
Sistemas telemáticos aplicados a los sistemas de transporte inteligente

PID_00267737

Unai Hernández Jayo

Tiempo mínimo de dedicación recomendado: 3 horas



Unai Hernández Jayo

El encargo y la creación de este recurso de aprendizaje UOC han sido coordinados por el profesor: José Antonio Morán Moreno (2019)

Primera edición: septiembre 2019
© Unai Hernández Jayo
Todos los derechos reservados
© de esta edición, FUOC, 2019
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona
Realización editorial: FUOC

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño general y la cubierta, puede ser copiada, reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste eléctrico, químico, mecánico, óptico, grabación, fotocopia, o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los titulares del copyright.

Índice

Introducción.....	5
Objetivos.....	6
1. Tecnologías inalámbricas en sistemas de transporte inteligente.....	7
1.1. Sistemas de comunicaciones en el interior de los vehículos	8
1.1.1. Sistemas de comunicaciones cableados	9
1.1.2. Sistemas de comunicaciones inalámbricos	10
1.2. Sistemas de comunicaciones en el exterior de los vehículos	13
1.2.1. Sistemas tradicionales de comunicaciones	13
1.2.2. Redes VANET	16
1.2.3. Redes WLAN	16
1.2.4. DSRC y WAVE	18
1.2.5. Comunicaciones celulares C-V2X	22
1.2.6. Breve comparativa entre IEEE 802.11p y C-V2X	25
1.3. Sistemas de posicionamiento y localización de vehículos (AVLS)	28
Bibliografía.....	31

Introducción

Desplegar un sistema de comunicaciones en un entorno tan variable, debido a la movilidad de sus nodos, como el del transporte es una tarea complicada y que requiere un trabajo previo de planificación muy importante. En este contexto, las comunicaciones inalámbricas se presentan como las tecnologías clave para realizar este despliegue y conseguir así los objetivos que buscan satisfacer los sistemas de transporte inteligente. Alcanzar el potencial actual que otorga la comunicación y computación ubicua ha sido posible gracias a ambiciosos programas de investigación desarrollados en todo el mundo, como por ejemplo la iniciativa europea eSafety, los programas estadounidenses derivados de la Intelligent Vehicle Initiative y los programas japoneses InternetITS y Advanced Highway Systems (AHS).

El ámbito de los sistemas de comunicaciones inalámbricos aplicados al transporte abarca áreas de interés tales como las comunicaciones móviles, los sistemas de transporte o los sistemas de adquisición de datos del vehículo. A partir de estos componentes, se han desarrollado una serie de aplicaciones y sistemas como son las comunicaciones vehículo-vehículo (V2V), comunicaciones vehículo-infraestructura (V2I) y vehículo- persona (V2P), incluyendo implicaciones en la eficiencia del transporte y seguridad, en la electrónica de los vehículos, aspectos de responsabilidad civil o esfuerzos en la realización de estándares y asignación de espectros electromagnéticos.

De este modo, en un entorno como el transporte, en el cual existen nodos móviles como los automóviles y nodos fijos en la infraestructura, las comunicaciones inalámbricas se presentan como la tecnología clave para proporcionar aquellos servicios y aplicaciones destinados a incrementar la seguridad en la carretera y la eficiencia en el transporte, objetivos comunes a todos los STI. También repasaremos las principales tecnologías inalámbricas que actualmente se emplean en los STI y veremos qué papel desempeñan en las arquitecturas de referencia diseñadas para desplegar los servicios y aplicaciones.

Objetivos

Los contenidos de este módulo deben permitir a los alumnos alcanzar los siguientes objetivos:

1. Distinguir las diferentes tecnologías de comunicaciones inalámbricas que pueden ser empleadas en un escenario de sistemas de transporte inteligente.
2. Saber seleccionar y aplicar la tecnología o conjunto de tecnologías necesarias en cada situación sobre la base de requisitos o necesidades de la aplicación o conjunto de aplicaciones que hay que desplegar.

1. Tecnologías inalámbricas en sistemas de transporte inteligente

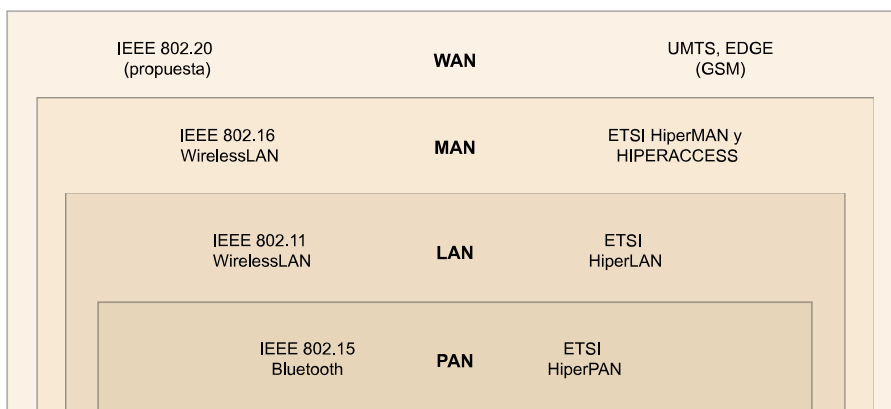
Las arquitecturas de referencia empleadas para desplegar STI tienen en común que han sido diseñadas para poder proporcionar una serie de servicios y aplicaciones enmarcadas en los STI y que para ello se emplean mayoritariamente interfaces de comunicaciones inalámbricas. Por lo tanto es necesario definir qué tecnología es la que mejor se adapta tanto al escenario en el cual se va a desplegar, como a los servicios que se quieran proporcionar.

Se debe tener en cuenta además que este tipo de sistemas deben proporcionar unas características específicas de los servicios orientados al ámbito del transporte, como por ejemplo tiempo real, conectividad entre nodos móviles, posicionamiento, direccionamiento de información a áreas y usuarios determinados, etc.

Como veremos, hay tecnologías bien conocidas y testeadas en otros ámbitos que no es el de los STI. Esto se ha debido a la necesidad de implantar en el mercado nuevas aplicaciones de una manera rápida y fiable, lo que ha propiciado que sean estas tecnologías las que se desplieguen en los STI. Aun así, algunas de ellas presentan una serie de problemas que han provocado la aparición de nuevos estándares que mejoran el rendimiento y prestaciones de estas otras interfaces inalámbricas.

Dependiendo del alcance y el ámbito de los sistemas de comunicaciones, las redes inalámbricas se pueden clasificar principalmente en cuatro grupos, tal y como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Tecnologías inalámbricas en cuanto a su alcance



Las redes denominadas *personal area network* (PAN) se despliegan en aquellos escenarios en los que se quiera proporcionar una cobertura de hasta unos 10 metros aproximadamente. Algunos ejemplos de aplicaciones basadas en este

Infotainment

En el contexto de los STI, este término hace referencia a aquella información basada en contenido multimedia destinada al entretenimiento con el objetivo de mejorar la experiencia tanto de los pasajeros como del conductor de un vehículo. Dentro de este tipo de información, el contenido característico es el la transmisión de vídeo.

Ejemplo de aplicación

Un típico ejemplo en el que se puede necesitar transmitir vídeo en el ámbito de un STI es aquella que quiera, por ejemplo, permitir que un camión/autobús disponga de una cámara de vídeo enfocando a la carretera. Si este vehículo es capaz de difundir ese vídeo a los coches que le siguen, estos tendrán más información para poder adelantarle, por ejemplo.

tipo de redes pueden ser los sistemas de pago de peajes automáticos o los actuales sistemas intravehiculares que permiten reproducir a través del sistema estéreo del vehículo la música almacenada en el teléfono móvil. Poco a poco, gracias a la extensión del uso del teléfono móvil como concentrador de servicios, se van desarrollando más aplicaciones orientadas tanto al *infotainment* como a la mejora de la seguridad de los pasajeros. Tecnologías en este radio de alcance son el Bluetooth (IEEE 802.15), ZigBee (IEEE 802.15.4) o los sistemas de identificación por radiofrecuencia más conocidos como RFID.

La *local area network* (LAN) más sencilla consiste en interconectar varios ordenadores entre sí, siendo el alcance máximo del enlace unos 200 metros. Si este link se realiza mediante una interfaz inalámbrica, estaremos hablando de *wireless local area network* (WLAN), tipología de red empleada normalmente en los STI, permitiendo así el intercambio de información entre los vehículos en movimiento, o entre estos y la infraestructura. Esta facultad de movimiento es lo que hace que las interfaces de comunicaciones inalámbricas más comunes (WiFi, por ejemplo) presenten algunos problemas a la hora de desplegarlas en STI. Por ese motivo, se han desarrollado nuevos estándares que parten de la base de WiFi para poder adaptarse a un entorno tan cambiante como puede ser una red de nodos móviles. Estamos hablando en concreto del estándar IEEE 802.11p, que analizaremos más adelante y que ha sido desarrollado a tenor de las necesidades concretas de los enlaces V2V y V2I/I2V.

Una *metropolitan area network* (MAN) es una red de banda ancha que ofrece velocidades de unos 70Mbps, lo que permite ofrecer servicios combinados de datos, voz y vídeo a alta calidad y en un área geográfica de alrededor de 48km. En los STI los enlaces basados en este tipo de redes son desplegados entre los sistemas localizados en la infraestructura donde no es posible realizar una conexión cableada de alta velocidad y es necesario enviar la información recogida por los sensores, cámaras de supervisión de tráfico o equipos de control de velocidad al sistema de control y gestión central.

1.1. Sistemas de comunicaciones en el interior de los vehículos

Las comunicaciones que se despliegan en el interior de los vehículos, también conocidas como intravehiculares son todas aquellas que permiten el intercambio de información entre los diferentes sistemas dentro del vehículo. Pueden agruparse en dos categorías:

1) **Cableadas**, que transmiten información entre todos los componentes encargados de la gestión de la conducción, seguridad y sistemas internos del vehículo.

2) **Redes inalámbricas**, que dada la menor fiabilidad de este tipo de redes, fundamentalmente en cuanto a su capacidad de transmisión en tiempo real y posibilidad de encontrar interferencias debido a que emplean bandas de transmisión libres, están dedicadas única y exclusivamente a dar servicio a sistemas

Comunicaciones intravehiculares

Las comunicaciones intravehiculares son todas aquellas que permiten el intercambio de información entre los diferentes sistemas dentro del vehículo.

de confort y multimedia, no siendo utilizadas normalmente para dar soporte a temas relacionados con seguridad. El manos libres del teléfono móvil, navegadores, sistemas de reproducción de música o vídeo son algunas de las aplicaciones más comunes.

1.1.1. Sistemas de comunicaciones cableados

Este tipo de comunicaciones transmiten información entre todos los componentes encargados de la gestión de la conducción, seguridad y sistemas internos del vehículo. Habitualmente, estos buses de comunicaciones cableados son multiplexados y se basan en tecnología CAN (*controller area network*) de Bosch, el estándar *de facto* en automoción. Derivado de este sistema son los conocidos OBD-II y EOBD (*on-board diagnostics* y *european on board diagnostics*).

OBD-II y EOBD

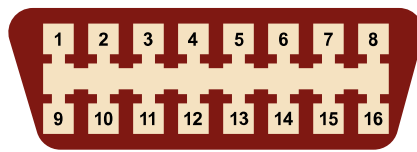
Son dos estándares (americano y europeo respectivamente) que hacen posible la monitorización y control completa del motor y otros dispositivos del vehículo.

EL sistema OBD es una herramienta de diagnóstico integrada en el propio vehículo y conectada a la *electronic control unit* (ECU), de manera que permite acceder a información de los diferentes subsistemas electrónicos y mecánicos del vehículo: gestión del motor, ABS, luces, gestión de emisiones, etc. El objetivo del OBD es monitorizar de manera continua el buen funcionamiento de todos los subsistemas gestionados. Así, en el momento en que se produce un fallo, el OBD lo detecta y puede avisar al usuario mediante un testigo instalado en el salpicadero y al mismo tiempo almacenar esta información en memoria para su posterior análisis. Su denominación EOBD II se debe a que se trata de una adaptación para Europa del sistema implantado en EE. U.U, además de tratarse de una segunda generación de sistemas de diagnóstico.

Actualmente, todos los vehículos deben incorporar este sistema debido a las directrices de la Unión Europea, de manera que, entre otras funciones, se puedan monitorizar, controlar y gestionar la emisión de gases del vehículo con el objetivo de minimizarlas. Desde enero de 2000 que entró en vigor la fase III se obliga al fabricante a incorporar un sistema de vigilancia de la contaminación provocada por el vehículo que informase al usuario de tal situación. Este sistema, encriptado, estandarizado para todos los fabricantes y que convive con el sistema de autodiagnóstico propio de la marca, es el *european on board diagnosis* (EOBD).

Tal y como decíamos anteriormente, el sistema OBD está conectado al ECU. Esta comunicación se puede implementar mediante tres protocolos básicos que presentan mínimas diferencias entre ellos. A nivel europeo, es el estándar ISO 9141 el más empleado, desarrollado de la mano de Chrysler. Por su parte, General Motors utiliza el SAE J1850 VPW y Ford el SAE J1850 PWM. Así pues, el conector estándar OBD está preparado para la lectura de datos de estos tres protocolos.

Figura 2. Terminales del conector OBD-II



1. Sin uso	5. Tierra de la señal	9. Sin uso	13. Tierra de la señal
2. J1850 Bus positivo	6. CAN High	10. J1850 Bus negativo	14. CAN Low
3. Sin uso	7. ISO 9141-2 (línea K)	11. Sin uso	15. ISO 9141-2 (línea L)
4. Tierra del vehículo	8. Sin uso	12. Sin uso	16. Batería (positivo)

Fuente: <http://www.e-auto.com.mx>

El sistema OBD, mediante el conector mostrado en la figura 2, permite acceder a las ECU de todos los fabricantes de vehículos ya que los códigos de averías que puede detectar, están también estandarizados. De este modo, OBD facilita al usuario información sobre las condiciones en las que se produjo el fallo. Los modos de prueba de diagnóstico OBDII han sido creados de forma que sean comunes a todos los vehículos de distintos fabricantes. De esta forma es indistinto tanto el vehículo que se esté chequeando como el equipo de diagnosis que se emplee, las pruebas se realizarán siempre de la misma forma.

De este modo, partiendo de un conector estándar hay multitud de aplicaciones de usuario que facilitan el acceso a toda la información proporcionada por la ECU y el sistema OBD. Algunos ejemplos son la aplicación Torque (muy usada y extendida), EOBD Facile o REV. Podéis incluir multitud de referencias de estas aplicaciones en internet.

1.1.2. Sistemas de comunicaciones inalámbricos

Entre los sistemas de comunicaciones inalámbricos empleados para el intercambio de datos en el interior del vehículos, no hay desarrollos o tecnologías diferentes a otras que puedan ser desplegadas en otros entornos o aplicaciones. Así pues, son Bluetooth, ZigBee y Ultrawideband las tecnologías comúnmente empleadas. No vamos a entrar en descripciones en detalle de estas tecnologías pues son bien conocidas, pero vamos a hacer un breve repaso de ellas.

Bluetooth

Es un estándar de comunicaciones empleado en enlaces de radio de corto alcance diseñado para reemplazar el cableado existente entre dispositivos electrónicos como teléfonos móviles, tabletas, ordenadores, y muchos otros dispositivos. Fue creado en 1998 por un *special interest group* (SIG) formado por grandes compañías en la industria de las comunicaciones como Ericsson, IBM, Intel, Toshiba y Nokia. El objetivo de este grupo era establecer la creación de una especificación de conectividad inalámbrica. Los principales objetivos que se pretendían conseguir serían los siguientes:

Conector OBD

El conector ISO 15031-3 se utiliza con el OBDII y el EOBD.

- Facilitar las comunicaciones entre equipos fijos y móviles.
- Eliminar el cableado y conectores entre ambos dispositivos.
- Crear pequeñas redes inalámbricas de forma que se puedan comunicar entre equipos personales.

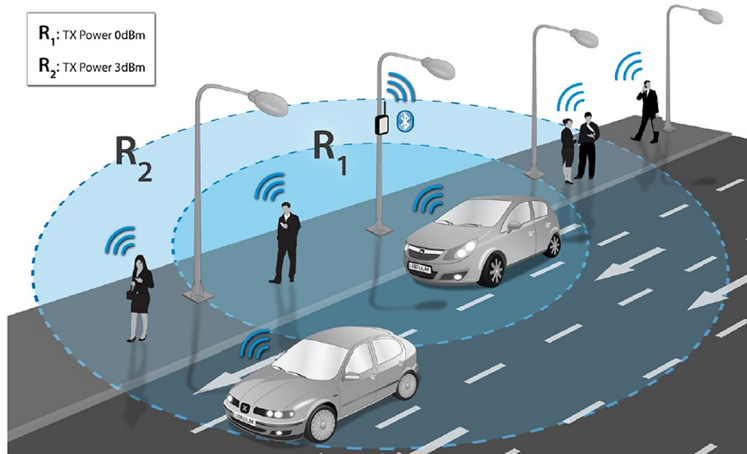
Los niveles de la capa física y la capa de enlace de datos se formalizan bajo el estándar IEEE 802.15.1 El principio de funcionamiento del estándar Bluetooth trabaja en la banda de 2.4 Ghz, utilizando una técnica de espectro ensanchado de saltos de frecuencia (FHSS), que consiste en dividir la banda operativa en la que trabaja en 79 canales, con un ancho de banda de 1 Mhz cada uno. Define una velocidad máxima hasta 1Mbps (720 kbps con alcance de 10 m) y una velocidad de transmisión aérea total de 2 a 3 Mbps en el modo mejorado de transferencia de datos.

El SIG de Bluetooth completó en 2010 la especificación del Núcleo de Bluetooth en su versión 4.0, que incluye al Bluetooth clásico, el Bluetooth de alta velocidad y los protocolos Bluetooth de bajo consumo. A este respecto, el Bluetooth de baja energía (*Bluetooth low energy* o BLE) es un subconjunto de Bluetooth v4.0 con una pila de protocolo completamente nueva que permite desarrollar rápidamente enlaces sencillos. Como alternativa a los protocolos estándar de Bluetooth que se introdujeron en Bluetooth v1.0 a v4.0 está dirigido a aplicaciones de muy baja potencia que pueden ser alimentados fácilmente con una pila de botón.

Bluetooth se ha convertido en un estándar muy extendido y común en cualquier dispositivo de electrónica de consumo. Así, las aplicaciones más comunes en el interior de vehículos en las que se usa es como manos libres del teléfono móvil, para reproducir música desde el móvil o, por ejemplo, para acceder a los datos del OBD a través de un conversor OBD-Bluetooth (puedes encontrar múltiples modelos en Amazon, Ebay, etc.).

Entre las aplicaciones novedosas de Bluetooth aplicadas al entorno de los STI, cabe destacar por ejemplo la desarrollada por Libelium, la cual está basada en el uso del manos libres de los vehículos que emplean Bluetooth para la propia identificación de los vehículos, tal y como se puede ver en la figura 3.

Figura 3. Ejemplo de uso de aplicación Bluetooth en entornos STI

Fuente: <http://www.libelium.com>

ZigBee

ZigBee se trata de un estándar de comunicaciones inalámbricas diseñado por la ZigBee Alliance, formada entre otras empresas por Motorola, Philips, Samsung, Honeywell y Siemens. Es un conjunto de soluciones estandarizadas que pueden ser implementadas por cualquier fabricante, tomando como referencia el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Este tipo de redes emplean el nivel físico y de acceso al medio (MAC) definido en el estándar de IEEE para WPAN, y en el nivel de aplicación utilizan su especificación propietaria.

Una de las características fundamentales de Zigbee es que permite varios tipos de organización de los diferentes nodos de la red, en configuraciones como maestro-esclavo y también en redes malladas, estando diseñado para operar en redes de gran densidad de nodos. Es una red totalmente autónoma, por lo que funciona con sistemas de alimentación autónomos, ya que realmente la red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar cambiar la batería interna.

Zigbee opera al igual que Bluetooth en las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EE. UU.). Proporciona una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de entre 10 y 75 metros. Aunque coexiste en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth no hay interferencia entre ellas, principalmente debido a su baja tasa de transmisión.

Entre sus aplicaciones en entornos vehiculares, cabe destacar que se usa principalmente para reportar información de sensores inalámbricos tanto a los vehículos como a la infraestructura.

Ejemplo de aplicación

Accediendo al repositorio de la University of Kent en <https://kar.kent.ac.uk> y buscando por el documento InTech2012, podréis encontrar ejemplos de aplicación de redes de sensores inalámbricos aplicadas a los STI.

Ultrawideband

Es una tecnología para la transmisión de datos que emplea técnicas que causan una difusión de la energía de radio en una banda de frecuencia muy amplia utilizando para ello una densidad muy baja espectral de potencia. Esta baja densidad espectral de potencia limita la posible interferencia con los sistemas convencionales de radio, al mismo tiempo que su alto ancho de banda puede permitir un rendimiento muy alto de transmisión de datos (como audio y vídeo) para dispositivos de comunicaciones.

Gracias al ancho de banda que UWB emplea, es posible utilizarse para transmitir vídeo e incluso otro tipo de datos digitales. Su principal ventaja respecto a otras tecnologías inalámbricas radica en el hecho de que puede transmitir más datos utilizando menos potencia que el resto de sistemas disponibles.

La Federal Communications Comision (FCC) determina que estos dispositivos deben funcionar con su ancho de banda a -10 dB de forma que las frecuencias en que se extienden van desde 3,1GHz hasta 10,6 GHz, y con una densidad espectral de potencia máxima de emisión de $-41,3$ dBm/MHz. Debido a la limitación de potencia su alcance es bastante reducido. No obstante, esta limitación no lo es en el caso de querer emplear esta tecnología en el ámbito de las comunicaciones intravehiculares.

Una de las aplicaciones más interesantes de UWB es su uso para el desarrollo de sistemas de radar orientadas a desplegar aplicaciones de seguridad activa o pasiva en los vehículos. De este modo, los UWB *short range radar* (SRR) son radares que operan a la frecuencia de 5GHz, ofreciendo una resolución de hasta 3 cm en la distancia medida.

1.2. Sistemas de comunicaciones en el exterior de los vehículos

1.2.1. Sistemas tradicionales de comunicaciones

Actualmente para el envío de información desde los subsistemas desplegados en la infraestructura al centro de gestión de tráfico existen diferentes normativas:

- UNE 135421-3:2004: Equipamiento para la señalización vial. Estaciones de toma de datos. Parte 3: Requisitos funcionales y protocolos aplicativos
- UNE 135421-3-1:2004: Equipamiento para la señalización vial. Estaciones de toma de datos. Parte 3-1: Requisitos funcionales y protocolos aplicativos. Suministro de datos instantáneos

Bibliografía recomendada

El artículo titulado *Trends in Automotive RF Wireless Applications and their Electromagnetic Spectrum Requirements* escrito por Hans Ludwig Blöcher y otros ofrece una buena introducción a estos tipos de sistemas.

- UNE 135490-1:2006: Equipamiento para la señalización vial. Intercambio de información entre centros de control zonales y el centro de centros. Parte 1: Requisitos generales
- UNE 199011: Equipamiento para la señalización vial. Estaciones remotas

Además de las normativas anteriores, entre los dispositivos pensados para ITS existen varios protocolos estandarizados, si bien uno de los más utilizados a nivel mundial es el *National Transportation Communications for Intelligent Transportation System Protocol* (NTCIP).

NTCIP es una familia de estándares diseñados para lograr la interoperabilidad y la intercomunicación entre equipos electrónicos de control de tráfico de diferentes fabricantes y los centros (o máquinas) de control. El nacimiento de este estándar data del año 1992, por lo que ya cuenta con una madurez avanzada (si bien no ha dejado de actualizarse en función de nuevas necesidades surgidas gracias al avance de las tecnologías).

Al existir diferentes tipos de equipos de distinta naturaleza, el estándar NTCIP está dividido en diferentes documentos. Estos documentos indican el protocolo y procedimientos de comunicaciones de dispositivos como:

- señales de tráfico (NTCIP 1202)
- paneles de mensaje variable / dinámico (PMV – VMS) (NTCIP 1203)
- estaciones de sensores ambientales / meteorológicos (NTCIP 1204)
- videocámaras de explotación (NTCIP 1205)
- estaciones de conteo de vehículos (ETD, aforos y básculas de pesaje) (NTCIP 1206)
- sistemas de sensores para el transporte (NTCIP 1209)
- semáforos (NTCIP 1210 y 1211)
- sistemas de alumbrado (NTCIP 1213)

Estos estándares muestran además los protocolos a seguir para comunicarse entre los sistemas anteriores o directamente con el centro de control. Por su parte, DATEX (DATa EXchange) es un estándar de intercambio de información de tráfico entre sistemas heterogéneos (CEN/TS 16157-4/5:2014). Esta información de tráfico incluye cualquier situación de tráfico que afecte o pueda afectar al viajero, desde un accidente que provoca una retención, al cierre de una estación de servicio en una autopista.

El propósito de DATEX es facilitar el correcto intercambio entre administraciones y otras entidades estableciendo modelos comunes que permitan representar la información de cualquier sistema de información de tráfico. La versión inicial (DATEX I) presentaba ciertas limitaciones relacionadas con la rigidez del modelo de datos, por lo que DATEX II aporta cuatro ventajas principales respecto a DATEX I:

- Se amplía significativamente el modelo de datos de tráfico. DATEX II ha sido elaborado minuciosamente atendiendo a las necesidades de cada país, por lo que el modelo resultante resulta muy completo.
- El modelo de datos se ha realizado de forma que facilita la extensión del mismo para adecuarlo a nuevas necesidades que puedan aparecer, tanto del modelo de datos de tráfico como de nuevos modelos de datos no directamente relacionados con el tráfico, pero que puedan aportar información valiosa: datos de tráfico, paneles de mensaje variable, cámaras, etc.
- Se añade un modelo de intercambio basado en servicios web, lo cual facilita la interoperabilidad entre distintos nodos. En DATEX I resultaba necesario acordar un protocolo de intercambio para cada par de nodos que deseaban intercambiar información.
- Orientado, además de al intercambio, a la publicación de información, lo cual permite que sectores de información de tráfico y viaje puedan participar en el escenario de difusión de información mediante este formato común.

DATEX II es considerado de especial relevancia para las aplicaciones donde la información sobre el sistema de transporte y las carreteras es dinámica. Entre sus principales áreas de uso se encuentran el reencaminamiento, gestión de red y planificación de la gestión del tráfico, los sistemas de control (como los sistemas con límite dinámico de velocidad o *ramp metering*), los enlaces de sistemas de gestión de tráfico y sistemas de información de tráfico, aplicaciones donde el intercambio de información entre vehículos individuales y centros de control de tráfico es crucial, así como aquellas donde el intercambio de datos medidos es importante, o la provisión de servicios en el marco de la gestión de carreteras.

El modelado de DATEX II se basa en el lenguaje UML, ampliamente extendido y estable. La plataforma de implementación actual para el intercambio de mensajes es el estándar W3C para definición de esquemas XML. El mapeo del modelo de datos se ha definido en las especificaciones y el usuario puede extenderlo si lo desea en función de sus aplicaciones y necesidades. Es de destacar que aunque el modelo de datos actual se mapea a XML, en el futuro podrían emplearse otras plataformas como ASN.1 exactamente de la misma manera, sin perder la interoperabilidad de las aplicaciones que están intercambiando la información

ofrecer movilidad a los usuarios minimizando de este modo las conexiones cableadas. El conjunto de tecnologías derivadas de este estándar se presenta en el ámbito del transporte como el único sistema con total disponibilidad para comunicaciones embarcadas de libre disposición.

Una funcionalidad básica de las WLAN es que al no necesitar enlaces físicos con la infraestructura, son de uso ideal en exteriores, tanto en computación portátil como en computación móvil. Por otro lado, los equipos conectados no tienen por qué estar fijos durante su utilización, sino que pueden embarcarse en cualquier vehículo y permanecer en movimiento mientras se realizan operaciones de transmisión de datos.

La especificación IEEE 802.11 forma parte de la familia de estándares para redes de área local y metropolitana de IEEE. A esta familia pertenecen todos los estándares de uso común en transmisión de datos, y se basan en la descripción de las capas física y de nivel de enlace (MAC) definidas por la International Organization for Standardization (ISO) para el sistema de referencia básico de interconexión de sistemas abiertos (OSI).

IEEE define los niveles de la arquitectura OSI físico (*physical layer*) y de nivel de enlace (*data link layer*), dividiendo este último en las capas *medium access control* (MAC) y *logical link control* (LLC). Se puede observar que todos los estándares de los protocolos de red definen de manera propietaria sus niveles OSI físico y MAC. El nivel LLC se encuentra definido en el protocolo 802.2 y es idéntica para todos los tipos de LAN.

El IEEE 802.11 – 1997 representa el primer estándar para productos WLAN del IEEE para la regulación de normas en las capas física y MAC de las tarjetas de comunicaciones para este tipo de redes. La aceptación por parte de los fabricantes de este estándar fue en su momento inmediata, ya que de esta manera se aseguró la interconectividad y compatibilidad entre cualquiera de estos dispositivos. Este estándar define el protocolo y la compatibilidad de interconexión de los equipos de comunicación de datos vía aérea, bien sea por radio a 2.4 GHz o por infrarrojos, en forma de red de área local (LAN), utilizando para compartir el medio el protocolo *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* (CSMA/CA).

La capa OSI de control de acceso al medio (MAC) soporta accesos, bien bajo el control de un punto de acceso centralizado al estilo de la telefonía móvil, bien entre estaciones independientes. El protocolo incluye los servicios de autenticación, asociación, control del consumo de energía para estaciones móviles, procedimientos de encriptación/descriptación y funciones de sincronización para transferencias de información limitadas en el tiempo. El estándar incluye la definición de la información base de mantenimiento (MIB) utilizando sintaxis abstracta (ASN.1), y la especificación formal de la capa MAC del protocolo, utilizando el lenguaje de especificación y descripción (SDL).

Este estándar contiene material acerca del estado del arte de las WLAN, y se encuentra en constante evolución. De esta forma, cada poco tiempo aparecen nuevas versiones del estándar, clarificando el material existente, corrigiendo posibles errores e incorporando nuevo material e información. La última versión de este estándar es la 802.11 rev. g – 2003, en la que se describe la interfaz de funcionamiento para WLAN a 54 Mbps.

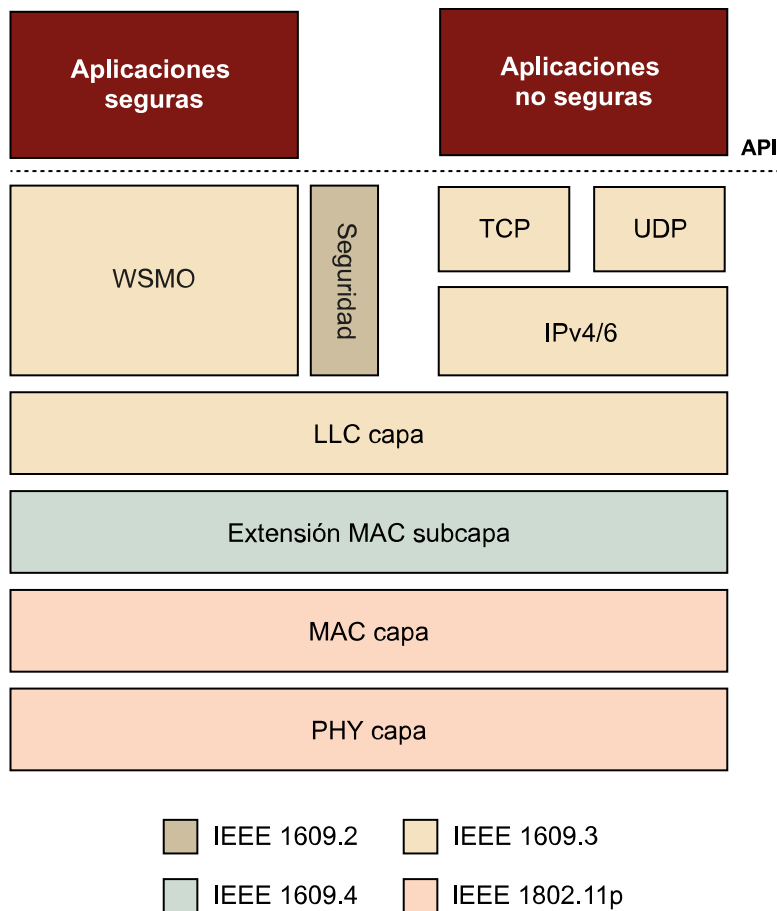
1.2.4. DSRC y WAVE

Los sistemas de comunicaciones dedicadas de corto alcance, *dedicated short range communications* (DSRC), son sistemas de transmisión de datos de corto y medio alcance que soportan operaciones de seguridad pública y privada en entornos de comunicaciones de vehículo a infraestructura y vehículo a vehículo o viceversa.

En 1999 la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) asignó 75 MHz en la banda de 5.9 GHz para el espectro DSRC. Esta banda está formada por un canal de 5 MHz y por 7 canales de 10 MHz, cada uno de los cuales está destinado a un servicio concreto.

En el año 2001, el IEEE adoptó 802.11a como la tecnología base para desarrollar el estándar IEEE 802.11p para aplicaciones DSRC. Este, como se detallará más adelante, define las especificaciones radio de la capa MAC y la capa física, mientras que las capas de comunicación superiores se definen en la familia de estándares 1609.x y juntas forman el conocido estándar WAVE (figura 5)

Figura 5. Pila de protocolos IEEE 802.11p/WAVE



De este modo podemos decir que DSRC está basado en la especificación IEEE 802.11p WAVE y se entiende como un complemento a los sistemas de comunicaciones basados en telefonía móvil, proporcionando tasas de transferencia de datos muy altas en circunstancias donde es importante minimizar los tiempos de latencia en el establecimiento de los canales y el aislamiento de zonas de comunicaciones relativamente pequeñas.

Esta tecnología tiene una estructura mixta entre el internet inalámbrico y los sistemas radio módem. Son capaces de difundir información en modo broadcast o a un usuario determinado, según las necesidades y la naturaleza de la información, integrando todos los vehículos que se encuentran cercanos en una zona reducida de terreno en una misma red, que permite el intercambio de información de forma rápida y fiable, con un tiempo mínimo de conexión a la red y sin demoras en el acceso a la información.

Como se puede observar analizando la bibliografía actual, las comunicaciones V2X generan en la actualidad un gran interés social e industrial, ya que prometen reducir drásticamente las muertes en carretera, mejorar la movilidad y permitir un alto nivel de automatización del vehículo. Por tanto, es indispensable que estas comunicaciones funcionen de forma robusta en un entorno muy dinámico con altas velocidades relativas entre transmisores y receptores,

y soporten la latencia extremadamente baja requerida por las aplicaciones relacionadas con la seguridad en autopistas rápidas, intersecciones urbanas abarrotadas y túneles.

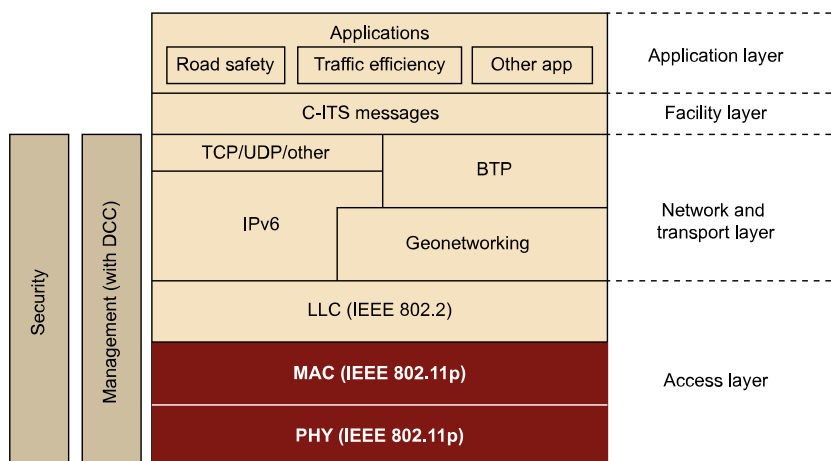
Durante años, la tecnología elegida para estas comunicaciones V2X ha sido IEEE 802.11p. Sin embargo, esto cambió en 2015 cuando el 3GPP comenzó a desarrollar el nuevo estándar de comunicaciones C-V2X que permite el despliegue de aplicaciones V2X basado en la banda ancha móvil. Dado que la seguridad de millones de usuarios de la carretera dependerá del rendimiento de estas tecnologías, es importante realizar un análisis exhaustivo de las mismas. Por tanto, en las siguientes páginas se presentan brevemente estos dos estándares junto con sus arquitecturas asociadas y se resumen sus ventajas y desventajas cuando se aplican a las sistemas de comunicaciones V2X.

IEEE 802.11p

La norma IEEE 802.11p se publicó en 2010 y, desde entonces, se han realizado múltiples pruebas en todo el mundo, incluso con miles de vehículos. Esta tecnología forma parte de la pila de protocolos de dos estándares: *wireless access in vehicular environments* (WAVE) y ITS-G5. El primero de ellos es el que se utiliza en Estados Unidos para las comunicaciones vehiculares y su pila de protocolos se mostraba previamente en la figura 6.

Por otro lado, ITS-G5, que es una versión ligeramente modificada de WAVE, es el estándar que se sigue en Europa y su pila de protocolos se corresponde con la representada en la figura 6.

Figura 6. Pila de protocolos ITS-G5



La principal diferencia entre estas dos arquitecturas de referencia radica en las capas superiores. Así, en comparación con WAVE, la pila de protocolos europea dispone de una capa de servicio situada entre la capa de red y transporte y la capa de aplicación. Se observa cómo en ambas pilas de protocolos IEEE 802.11p es la tecnología encargada de las capas inferiores de la pila, es decir,

la capa física (PHY) y la capa de control de acceso medio (MAC). Estas capas son prácticamente idénticas a excepción de las operaciones multicanal, que en WAVE se especifican mediante el estándar IEEE 1609.4, mientras que en ITS-G5 el uso de múltiples canales de frecuencia está respaldado por el mecanismo *decentralized congestion control* (DCC) integrado en el módulo de gestión. De este modo, las características técnicas más destacables de IEEE 802.11p son las siguientes:

- La capa PHY utiliza OFDM con 64 subportadoras (48 para datos, 4 para piloto y 12 para nulo).
- La separación entre canales es de 10 MHz, en lugar de 20 MHz como ocurre en 802.11a, para reducir la dispersión de retardo.
- La capa MAC adopta el mecanismo *enhanced distributed channel access* (EDCA) que hereda el acceso *carrier-sense multiple access with collision avoidance* (CSMA/CA) y lo mejora proporcionando diferentes parámetros de acceso al medio para ofrecer prioridades de servicio.
- Ofrece un modo de funcionamiento *ad hoc*, conocido como *outside the context of a BSS* (OCB), que evita el proceso de autenticación y asociación para establecer un *Basic Service Set* (BSS) y, por lo tanto, simplifica el procedimiento de configuración, para adaptarse a las aplicaciones de seguridad que requieren conexiones de corta duración y requisitos de baja latencia.

Las principales particularidades que hacen que IEEE 802.11p sea actualmente el estándar reconocido para aplicaciones C-ITS son, en principio, su fácil despliegue, bajo coste y su soporte nativo de comunicaciones V2X en modo *ad hoc*. Si a esto se le suma la gran cantidad de pruebas llevadas a cabo en escenarios reales y el gran número de dispositivos ya disponibles en el mercado, la principal ventaja de esta tecnología es que parece madura para un despliegue a gran escala. Sin embargo, IEEE 802.11p también se enfrenta a múltiples inconvenientes como son:

- El problema de escalabilidad o, en otras palabras, el posible alto nivel de errores en condiciones de tráfico denso. Este problema es causado por el uso del protocolo CSMA/CA en la capa MAC, el cual sigue un principio de escucha antes de la transmisión. Opcionalmente, cada equipo anuncia su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos. De este modo, cada vehículo escucha el canal durante un período de tiempo predeterminado. Si percibe que el canal está libre, el vehículo comenzará a transmitir; de lo contrario, el vehículo aplazará su acceso por un período de tiempo aleatorio dentro de una ventana de contención. De esta manera el rendimiento de CSMA/CA se deteriorará gravemente, generando especial preocupación por su fiabilidad en condiciones de tráfico abundante.

- La necesidad de desplegar una infraestructura de carretera formada por *road side units* (RSU), con la alta inversión que esto conlleva. Dado que la falta de infraestructura genera dificultades a la hora de garantizar ciertos niveles de servicio, la necesidad de un despliegue generalizado de infraestructura hace que se considere que IEEE 802.11p ofrece, en la actualidad, conectividad intermitente entre vehículos y dispositivos. Por lo tanto, no permite asegurar el cumplimiento de los estrictos requisitos de latencia y fiabilidad de las aplicaciones C-ITS relacionadas con la seguridad.
- La falta de planes claros para el futuro que se evidencia, por ejemplo, en el hecho de que las pila y los estándares definidos en Europa y Estados Unidos no están armonizados. Como ejemplo se puede destacar que las versiones europea y estadounidense no son compatibles. Esto es así porque en Estados Unidos, la FCC (Federal Communications Commission) ha asignado para las aplicaciones de C-ITS un ancho de banda de 75 MHz a lo largo del espectro de 5,850-5,925 GHz. Este ancho de banda total se subdivide en siete canales de 10 MHz para cada uno. En cambio, en Europa, el ancho de banda que se ha asignado a las aplicaciones C-ITS es de 50 MHz en el rango frecuencial de 5,875-5,925 GHz, el cual se subdivide en cinco canales de 10 MHz.
- La baja penetración en el mercado que origina que el despliegue de redes *ad hoc* sufra del típico problema de la gallina y el huevo, ya que se requiere un cierto número de vehículos equipados con IEEE 802.11p antes de que el enfoque sea efectivo.

1.2.5. Comunicaciones celulares C-V2X

Como se ha presentado anteriormente, algunas de las limitaciones de IEEE 802.11p se deben principalmente a tres causas:

- 1) falta de un coordinador centralizado
- 2) baja penetración en el mercado
- 3) baja escalabilidad y futuro

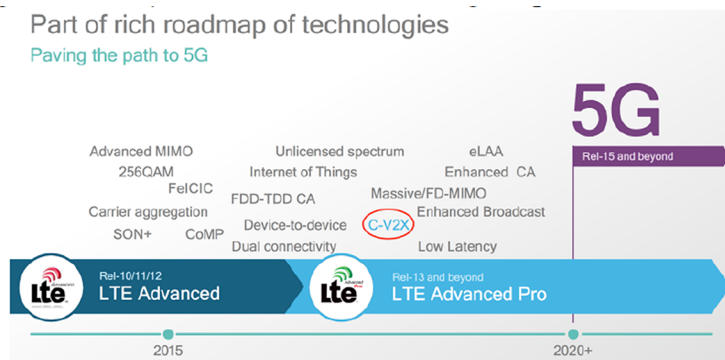
Estas limitaciones llevaron a los investigadores a pensar en el uso de las comunicaciones celulares para resolver estos problemas. Sin embargo, el LTE convencional no estaba preparado para sostener intrínsecamente las comunicaciones V2V, ya que, en un sistema celular convencional, los paquetes deben ser retransmitidos por el eNodeB. Por lo tanto, para aprovechar los puntos fuertes de ambas tecnologías, se promovió el estudio de redes heterogéneas para el soporte de aplicaciones C-ITS. En estas redes heterogéneas se utiliza IEEE 802.11p para las comunicaciones V2V y LTE para las comunicaciones con la infraestructura con el objetivo de abarcar los siguientes aspectos:

Sistema e-call

El sistema basado en telefonía móvil más utilizado en la actualidad es el e-call, ya implantado en varios países europeos y de inminente desarrollo en España.

- Explotar la naturaleza de las comunicaciones locales y de corto alcance de la mayoría de las aplicaciones C-ITS.
- Ofrecer comunicaciones con mayores capacidades de servicio en un área mayor, independientemente de que los vehículos se encuentren dentro o fuera del área de cobertura de la estación base.
- Adaptarse a las rápidamente variables topologías de red causadas por la alta movilidad de los vehículos.
- Ser compatible con los estándares de las capas de alto nivel C-ITS existentes.
- Ser beneficioso para diferentes partes: usuarios (incluyendo conductores, pasajeros, peatones, ciclistas, etc.), operadores de telecomunicaciones, vendedores de telecomunicaciones y fabricantes de automóviles.

Figura 7. Hoja de ruta de las tecnologías que conducen a 5G



Fuente: <https://www.qualcomm.com/documents/cellular-vehicle-everything-c-v2x-technologies>

A pesar de las ventajas que aportan las redes heterogéneas, todo dio un giro cuando a partir el 3GPP Release 12, LTE comenzó a implementar la funcionalidad *device-to-device* (D2D). Estas comunicaciones D2D ofrecen cuatro tipos diferentes de ganancia:

- 1) La ganancia de proximidad se origina de la alta velocidad de datos y el bajo consumo de energía de las comunicaciones D2D debido al rango de comunicación relativamente corto entre los transceptores.
- 2) La ganancia de salto, ya que cuando dos usuarios comunes (UE) en una red celular se comunican a través de un enlace D2D, solo se utilizan dos canales.
- 3) La ganancia de reutilización, que se debe al hecho de que los enlaces D2D y celulares pueden compartir simultáneamente los mismos recursos de radio.
- 4) La ganancia de emparejamiento ocasionada por la capacidad de los UE de seleccionar entre el modo de comunicación celular y D2D.

Sin embargo, el hecho de que esta tecnología no fue concebida para cumplir los estrictos requisitos de las comunicaciones V2X en términos de latencia, fiabilidad y movilidad, ha motivado a la comunidad investigadora a analizar la aplicabilidad de las técnicas D2D para comunicaciones V2V en diferentes trabajos.

Paralelamente a los estudios académicos, una comprensión similar ha prevalecido en la comunidad del 3GPP. En consecuencia, el estándar inicial C-V2X, para su inclusión en el Release 14, se completó en septiembre de 2016 durante la reunión de 3GPP RAN en Nueva Orleans. La descripción de este paquete de trabajo se encuentra en el RP-161894. Uno de los puntos clave del Release 14 es que ofrece dos modos de transmisión:

1) **Transmisión a través de la red.** Se realiza a través de la interfaz Uu y opera en la banda licenciada del espectro tradicional de banda ancha móvil.

2) **Transmisión directa.** Se realiza a través de la interfaz PC-5, que opera en la banda ITS (ITS 5.9 GHz) y es independiente de la red celular.

Además, una de las peculiaridades de C-V2X es que ofrece la posibilidad de operar sin asistencia de la red, lo que permite:

- Funcionar sin tarjeta SIM para las comunicaciones V2V directas.
- Implementar una selección autónoma de recursos, de modo que los vehículos son capaces de seleccionar los recursos que les permiten transmitir sin necesidad de soporte del eNodeB.
- Utilizan GNSS (Global Navigation Satellite System) para sincronizarse sin necesitar asistencia de la red.

Asimismo, las comunicaciones C-V2X son capaces de soportar una amplia variedad de casos de uso que requieren un mayor alcance o un mayor rendimiento de mensajes que el ofrecido hasta el momento. Esto se debe a las ventajas que aportan las características de la capa física de las comunicaciones C-V2X:

- La multiplexación de recursos puede ser FDM, lo que ofrece una mayor capacidad del enlace y, por tanto, un mayor alcance o un rendimiento más fiable en el mismo alcance.
- Las retransmisiones utilizan *hybrid automatic repeat request* (HARQ) lo que permite lograr capacidad del enlace más altos.
- La codificación turbo aumenta aún más la capacidad del enlace.

- Explota la naturaleza periódica del tráfico de V2V combinando la detección de los recursos radio con transmisiones semipersistentes *semi-persistent scheduling* (SPS).
- El acceso *single-carrier frequency-division multiplexing* (SC-FDM) permite más potencia de transmisión con el mismo amplificador de potencia, lo que conduce a un mayor alcance o un mayor rendimiento en el mismo alcance.

Así, las comunicaciones C-V2X Release 14 ofrecen ventajas clave en múltiples dimensiones:

- mayor fiabilidad a mayor alcance
- funcionamiento en escenarios de alta densidad
- organización descentralizada para reducir costes y complejidad
- reutilización de las capas superiores de WAVE y ITS-G5
- soporte a las altas velocidades de los vehículos
- evidente evolución a redes 5G

Sin embargo, las comunicaciones C-V2X también se enfrentan a diversos problemas. El más importante es el tiempo de comercialización, ya que, aunque la primera versión ya esté estandarizada en el Release 14, aún queda tiempo para que se comercialice. Además, hasta el Release 16 no serán implementadas las mejoras necesarias para ofrecer los estrictos requisitos de las comunicaciones V2V. Además de esto, no está claro cómo se gestionarán los traspasos entre distintos operadores de redes móviles ni la cooperación de estos con los proveedores de servicios de aplicaciones.

Por lo tanto, para que triunfen las comunicaciones C-V2X es necesario una alineación y colaboración entre las empresas de comunicaciones, los agentes verticales y los organismos reguladores para la definición de normas que aseguren el éxito de la seguridad y la eficiencia de los vehículos

1.2.6. Breve comparativa entre IEEE 802.11p y C-V2X

Tras presentar las capacidades y limitaciones de IEEE 802.11p y C-V2X, en este subapartado se realiza un profundo análisis comparativo de ellas. Para comenzar el análisis, en la tabla 1 se comparan distintas características del diseño radio de las tecnologías. Con respecto a la sincronización se observa que IEEE 802.11p es asíncrona y, en cambio, C-V2X es una tecnología síncrona, lo que ofrece una mayor eficiencia espectral ya que se genera menos sobrecarga a la hora de acceder a la red.

Analizando el ancho de canal y las modulaciones soportadas, IEEE 802.11p y C-V2X Rel-14 tienen las mismas características, sin embargo, está planificado ofrecer más posibilidades para futuros estándares. Por otro lado, comparando

la multiplexación de recursos, la codificación, las retransmisiones y la forma de la onda se puede concluir que C-V2X es capaz de ofrecer un mayor alcance de servicio, o un mayor rendimiento para el mismo alcance que IEEE 802.11p

Asimismo, el hecho de que C-V2X sea capaz de ofrecer SPS hace que se optimice la asignación de recursos en las aplicaciones C-ITS de naturaleza periódica, como es el caso de la mayoría de aplicaciones de seguridad. Por último, el estándar IEEE 802.11p no contempla el uso de *multiple input multiple output* (MIMO), mientras que C-V2X sí, lo que le permite ofrecer una eficiencia espectral mayor.

Tabla 1. IEEE 802.11p vs C-V2X: características radio

Características radio	IEEE 802.11p	C-V2X Rel-14/15	C-V2X Rel-16 (previsto)
Sincronización	10/20 MHz	Rel-14 - 10/20 MHz Rel-15 - Nx20 MHz	10/20 MHz y banda ancha (¿40MHz)
Multiplexación de recursos entre vehículos	Solo TDM	TDM y FDM	TDM
Codificación de datos	Convolutional	Turbo	LDPC
Retransmisión HARQ	No	Rel-14/15 - sí Rel-15 - posible Comunicación ultrafiable	Sí, con comunicación ultra-fiable
Forma de onda	OFDM	SC-FDM	Posiblemente OFDMA pero hay muchas opciones posible
Selección de recursos	CSMA-CA	Transmisión semipersistente con <i>listen-before-talk</i> en el dominio de la frecuencia	Muchas opciones disponibles
Soporte de MIMO	Soporte no estandarizado	Diversidad en recepción con dos antenas Diversidad en transmisión con dos antenas (posible)	Soporta hasta ocho antenas en tx/rx Obligatorio dos antenas en tx/rx
Modulación	Hasta 64QAM	Hasta 64 QAM	Hasta 256QAM

Tras analizar las características radio, en la tabla 2 se compara el funcionamiento técnico. Esta tabla muestra que a diferencia de C-V2X, el estándar IEEE 802.11p está finalizado y, por tanto, listo para comercializarse. También presenta que ambas tecnologías cumplen los requisitos de latencia de las aplicaciones C-ITS, sin embargo, pronostica que los retardos ofrecidos por las tecnologías C-V2X serán inferiores a los brindados por IEEE 802.11p. Además, evidencia las limitaciones de IEEE 802.11p en las comunicaciones V2I/I2V ya que es indispensable el despliegue de una red de RSU, con su correspondiente inversión económica. Asimismo, la tabla refleja que ambas tecnologías funcionan sin asistencia de la red y lo hacen en el espectro ITS de 5,9 GHz. Por último, muestra una característica crítica de IEEE 802.11p que es la falta de un camino de evolución clara para el futuro que le permita competir con 5G.

Tabla 2. IEEE 802.11p vs C-V2X: funcionamiento tecnológico

Funcionamiento tecnológico	IEEE 802.11p	C-V2X Rel-14/15	C-V2X Rel-16 (previsto)
Especificación completa	Completa	Rel-14 completo Rel-15 (2018)	2019
Comunicaciones directas de baja latencia	Sí	Sí (Rel-14 4ms)	Sí (1ms)
Comunicaciones con la infraestructura	Sí	Sí	Sí
Funcionamiento sin asistencia de la red	Sí	Sí	Sí
Funcionamiento en el espectro ITS de 5.9 GHz	Sí	Sí	Sí
Trayectoria evolutiva	No	Sí	Sí

Para finalizar la comparativa, en la tabla 3 se exponen los casos de uso para los que están preparadas las tecnologías evaluadas y el rendimiento que ofrecen. Esta tabla evidencia que IEEE 802.11p y C-V2X permiten ofrecer aplicaciones de seguridad definidas dentro del conjunto de casos de uso Day 1. Además, se espera que C-V2X Rel-15 permita ofrecer aplicaciones de seguridad mejorada y que C-V2X Rel-16 sea capaz de alcanzar los requisitos de servicio necesarios para ofrecer conducción autónoma.

Esta tabla también muestra que en los requisitos de calidad de servicio, como el soporte de alta densidad de vehículos, alta movilidad de los mismos, alcance y frecuencia de transmisión, C-V2X ofrece como mínimo la misma calidad de servicio o mayor que IEEE 802.11p. Tal y como se deduce de la tabla 3, el objetivo principal para los desarrolladores de la tecnología C-V2X es ser capaces de ofrecer todos los casos de uso que ofrece IEEE 802.11p y, además, ampliar la funcionalidad aún más. Para finalizar esta comparativa, a continuación se exponen las razones por las cuales se eligió realizar este trabajo sobre comunicaciones C-V2X, que son:

- Ofrece comunicaciones V2V mejoradas en relación con IEEE 802.11p. En futuras versiones, C-V2X debería casi duplicar el tiempo de alerta/reacción del conductor en comparación con la tecnología IEEE802.11p.
- Facilita las comunicaciones V2I y V2N en comparación con IEEE 802.11p. C-V2X aprovecha la infraestructura celular existente, evitando la necesidad de construir una nueva infraestructura IEEE 802.11p en carreteras. Esta capacidad de aprovechar la infraestructura existente reduce los costes generales de implantación.
- Aprovecha el potencial de los operadores celulares para jugar un papel positivo en el desarrollo y promoción de los servicios C-V2X. Los operado-

res celulares tienen una amplia experiencia y capacidades en la gestión de servicios de telecomunicaciones complejas en áreas extensas.

1.3. Sistemas de posicionamiento y localización de vehículos (AVLS)

Si bien los sistemas de posicionamiento basados en satélite se han vuelto muy populares debido a su alta penetración en el mercado, existen otros sistemas empleados en los actuales STI:

- **Sistemas de navegación inerciales:** tales como acelerómetros o giróscopos, los cuales son instalados a bordo del vehículo. Generalmente son empleados junto con odómetros y mapas digitales.
- **Dispositivos para reconocer la posición:** basados en cámaras, dispositivos de RF, etc. Son empleados en transporte de mercancías (contenedores, pallets, etc.) o vehículos que circulan por un recorrido predeterminado.
- **Sistemas basados en la identificación de una celda:** empleando un sistema basado en la telefonía móvil sea posible determinar su posición.

El denominado GPS (*Global Positioning System*) es un sistema global de navegación por satélite (GNSS) que permite determinar geográficamente la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros si se emplea para ello un sistema de GPS diferencial.

DGPS

El sistema GPS diferencial proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Para ello se dispone de un receptor GPS fijo que conoce exactamente su posición, y que recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano.

Taula 3. IEEE 802.11p vs C-V2X: casos de uso y rendimiento

Casos de uso	IEEE 802.11p	C-V2X Rel-14/15	C-V2X Rel-16 (previsto)
Casos de uso objetivo	Aplicaciones de Day 1 Solo seguridad	Aplicaciones de Day 1 Seguridad y seguridad mejorada	Casos de uso avanzado para conducción autónoma
Soporte de alta densidad	Pérdidas de paquetes a altas densidades	Puede garantizar que no se pierden paquetes a altas densidades	Puede garantizar que no se pierden paquetes a altas densidades
Soporte de alta movilidad	Hasta velocidades relativas de hasta 500 km/h con receptores avanzados	Hasta velocidades relativas de 500 km/h como requisito mínimo	Hasta velocidades relativas de 500 km/h como requisito mínimo
Alcance de transmisión (90 % error, velocidad relativa 280 km/h)	Hasta 225 m (aproximadamente)	Hasta 450m en modo directo Grandes distancias a través de la infraestructura celular	Hasta 450m en modo directo Grandes distancias a través de la infraestructura celular
Frecuencia de transmisión habitual para tráfico periódico	Cada 100 ms (50 ms también es posible)	Cada 100 ms (20 ms es posible)	Soporta periodicidades de pocos ms

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante «triangulación», la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o las coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que llevan a bordo cada uno de los satélites.

Figura 8. Sistemas GPS empleados en COOPERS, CVIS y SAFESPOT

	Coopers	CVIS	Safespot
General approach	Hybrid / multisensor	Hybrid / multisensor	Hybrid / multisensor
Satellite navigation	GPS (L1) / EGNOS / Galileo	GPS (I1 + L2) / EGNOS	GPS (L1) / EGNOS
On board sensors	Odometer Differential Odometer (all sensor information from CAN-Bus)	Accelerometer Gyroscope as sensor in the OBU 3-axis-IMU Compass Spee-sensor laser scanner (as external sensors)	Camera Laser escanner IMU (as external sensors) C2C communication (for relative GNSS)
Infrastructure	IR-transmitter	Wireless Sensor Network (loops, cameras, beacons) DGPS-augmentation map-matching	UWB communication
Data base	Location table for the IR-transmitter	Location table for WSN, I2V-transmitters cameras complete road database Extended map attributes lan mark database	Object database (for camera sensor) landmark database location table for UWB-transmitter complete road database
Cost estimation	100-300€	> 1.000 € (> 1.000 € for IMU)	> 1.000 € (> 10.000 € for IMU)

Fuente: D 4500-2: Evaluation of scientific test vehicle and achieved results (incl. section regarding the substitution of GPS with GALILEO)

Como hemos visto, hay numerosas aplicaciones que basan su funcionamiento en el conocimiento de la posición de los vehículos, siendo la gestión de flotas la aplicación más extendida. Pero si bien en este tipo de aplicaciones no es relativamente importante conocer la posición exacta de los vehículos (un error de unos metros es asumible en un sistema de gestión de flotas), sí lo es en aplicaciones más complejas destinadas sobre todo al ámbito de la seguridad.

A modo de ejemplo y como resultado de los Workshops realizados por los proyectos CVIS, SAFESPOT y COOPERS en Stuttgart¹ y Berlín², se recogen en la figura 8 los diferentes sistemas de posicionamiento empleados en estos proyectos con el objetivo de mejorar la precisión de estos sistemas y por ende de las aplicaciones derivadas de su utilización.

⁽¹⁾CVIS-SAFESPOT-COOPERS – Joint workshop on positioning in Stuttgart Germany at 22nd and 23rd of January 2008

⁽²⁾Cooperative systems workshop in Berlin Germany at 10th and 11th December 2008

Bibliografía

Ministerio de Presidencia, Gobierno de España (2012). Real Decreto 662/2012. *Boletín Oficial del Estado* (núm. 90, sec. I, pág. 29524).

Ministerio de Fomento, Gobierno de España (2009). *Estrategia española de movilidad sostenible*.

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

Mayor of London (2006). «Transport 2015». *Transport Vision for a growing world city*.

IEEE (2013, diciembre). IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz. IEEE Std 802.11ac-2013 (Amendment to IEEE Std 802.11-2012, as amended by IEEE Std 802.11ae-2012, IEEE Std 802.11aa-2012, and IEEE Std 802.11ad-2012) (págs. 1-425). doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6687187

Andreas Festag (nov., 2015). *Standards for vehicular communication-from IEEE 802.11p to 5G. e i Elektrotechnik und Informationstechnik* (vol. 132, núm. 7, pág. 409-416).

Unai Hernandez-Jayo; Idoia De-la Iglesia; Jagoba Perez; V-Alert (2015). *Description and Validation of a Vulnerable Road User Alert System in the Framework of a Smart City. Sensors* (vol. 15, núm. 8, pág. 18480-18505).

Boletín Oficial del Estado del viernes 25 de julio de 2014 (núm. 180, sec. III, pág. 59624).

Sebastián López Fernández (2017). «Implantación y Despliegue de DATEX II como Sistema Normalizado de Intercambio de Información entre Centros de Control de Tráfico en España». *S. G. de Gestión del Tráfico y Movilidad (DGT)*.

EasyWay. «DATEX II – The standard for ITS on European Roads», *DATEX II Brochure*. <www.datex2.eu>

Páginas web (fecha de consulta: marzo 2019)

http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030/index_en.htm

http://europa.eu/pol/trans/index_es.htm

http://www.urban-transport-roadmaps.eu/documents/Urban_roadmaps_user_policy_roadmaps_v3.1.pdf

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/current-shares-of-freight-transport-volume-tonne-km-by-mode-eu-25>

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

<https://www.ntcip.org/>

