con mapas, un HMI dedicado, un datalogger con capacidad GPS y UMTS. Los conductores de estos vehículos fueron escogidos al azar entre la BD de CTAG.

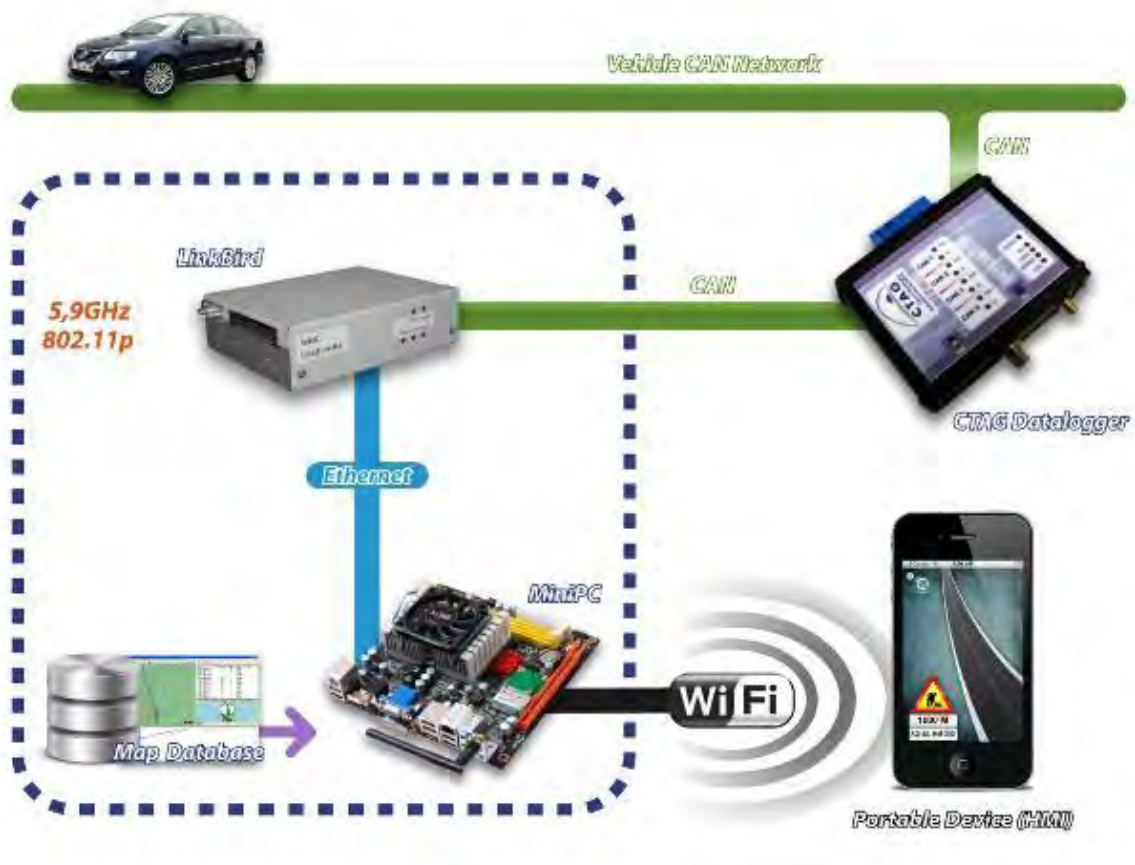


Imagen 38. Equipamiento a Bordo SISCOGA durante la fase de Testing

Tipos de mensajes.

El sistema SISCOGA se basa en el intercambio de información cooperativa, para lo que se usan cuatro tipos principales de mensajes.

Cooperative Awareness Messages (CAMs) (Mensajes cooperativos de conocimiento)

Estos mensajes ofrecen información de la presencia, posición e información de estado de las distintas bases de comunicaciones ITS que se encuentran a menos de un “salto” de distancia. Estos mensajes son compartidos entre RIS y VIS cercanos. Con el intercambio de mensajes CAMS, las estaciones ITS mantienen y comparten información del resto de los vecinos, incluyendo atributos como posición, movimiento e información de sensores.

Decentralized Environmental Notification Messages (DENMs) (Mensajes descentralizados de entorno)

Este intercambio de mensajes es usado principalmente para advertir a los usuarios de la carretera de todos esos eventos que pueden suponer una situación de riesgo como por ejemplo obras en carretera o retenciones de tráfico. Además, el intercambio de este tipo de mensajes pueden usarse para aumentar la eficiencia del tráfico, esto es, minimizando los tiempos de viaje mediante gestión de itinerarios alternativos en gestión del tráfico.

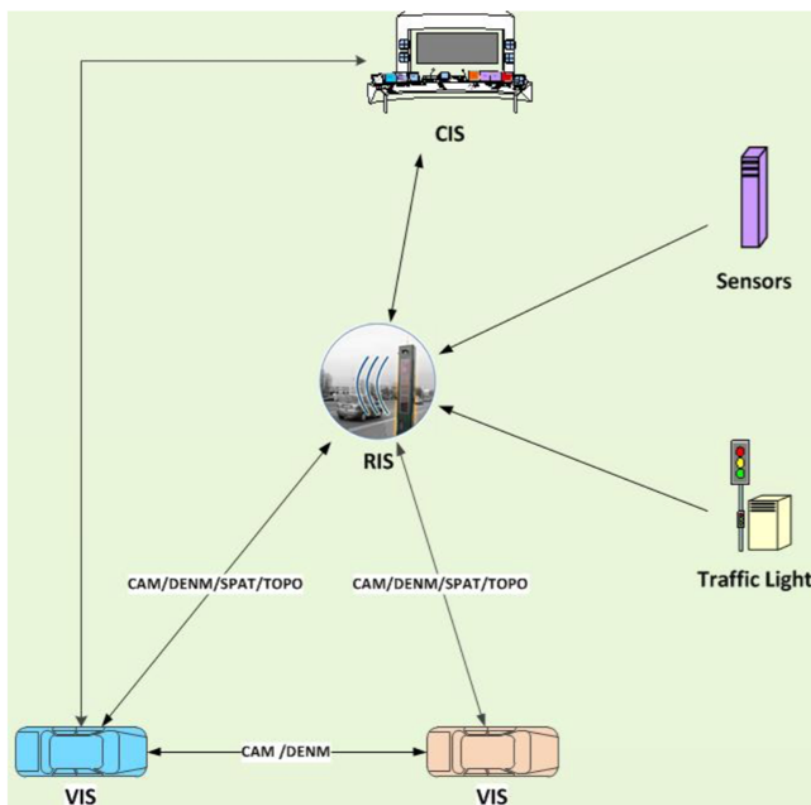


Imagen 39 Intercambio mensajes DENMs

Signal Phase And Timing (SPAT) (Fase semafórica).

Mensajes donde mediante un ID único de intersección, se ofrece información sobre el estado de la intersección, así como movimientos posibles y tiempos entre fases. Este tipo de mensajes son necesarios para los servicios orientados a regulaciones semafóricas (p.ej. priorización del transporte colectivo en intersecciones)

TOPOlogy (TOPO)

Mensaje con características geométricas de las intersecciones. Estas características incluyen posibilidades de giro, número de carriles, límites de velocidad y anchura de carriles. Esta información es generada siempre por los RIS y recibida y explotada por los VIS.

Casos de uso.

SISCOGA prevé un total de 11 casos de uso o servicios específicos para el sistema, basados principalmente en comunicaciones V2I y apoyados en los mensajes

- TRAFFIC JAM AHEAD WARNING (TJAW). Advertencia de retenciones cercanas. Cuando una retención es detectada por cualquier Sistema/sensor de calzada, el RIS emite señales de advertencia a los vehículos cercanos y muestra información en los HMI de los vehículos.
- ROAD WORKS WARNING (RWW) Advertencia de obras en calzada.
- ACCIDENT/CAR BREAKDOWN WARNING (CBW) Advertencia de accidente/Grúa de servicio cercano. En este caso, el VIS de la grúa de la asistencia es la que advierte de su presencia a los VIS/RIS cercanos, encargándose los VIS de emitir alertas aguas arriba de la incidencia.
- ADVERSE WEATHER WARNING (AWW) Advertencia de fenómenos meteorológicos adversos. En los sensores de calzada detectan cualquier dato de meteorología adversa y a través del CIS, es comunicada como advertencia a RIS/VIS de la zona afectada.
- SPEED LIMIT WARNING (SLW) Aviso de límite de velocidad. Se trata de advertencias sobre velocidades específicas de la vía, bien por trazado, bien circunstanciales por FMA, obras o como medidas de calmado de tráfico.
- C-FLOATING CAR DATA (C-FCD) Adquisición de datos mediante vehículo flotante. El uso de los sensores de los vehículos como Fuente de información valiosa para la gestión del tráfico e incidencias. A modo de ejemplo podemos pensar que si los vehículos de la zona comienzan a activar sus luces antiniebla, podemos acotar zonas de visibilidad reducida y advertir mediante mensajes AWW.
- GREEN LIGHT OPTIMAL SPEED ADVISORY (GLOSA) Advertencia de velocidad óptima de aproximación. Fundamental para la eficiencia de la conducción y minimizar la emisión de gases, trata de establecer en base a la información recibida de la intersección, la velocidad más adecuada de aproximación para evitar paradas y arrancas innecesarias
- GREEN PRIORITY (GP) Prioridad Verde. Establece fase semafórica a verde para determinados tipos de vehículos (transporte colectivo, transporte público, etc)
- RED LIGHT VIOLATION WARNING (RLVW) Advertencia de violación de fase roja. Tomando los datos proporcionados por el VIS, el Sistema emite señales de advertencia en el HMI ante la situación de peligro que puede generar la velocidad de aproximación a la intersección y violación de rojo.
- EMERGENCY VEHICLE WARNING (EVW) Advertencia de vehículo de emergencia próximo.
- OTHERS

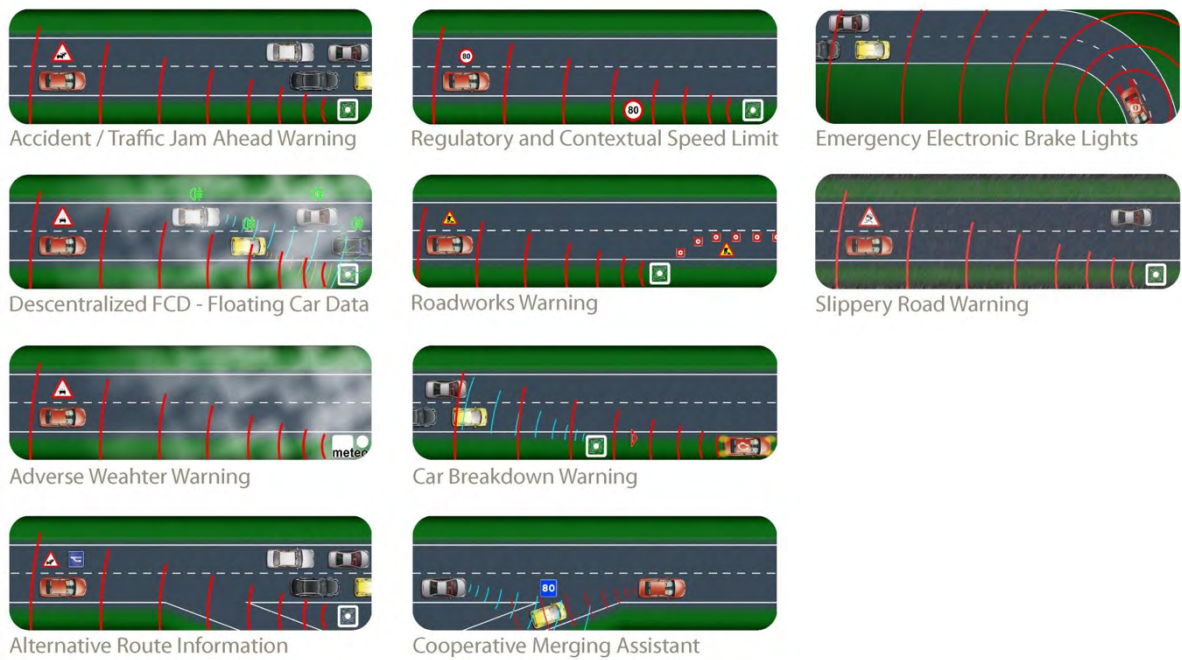


Imagen 40 Casos de uso SISCOGA

Son interesantes los casos de *green light optimal speed advisory (glosa)* y *green priority (gp)* que está especialmente orientado a la eficiencia de uso y al impacto medioambiental y no directamente asociados a las advertencias de peligro.



Despliegue y pruebas

Para la realización de las pruebas se siguió la metodología FESTA para la realización de FOTs. Las pruebas tuvieron una duración global de 12 meses: 3 meses de línea base (recogida de datos con el sistema apagado) y 9 meses de

recogida de datos en fase experimental (recogida de datos con el sistema encendido).

Línea Base			Fase Experimental								
25% del tiempo total (con el sistema desactivado)			75% del tiempo total (con el sistema activado)								
M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
N = 10 sujetos											

Durante las pruebas se registraron 4265 eventos en el corredor y se pudo llevar a cabo una primera evaluación estadística de las mejoras ofrecidas por este tipo de aplicaciones, así como de su valoración por parte de los participantes.

A nivel europeo, y en SISCOGA en concreto, se llevaron a cabo tanto pruebas en entorno controlado como pruebas en entorno naturalista, todas ellas con 20 participantes no expertos en este tipo de sistemas y tecnologías. Las funciones probadas incluían aplicaciones tanto de seguridad preventiva como de eficiencia. Los resultados (con más de 1,5 millones de kilómetros de pruebas realizadas con 200 vehículos) como a nivel nacional de cada test-site, no dejan lugar a dudas sobre la contribución significativa de los sistemas cooperativos en la mejora de la seguridad y la eficiencia del tráfico por carretera.

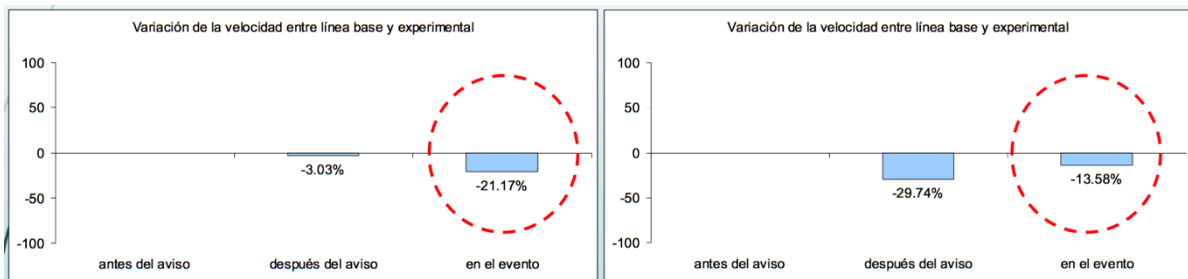


Imagen 41 Resultado de Variaciones de la velocidad en entornos reales.

8.3. Estado de desarrollo/momento tecnológico

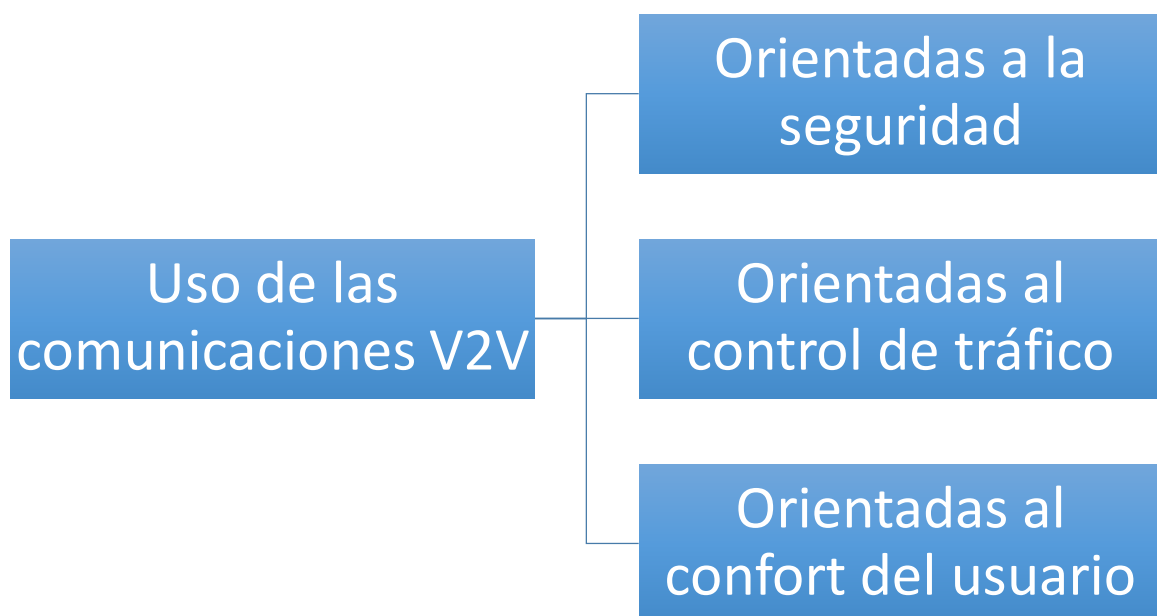
Aunque este tipo de comunicaciones han sido diseñadas para que el alcance y extensión sean importantes, hace menos de una década que se está investigando y desarrollando comunicaciones V2V, hasta la fecha tan solo se ha extendido hacia un conjunto pequeño de vehículos, que adolecen del “problema del fax” (tan solo puedes comunicarte con otro si tiene tu mismo equipamiento).

Las aplicaciones de esta tecnología pueden ser separadas en tres aspectos fundamentales:

Orientadas a seguridad. La norma americana prevé en su definición un número determinado de canales de comunicación para seguridad (aunque estas aplicaciones necesitan un componente de tiempo real que el 802.11p no puede proveer por sí mismo). La aplicación de comunicaciones V2V puede ofrecer al conductor puntos de vista del tráfico que por sí mismo no puede percibir (en situaciones de baja visibilidad pueden proveer una imagen de los vehículos que le rodean, o advertir de una retención próxima y/o actuar sobre el par freno/acelerador). Si hacemos extensibles estas comunicaciones a la infraestructura, las consideraciones de seguridad pueden conseguir que un servicio de emergencia comunique al resto de vehículos su presencia y que actúe sobre las regulaciones semafóricas para conseguir vía libre, o bien advertir a los conductores del estado de una intersección para evitar colisiones.

Orientadas a control de tráfico. La captura de datos de los vehículos por sensores específicos en la infraestructura o por su conectividad hacia otras redes, puede ayudar a los gestores del tráfico a diseñar medidas especiales para el aumento de la seguridad, para recomendar al usuario itinerarios menos congestionados y seguros o a los titulares de esas infraestructuras a estudiar las necesidades de actuaciones en la carretera.

Orientadas al confort del usuario. Aunque el guiado por vías seguras o las advertencias a la conducción aumentan el confort del conductor, las aplicaciones orientadas al usuario tienen más en común con el uso de elementos de ocio y/o accesos a Internet.



Estas aplicaciones no están cubiertas por el protocolo actual 802.11p. De hecho, los costes de los despliegues de la infraestructura necesaria para dar cobertura a las RSU son lo suficientemente elevados como para buscar alternativas de comunicaciones para ellos.

El grupo de trabajo IEEE TG 802.15.7 está trabajando sobre comunicaciones usando LED en el espectro de luz visible (LED-Enabled Visible Light Communications) y usa los leds incluidos en iluminación de las carreteras, señales de tráfico y luces de vehículos modulando sus emisiones de luz para la función que originalmente fueron definidas y para la transmisión de información. De esta forma, la tecnología LED-VLC es una muy buena candidata para la implementación de comunicaciones V2X. (Kim, J. E., Kim, J. W., Park, Y., & Kim, K. D. , 2016).

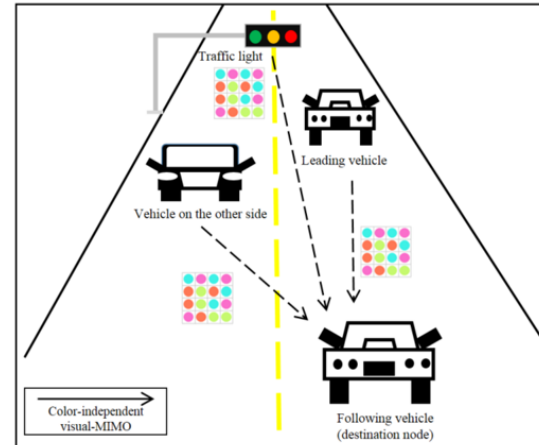


Imagen 42 Comunicaciones LED-VLC

El sistema de comunicaciones puede apoyarse en un *backbone* cableado y operado por los gestores del tráfico, de forma que dirija, coordine y controle la información que se intercambien entre los vehículos y la infraestructura. La información proporcionada al vehículo más cercano al punto de emisión (señal, semáforo, etc...) será distribuida por el resto de nodos V2V/V2I cercanos.

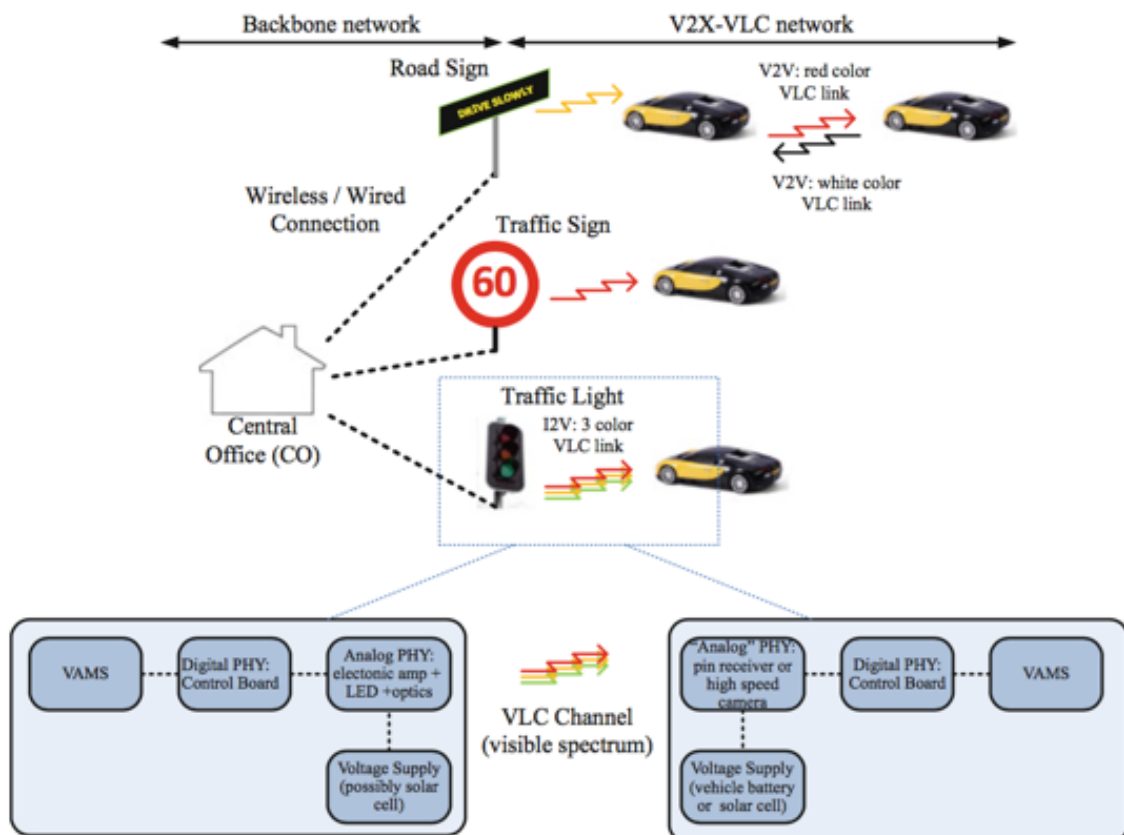


Imagen 43 Difusión de Mensajes usando VLC

Estos enlaces pueden usarse para:

- Descargar información desde los semáforos hacia los vehículos usando los tres colores del semáforo.
- Descargar información desde las señales iluminadas por led a los vehículos.
- Subir información desde los vehículos a varios puntos de acceso usando las luces delanteras de los vehículos.
- Subir y descargar información entre vehículos usando las luces delanteras y de freno (esto obliga a usar led de infrarrojos durante el día)
- Subir información desde los vehículos a los puntos de acceso usando las luces delanteras.
- Dar soporte a la toma de decisiones en los ADAS.

El uso de tecnología VLC-LED en conjunción con la infraestructura propia de los gestores de tráfico (semáforos, señales, etc...) queda relegada exclusivamente a zonas suficientemente urbanizadas con este tipo de sistemas, por lo que deben considerarse apoyo en redes de mayor extensión para la intercomunicación V2X. La actual situación en las redes de comunicaciones móviles (3.5G/4G) y un despliegue de 5G previsto para 2020 nos puede hacer pensar en las grandes telecos como *backbones* válidos para las comunicaciones V2V/V2X.

Cellular and IEEE 802.11p for C-ITS

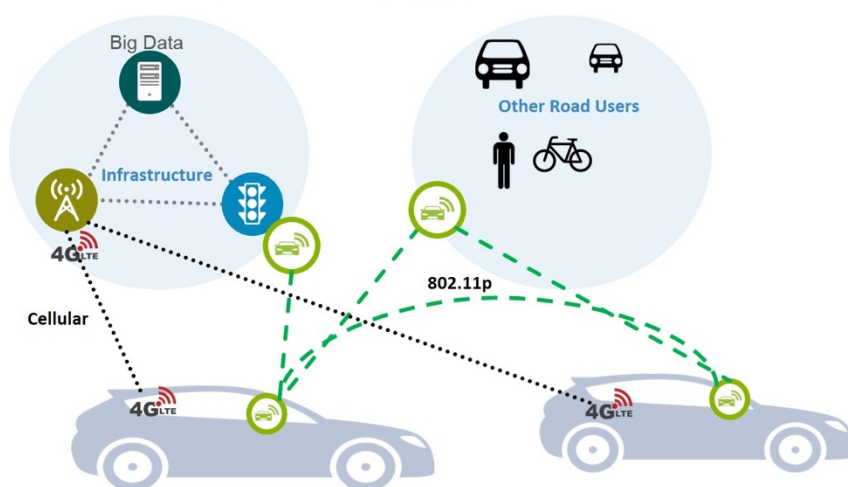


Imagen 44 Integración con otros medios de comunicación/usuarios

El uso de 4G/5G como sistema de difusión combinado con sistemas V2X basados en 802.11p permite la rápida difusión de mensajes entre infraestructura y vehículos, y la difusión 802.11p permite que la difusión a entornos cercanos no se vea restringida a tan solo a vehículos, sino a casi cualquier usuario de la carretera con capacidad 802.11p. (peatones, ciclistas, transporte urbano, etc.) Las ventajas que ofrece 5G frente a otros modos de comunicación son las comunicaciones dispositivo a dispositivo (D2D) y la baja latencia, fundamentales para el despliegue de la conducción autónoma. (“Vehicle Networks V2X communication protocols”, 2009).

8.4. Posibles escenarios.

El despliegue de las comunicaciones V2X puede dar cobertura a una serie de escenarios ADAS.

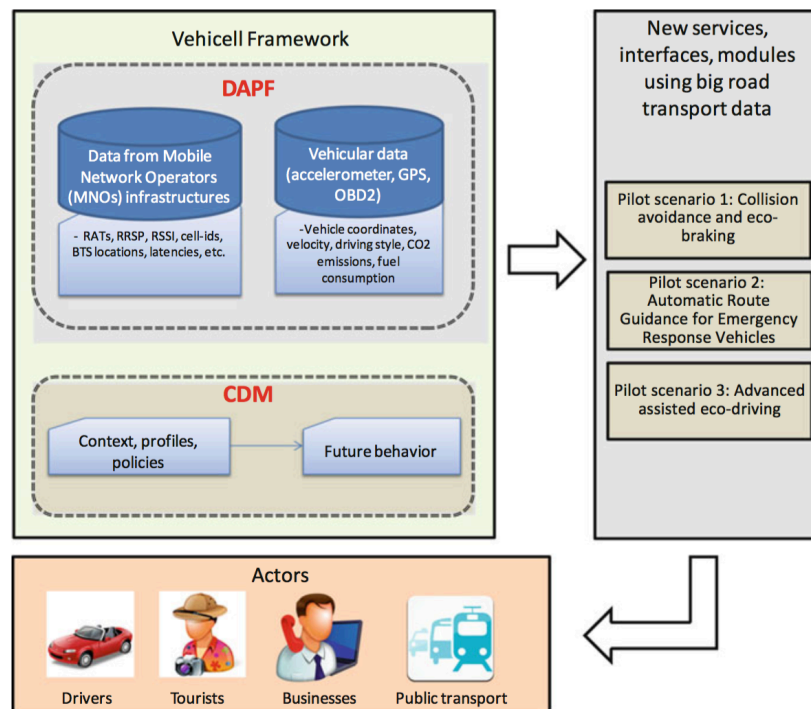


Imagen 45 Current Technologies in Vehicular Communication

Escenario 1. Advertencia de colisión. El uso de comunicaciones V2V/V2X en un entorno ampliado mediante VLC-LED / LTE/5G ofrece un importante avance en asistencia avanzada. Si un vehículo activa la asistencia al freno de emergencia (EBA) el teléfono móvil del interior del vehículo en el área de cobertura de una estación base LTE puede emitir una comunicación al vehículo posterior usando el protocolo de LTE X2AP. La latencia típica de 4G/LTE es inferior a 20ms, por lo que el vehículo posterior puede activar el sistema de frenado de forma segura. En los futuros entornos 5G y gracias a la posibilidad de comunicaciones D2D (sin necesidad de una estación base cercana) y a la baja latencia (<10ms) puede abrir el camino hacia la conducción autónoma. En caso contrario, si los sistemas de estos vehículos estuvieran bajo cobertura UMTS, la latencia típica subiría a los 60ms aún válida para ciertas aplicaciones y en el caso de cobertura GSM, la latencia típica supera los 600ms, totalmente descartables para cualquier uso en aplicaciones ADAS⁷.

⁷ El peor caso posible es el tiempo de reacción humano (1000ms)

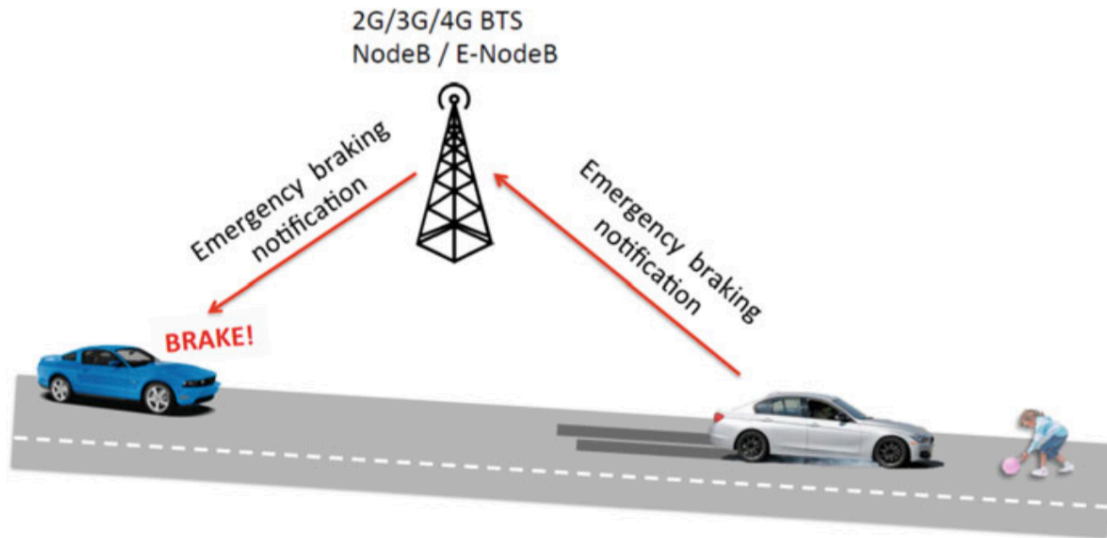


Imagen 46 Frenado ECO. (Current Technologies in Vehicular Communication)

Escenario 2. Guiado automático para vehículos de emergencias. A través de la toma de datos en tiempo real de la velocidad individual de los vehículos y la intensidad/densidad de tráfico y mediante el uso de los algoritmos adecuados, es posible el cálculo efectivo de rutas usando los tiempos reales de tránsito (y no estimaciones basadas en cálculos de espacio/tiempo o retenciones recurrentes), de forma que sea posible representar además del estado del tráfico actual, predicciones sobre las velocidades futuras teniendo en cuenta el tráfico circundante y/o las rutas más rápidas basadas en las velocidades reales y las estimadas a futuro.

Emergency Vehicle Routing

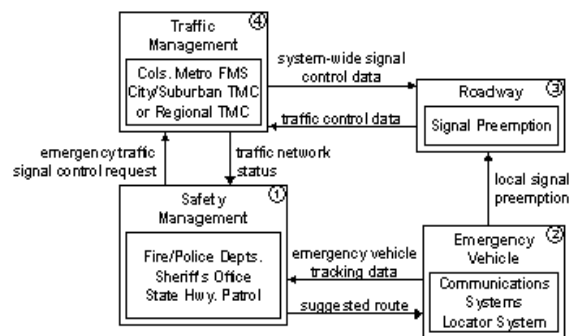


Imagen 47 . Diagrama de flujos. Guiado de Vehículos de Emergencia. https://ops.fhwa.dot.gov/its_arch_imp/its-integration-ohio/section443_4.htm

Escenario 3: Asistencia Avanzada. Conducción eficiente. La unión de los datos V2V con los datos propios de diagnósticos de a bordo (OBD-II), como pueden ser los relativos al consumo de combustible puede aportar patrones de comportamiento y ayuda a la toma de decisiones para la ruta más eficiente energéticamente (que no tienen por qué coincidir con la más corta en tiempo o distancia).

8.5. Situación actual.

El despliegue de V2V está especialmente centrado por parte de los fabricantes, y sobre todo en EEUU, donde la agencia estatal para la seguridad vial ha definido claramente un plan de acción para V2V pero ha relegado a un segundo plano V2I. Las implementaciones de V2V son más simples y sencillas de implementar a gran escala. Por el contrario, los niveles de penetración previstos son muy escasos. Las políticas siguen la estela de las políticas americanas, planteando una implementación obligatoria de capacidad DSRC en los vehículos ligeros a partir de 2016. En concreto el estado americano prevé tan solo soporte para *broadcasting* de mensajes BSM.

Las inversiones por tanto a nivel del vehículo conectado para mejorar la seguridad, movilidad y entorno quedan a expensas de encontrar otro tipo de tecnología para la recopilación de información, teniendo en cuenta que los desarrollos actuales de ITS carecen de la inter-operatividad necesaria para implementaciones a gran escala.

Aunque fueran salvados los condicionantes de políticas viales de las distintas organizaciones internacionales, nos enfrentamos a cuestiones propias de la implementación que habría que solventar.

Para que el beneficio sea real, los vehículos deben equiparse convenientemente, pues, aunque la penetración de este tipo de tecnología es muy baja en la actualidad, los fabricantes ofrecen cada vez mayor conectividad y sensorización en sus vehículos, por lo que como integradores comenzamos a enfrentarnos a que diferentes vehículos disponen de diferentes dispositivos con diferentes capacidades.

Por el contrario, el estado norteamericano sí que ha desarrollado un programa específico de test y certificación de los distintos estándares para la industria, en concreto las comunicaciones V2I, arrojan las siguientes conclusiones.

Las pruebas realizadas demuestran que el núcleo para las comunicaciones DSRC V2V/V2I funcionan, aunque existen cuestiones propias de las implementaciones WAVE/DSRC, principalmente a limitaciones del protocolo WAVE. Estas deficiencias son provocadas por el carácter móvil de los emisores frente a emisores estáticos y el ruido de otro tipo de emisiones móviles. Las futuras implementaciones de radio deben tener en cuenta incluir medidas de calidad de la señal, añadir lógica de servicio (para enlaces no balanceados) y lógica para arbitrar el servicio en múltiples RSU/E. Se han detectado también problemas en los SND (Service Delivery Nodes) debido a pérdidas de mensajes entre SND e interfaces de redes de proveedores de servicio al uso generalizado del protocolo UDP.

Para poder ofrecer información específica de seguridad en el entorno de las intersecciones es fundamental poder disponer de las geometrías de las intersecciones perfectamente actualizadas, puesto que el tamaño y forma de los

vehículos tienen un impacto muy relevantes en el momento de referenciar cada uno de los vehículos en el entorno de la intersección.

En lo relativo a la seguridad en las comunicaciones, facilitadas por la capa multinivel gestionada por el protocolo IEEE 1609.2 ofrece capacidad de servidores independientes de autorización, facilitando una estructura a escala local de servicios PKI, que ha resultado plenamente viable a pequeña escala, es necesario que se modele su rendimiento en despliegues a escala global, principalmente en lo relativo a desempeño de red, sistemas de encriptado y operaciones de verificación de firmas digitales. Relativo además a la seguridad de las comunicaciones es el tema de la privacidad, donde el protocolo en los segmentos V2V/V2I debe proveer el suficiente anonimato para que los paquetes de broadcast de un vehículo de un ciudadano privado no pueda ofrecer posibilidad de identificación ni del ciudadano ni de su vehículo.

Existe además una posibilidad de sobre-oferta de información/aplicaciones para el usuario final, por lo que es necesario establecer sistemas de filtrado de la información para que esta sea relevante para los conductores de los vehículos del entorno y exclusivamente para aquellos afectados por un determinado mensaje.

Mientras el desarrollo industrial de módulos V2I (RSU/E) puede estar bastante avanzado y con unos costes de producción bastante contenidos (procesadores Atheros/Freescale con memorias de 64MB), el despliegue de todo este equipamiento en la infraestructura se enfrenta normalmente a situaciones propias de ingeniería civil/industrial, como son la capacidad de acometida eléctrica de los puntos de instalación, los enlaces de comunicación (disponibilidad y seguridad), las cabinas de montaje y protección de este equipamiento además del proyecto/planificación del despliegue del resto de equipamiento ITS.

8.6. Estado del Arte

Las tecnologías y funciones de comunicación cooperativa, aplicadas a la seguridad preventiva y a la mejora de la eficiencia vial, están en un nivel de madurez tecnológica que permite pensar en un despliegue importante durante los próximos años. Para todo ello, resultará fundamental la implementación de soluciones estandarizadas que permitan un uso interoperable en los diferentes países europeos.

Por otra parte, en estos momentos se está produciendo un despliegue masivo en las actuales generaciones de vehículos, de sistemas de seguridad y ayuda a la conducción, basados en tecnologías de percepción del entorno como cámaras, ultrasonidos, radares o sensores láser. Esta infraestructura que comienza a estar presente en la mayoría de los vehículos, permite tener una importante base tecnológica, para dar un paso más hacia sistemas de conducción automatizada, viables y muy útiles en determinadas situaciones y escenarios: maniobras de aparcamiento, conducción en atascos o conducción en autopista (Pelotones de

vehículos). Todo ello enfocado a la eliminación del error humano en esas situaciones y por tanto, a la mejora de la seguridad y también de la eficiencia vial. A futuro, uno de los principales campos de aplicación de los sistemas cooperativos es precisamente el de la mejora de las funciones de conducción automatizada. Los beneficios completos que pueden ofrecer las tecnologías de automatización del vehículo en su entorno de conducción, se conseguirán a través de la convergencia de las tecnologías ITS cooperativas y las tecnologías de automatización, es decir, mediante la combinación de las soluciones basadas en sensores y en comunicaciones cooperativas

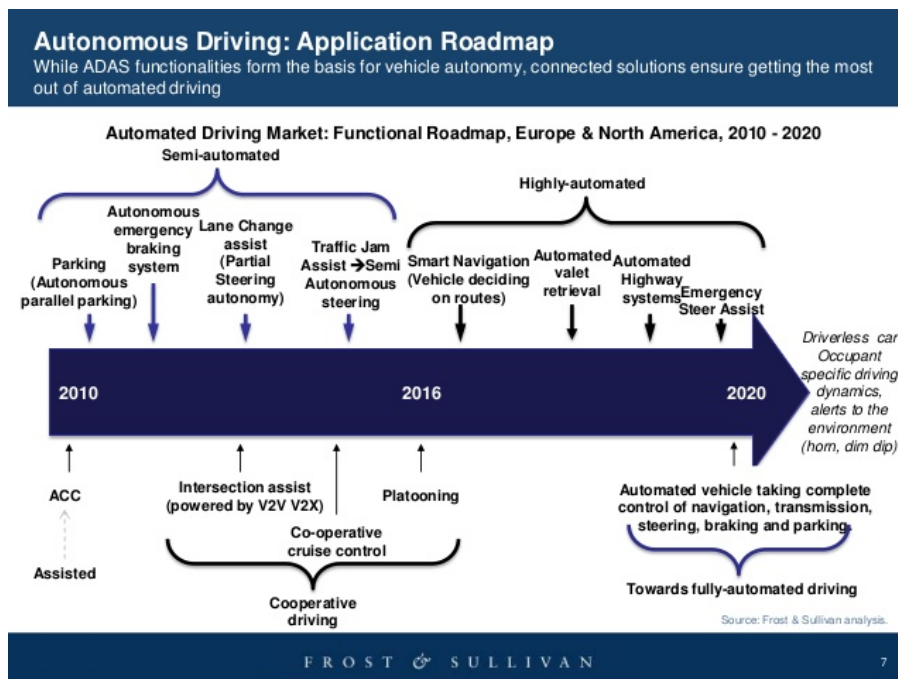


Imagen 48 Hoja de Ruta para el Vehículo Totalmente Autónomo

9. Conclusiones

Si bien es cierto que gracias al desarrollo tecnológico, y en especial los crecientes aumentos en la velocidad y fiabilidad de las comunicaciones, hablar de vehículo conectado, de asistencia a la conducción, conducción asistida o incluso conducción autónoma comienza a ser una realidad cada vez más presente en las carreteras y más alejadas de las pantallas de cine, la industria necesita orientar esfuerzos y encontrar en momento de aceptación social necesario para la penetración de este tipo de tecnología. La ingente documentación existente y el trabajo desarrollado por las distintas empresas y departamentos de todo tipo de disciplinas por el mundo parecen no encontrar el momento de despegue necesario en el entorno del primer mundo. La evolución de las comunicaciones ha despegado en el mercado de consumo con penetraciones hasta hace muy poco tiempo desconocidas para el

gran público, y junto a ellas la penetración en mercados de consumo del Internet de las Cosas (IOT) serán las piedras angulares de base sobre la que se sustentarán los sistemas embarcados en vehículos y la convergencia hacia la asistencia total y autónoma de la conducción en entornos heterogéneos⁸. Mientras ese momento se alcance, seremos testigos como la asistencia a la conducción toma poco a poco el control de nuestros vehículos y la conducción autónoma sale cada vez más de los entornos controlados y laboratorios a las calles de nuestras ciudades.

⁸ principalmente en zonas altamente urbanizadas donde la casuística del tráfico se multiplica

10. Bibliografia.

- [1]. PAIER, A., GÜNER, R. T., & BRÜCKLER, W. (2013). V2X COOPERATIVE SYSTEMS—ON THE WAY TO NEXT GENERATION ITS. PRACE NAUKOWE POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ. TRANSPORT, (95), 401-410.
- [2]. RAYA, M., & HUBAUX, J. P. (2005, SEPTEMBER). THE SECURITY OF VANETS. IN PROCEEDINGS OF THE 2ND ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON VEHICULAR AD HOC NETWORKS (PP. 93-94). ACM.
- [3]. AHMED, S. A., ARIFFIN, S. H., & FISAL, N. (2013). OVERVIEW OF WIRELESS ACCESS IN VEHICULAR ENVIRONMENT (WAVE) PROTOCOLS AND STANDARDS. INDIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, 6(7), 4994-5001.
- [4]. KHAIRNAR, V. D., & KOTECHA, K. (2013). PERFORMANCE OF VEHICLE-TO-VEHICLE COMMUNICATION USING IEEE 802.11 P IN VEHICULAR AD-HOC NETWORK ENVIRONMENT. ARXIV PREPRINT ARXIV:1304.3357.
- [5]. ITS, E. (2011). G5 STANDARD—FINAL DRAFT ETSI ES 202 663 V1. 1.0, INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS (ITS); EUROPEAN PROFILE STANDARD FOR THE PHYSICAL AND MEDIUM ACCESS CONTROL LAYER OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS OPERATING IN THE 5 GHz FREQUENCY BAND. TECHNICAL REPORT ETSI.
- [6]. KIM, J. E., KIM, J. W., PARK, Y., & KIM, K. D. (2016). COLOR-SPACE-BASED VISUAL-MIMO FOR V2X COMMUNICATION. SENSORS, 16(4), 591.
- [7]. KARGL, F., & SHIGENO, H. (2011). 2011 IEEE VEHICULAR NETWORKING CONFERENCE.
- [8]. DIMITRAKOPOULOS, G. (2016). CURRENT TECHNOLOGIES IN VEHICULAR COMMUNICATION. CHAM: SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHING.
- [9]. HIGHLY AUTOMATED VEHICLE SYSTEMS. (2014). MOGI.BME.HU. [HTTP://WWW.MOGI.BME.HU/TAMOP/JARMURENDSZEREK_IRANYITASA_ANGOL/BOOK.HTML](http://www.mogi.bme.hu/tamop/jarmurendszerek_iranyitasa_angol/book.html)
- [10]. ITS CAR-TO-CAR COMMUNICATIONS STANDARDS. (2010). NIST/CDV WORKSHOP ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS.
- [11]. JIMÉNEZ ALONSO, F., & OLALLA, R. (2014). SISTEMAS DE ASISTENCIA AL CONDUCTOR Y DE GESTIÓN INTELIGENTE DEL TRÁFICO (PP. 131, 175). [MADRID]: ASEPA.
- [12]. LTE vs. IEEE 802.11P – WHICH TECHNOLOGY TO GO FOR?. (2011). 2011 IEEE VEHICULAR NETWORKING CONFERENCE.
- [13]. PROGRAM, T. (2017). MODULE DESCRIPTIONS. I261: VEHICLE-TO-INFRASTRUCTURE (V2I) ITS STANDARDS FOR PROJECT MANAGERS. PCB.ITS.DOT.GOV. [HTTPS://WWW.PCB.ITS.DOT.GOV/STANDARDSTRAINING/MODULES.ASPX?MODULEID=68#MOD68](https://www.pcb.its.dot.gov/standardsTraining/modules.aspx?moduleid=68#mod68)

- [14]. RODRÍGUEZ LÓPEZ, B. (2011). DIALOGO VEHÍCULO AUTOVÍA. REVISTA DEL MINISTERIO DE FOMENTO, 611, 55-61.
[HTTP://WWW.FOMENTO.GOB.ES/AZ.BBMF.WEB/DOCUMENTACION/PDF/A24256.PDF](http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.WEB/DOCUMENTACION/PDF/A24256.PDF)
- [15]. SAFESPOT. (2017). SAFESPOT-EU.ORG.
[HTTP://WWW.SAFESPOT-EU.ORG/](http://www.safespot-eu.org/)
- [16]. SANCHEZ, F. (2011). SISCOGA. EN 7TH ITS CONGRESS. LYON: 7TH ITS CONGRESS. [HTTP://WWW.DRIVE-C2X.EU/PUBLICATIONS](http://www.drive-c2x.eu/publications)
- [17]. SOBRE COMPASS4D. (2017). COMPASS4D.EU.
[HTTP://WWW.COMPASS4D.EU/EN/ABOUT/SOBRE-COMPASS4D/](http://www.compass4d.eu/en/about/sobre-compass4d/)
- [18]. VEHICLE NETWORKS V2X COMMUNICATION PROTOCOLS. (2009).
WHY 802.11P BEATS LTE AND 5G FOR V2X. (2017). EE NEWS EUROPE.,
[HTTP://WWW.EE NEWS EUROPE.COM/DESIGN-CENTER/WHY-80211P-BEATS-LTE-AND-5G-V2X/PAGE/0/6](http://www.eenewseurope.com/design-center/why-80211p-beats-lte-and-5g-v2x/page/0/6)

11. Tabla de Imágenes.

Imagen 1 Escenarios de aplicación de los Sistemas Inteligentes de Transporte	9
Imagen 2 Extreme Traffic Jam. http://informedinfrastructure.com/16484/mit-study-traffic-jams-magnify-how-roads-affect-fuel-consumption/	13
Imagen 3 Alerta para Seguridad en vehículo	14
Imagen 4. Información sobre circulación (extraída de http://www.americasresources.com/sistemas-inteligentes-de-transporte/).	15
Imagen 5 Niveles de Automatización. http://www.birmingham.ac.uk/news/thebirminghambrief/items/2016/11/driving-the-revolution.aspx	16
Imagen 6 Audi Q2 Sensors. https://audi-illustrated.com	17
Imagen 7 Control de Velocidad. http://cdn2.carsizzler.com/	17
Imagen 8 Frenada de emergencia http://www.cvel.clemson.edu/auto/systems/auto-brake.html	18
Imagen 9 Despliegue de sensores. http://www.embedded.com/design/programming-languages-and-tools/4458083/Specialized-compilers-address-ADAS-needs	19
Imagen 10 Aistencia al aparcamiento. https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/driver-assistant-systems/park-assist	19
Imagen 11 Conducción en retención. https://www.audi-technology-portal.de/en/electrics-electronics/driver-assistant-systems/audi-q7-traffic-jam-assist	19
Imagen 12 Conducción autónoma. https://www.continental-corporation.com/en/products-and-innovation/innovation/automated-driving/automated-driving-10556	20
Imagen 13. Círculo de seguridad ADAS. http://www.repairerdrivennews.com/2016/10/04/safelite-bosch-announce-adas-windshield-calibration-partnership/	21
Imagen 14 Sensores Nvidia. http://www.nvidia.com/object/advanced-driver-assistance-systems.htm	21
Imagen 15. Relación entre los componente o niveles de un en un sistema de control de vehículo inteligente (extraída de ...)	23
Imagen 16 Estructura VANET	24
Imagen 17 Espectro de Frecuencias. Jiang, D. & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access	25
Imagen 18 Protocolos WAVE. Jiang, D. & Delgrossi, L. (2008). IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access	26
Imagen 19 Analogía WAVE/ISO. Lecture Vehicle Networks, Thomas Strang and Matthias Röckl, WS 2008/2009	26
Imagen 20 Diccionario de Mensajes.	29
Imagen 21 Mensajes Específicos. MAPDATA.	30
Imagen 22. Mensajes específicos. SPat	30
Imagen 23. Arquitectura V2I.....	33

Imagen 24 OBU Comercial	33
Imagen 25. Modularidad de los sistemas V2X	34
Imagen 26 Integración V2X y gestores de servicios.	35
Imagen 27 Casos de Uso V2I	37
Imagen 28 Arquitectura ComeSafety	39
Imagen 29. CVIS Infraestructura	39
Imagen 30 Casos de estudio Safespot.	40
Imagen 31. Visión V2I del proyecto Coopers	41
Imagen 32. OnBoard Unit del proyecto DRIVE C2X	42
Imagen 33. Topología de actores en FOTSis	43
Imagen 34. Alerta sobre Smartphone Compass4D	44
Imagen 35. Centro de Gestión y Control del Tráfico. (www.dgt.es)	45
Imagen 36 Arquitectura SISCOGA	46
Imagen 37. Road Side Unit ERU Siscoga	46
Imagen 38. Equipamiento a Bordo SISCOGA durante la fase de Testing	47
Imagen 39 Intercambio mensajes DENMs	48
Imagen 40 Casos de uso SISCOGA	50
Imagen 41 Resultado de Variaciones de la velocidad en entornos reales	51
Imagen 42 Comunicaciones LED-VLC	53
Imagen 43 Difusión de Mensajes usando VLC	53
Imagen 44 Integración con otros medios de comunicación/usuarios	54
Imagen 45 Current Technologies in Vehicular Communication	55
Imagen 46 Frenado ECO. (Current Technologies in Vehicular Communication)	56
Imagen 47 . Diagrama de flujos. Guiado de Vehículos de Emergencia. https://ops.fhwa.dot.gov/its_arch_imp/its-integration-ohio/section443_4.htm	56
Imagen 48 Hoja de Ruta para el Vehículo Totalmente Autónomo	59

