

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA
Grado en Ing. Sist. De Telecom., Sonido e Imagen.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“ESTUDIO DE LAS APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA 5G A REDES VEHICULARES Y VEHÍCULOS AUTÓNOMOS”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autora: Gabriela Moscardó Garcia.

Tutora: Xelo Part Escrivá.

Tutor en la empresa: Carlos Sanchis.

GANDIA, 2021

Resumen en español.

La industria automovilística e instituciones gubernamentales y académicas, entre otras, han multiplicado en los últimos años esfuerzos encaminados al desarrollo de sistemas de transporte inteligente, conocidos por sus siglas en inglés ITS (Intelligent Transportation Systems). En esta línea, se han implementado redes vehiculares que aprovechan la potencia de la tecnología 5G para las comunicaciones entre vehículos y entre estos y las infraestructuras viarias. Gracias a la tecnología 5G se abre un amplio espectro de comunicaciones entre vehículos para distintas aplicaciones, lo que se conoce como sistemas V2V (vehicle-to-vehicle) o bien V2X (vehicle to everything). Los vehículos actualmente ya cuentan con sofisticados computadores a bordo y están dotados de sensores, procesadores y microcontroladores que contribuyen a una conducción más segura y eficiente, por lo que el siguiente paso es construir vehículos autónomos. Hoy en día esto es posible con tecnologías 5G. En este TFG, nos centraremos en evaluar el estado del arte de las tecnologías 5G aplicadas a redes vehiculares y vehículos autónomos, y a valorar las aplicaciones en uso y futuras que nos parezcan más relevantes.

Resume in English.

The automotive industry and government and academic institutions, among others, have multiplied efforts in recent years aimed at developing intelligent transportation systems, known by its acronym in English ITS (Intelligent Transportation Systems). Along these lines, vehicle networks have been implemented that take advantage of the power of 5G technology for communications between vehicles and between vehicles and road infrastructures. Thanks to 5G technology, a wide spectrum of communications between vehicles is opened up for different applications, which is known as V2V (vehicle-to-vehicle) or V2X (vehicle to everything) systems. Vehicles now already have sophisticated on-board computers and are equipped with sensors, processors and microcontrollers that contribute to safer and more efficient driving, so the next step is to build autonomous vehicles. Today it is possible

with 5G technologies. In this TFG, we will focus on evaluating the state of the art of 5G technologies applied to vehicle networks and autonomous vehicles and assessing the applications in use and future that seem most relevant to us.

Palabras clave.

Español

5G, coche autónomo, ITS (Sistemas Inteligentes de transporte), redes vehiculares, V2X (vehículo con todo) y V2V (vehículo a vehículo).

English

5G, autonom car, ITS (Intelligent Transportation Systems), vehicular network, V2X (vehicle to everything) and V2V (vehicle to vehicle).

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1. Presentación.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Estructura del TFG.....	1
2. Estado del arte de redes vehiculares y vehículos autónomos.....	2
2.1. Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)	2
2.1.1. Legislación.....	4
2.2. Redes vehiculares.....	5
2.2.1. Elementos de las Redes Vehiculares	5
2.2.2. Tipos de comunicación dentro de una Red Vehicular	7
2.2.3. Tecnología y estandarización utilizadas en las redes vehiculares..	9
2.3. Vehículos autónomos.....	18
2.3.1. Tecnologías al servicio de la conducción autónoma	18
2.3.2. Niveles de automatismo en vehículos.....	20
2.3.3. Conectividad mediante 5G.....	22
2.3.4. Legislación internacional vigente.....	23
3. Aplicaciones de la tecnología 5G en redes vehiculares y en el vehículo autónomo.....	24
4. Análisis sobre las aplicaciones más relevantes.....	29
5. Estado del arte tecnología C-V2X, evolución del V2X.....	31
5.1. Modos de comunicación C-V2X.....	32
5.1.1. Interfaz PC5.....	33
5.1.2. Interfaz Uu.....	34
5.2. Modos de programación.....	34

5.3. Estandarización.	36
5.4. Mejoras futuras y líneas abiertas.....	38
5.4.1. 5GAA espectro radioeléctrico.	39
6. Ejemplo práctico de aplicación, relacionado con la tecnología V2X.	41
6.1. Demostración de conducción autónoma con V2X.	41
6.1.1. Escenarios de demostración.....	41
6.1.2. Arquitectura SciL.	43
6.1.3. Red 5G del escenario de medida.....	44
6.1.4. Metodología utilizada en las mediciones.....	44
6.1.5. Resultados mediciones.....	45
7. Conclusiones.	46
8. Bibliografía.....	48

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 – Imagen ejemplo de comunicación V2V y V2I	8
Figura 2 – Modos de comunicación C-V2X.....	33
Figura 3 – Modo 3 asignación de recursos.....	36
Figura 4 - VUT y paisaje virtual.....	42
Figura 5 - frenada automática del VUT ante un obstáculo.....	42
Figura 6 – Arquitectura de alto nivel de los sistemas de comunicación y sus módulos.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Tipos de WiFi IEE 802.11.....	12
Tabla 2 – Comparativa entre sistemas de comunicaciones intravehiculares....	15
Tabla 3 – Análisis de aplicaciones del coche autónomo.....	30
Tabla 4 – Características de los modos de comunicación C-V2X.....	33
Tabla 5 – Línea del tiempo desde los casos iniciales hasta los futuros casos planeados por 5GAA.....	39
Tabla 6 – Resultados mediciones.....	45

1. Introducción

1.1. Presentación.

El tema del trabajo de fin de grado es el estudio de las aplicaciones de la tecnología 5G a redes vehiculares y vehículos autónomos. Vamos a realizar una descripción completa sobre las redes vehiculares y todo lo que ellas conllevan. A continuación, relacionaremos las redes vehiculares con el 5G y veremos sus aplicaciones actuales y futuras. Para ello también hablaremos del sistema de comunicación V2X “Vehicle to everything”, centrándonos en este aspecto y explicándolo a fondo. Los límites de la investigación los fijará el estado actual de las tecnologías 5G y su evolución, ya que aun está en desarrollo todo lo relacionado con esta tecnología.

1.2. Objetivos.

- Principales:
 - Descripción de los ITS (Intelligent Transport Systems, Sistemas de Transporte Inteligentes).
 - Descripción redes vehiculares.
 - Descripción del coche autónomo.
 - Estado del arte de las aplicaciones 5G en redes vehiculares y coches autónomos.
- Secundarios
 - Análisis de las futuras aplicaciones 5G, en redes vehiculares y coche autónomo.
 - Mejoras y líneas abiertas del C-V2X (Cellular-Vehicle to vehicle).
 - Ejemplo de aplicación relacionada con lo explicado.

1.3. Estructura del TFG

- Introducción
- Estado del arte de redes vehiculares y vehículos autónomos.
- Aplicaciones de la tecnología 5G en redes vehiculares y en el vehículo autónomo.

- Análisis sobre las aplicaciones más relevantes.
- Estado del arte tecnología C-V2X, evolución del V2X.
- Ejemplo de aplicación.
- Conclusión
- Bibliografía

En cuanto a la metodología, para la obtención de los resultados plasmados en esta memoria, se ha buscado información en distintas fuentes académicas y en internet, destacando documentos de investigación como papers o tesis realizadas en distintas universidades. La tutora también ha tenido un papel importante en la búsqueda de información, aportando artículos de gran interés relacionados con el tema. Posteriormente se ha analizado la información, elegido lo más relevante y se ha redactado de forma precisa en esta memoria.

2. Estado del arte de redes vehiculares y vehículos autónomos.

2.1. Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

Antes de comenzar a hablar sobre redes vehiculares y vehículos autónomos, debemos hacer una breve introducción sobre los ITS ya que las redes vehiculares se desarrollan como una parte de estos sistemas.

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (Intelligent Transport Systems – ITS), se basan en la informática y las telecomunicaciones creando soluciones tecnológicas para avanzar en el desarrollo de mejoras en cuanto a la operación y la seguridad del transporte terrestre. Su uso puede ser aplicado a otro tipo de medios de transporte, pero habitualmente ha estado enfocado al transporte por carretera [1].

Para la gestión de los ITS, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) ha desarrollado “es.movilidad”, la Estrategia de Movilidad Segura, Sostenible y Conectada 2030 (<https://esmovilidad.mitma.es/>). Este plan

guiará las próximas acciones del MITMA en los próximos 10 años. Esta estrategia incluye los ITS y también las Nuevas Tecnologías (NNTT) aplicables al transporte. Se centra en la seguridad, la sostenibilidad y la conectividad [2].

En años posteriores ha aparecido reglamentación europea y nacional en relación a la implantación de los ITS, concretamente en la Directiva 2010/40/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 7 de Julio de 2010 [3] y en el Real Decreto 662/2012, del 14 de Abril [4]. Esta parte la voy a ampliar un poco más en el próximo apartado el 2.1.1.

Algunos objetivos básicos que los ITS deben abordar serían [1]:

- Mejorar la seguridad en todos los medios de transporte actuales
- Mejorar la Eficiencia de los sistemas de transporte reduciendo, de esta forma, los tiempos de viaje y las congestiones de tráfico mediante planes de movilidad.
- Implantar dentro del transporte Políticas de Desarrollo Sostenible, reduciendo las emisiones de los gases y optimizando el uso de infraestructuras.
- Incrementar el Confort de los pasajeros con servicios de información apropiados: Sistemas de ayuda a la toma de decisiones, sistemas adecuados de navegación, etc.

Las principales aplicaciones hoy en día de los ITS son [5]:

- Gestión del tránsito y de la red vial.
- Sistema de información a viajeros.
- Sistemas de transporte público.
- Aplicaciones para vehículos comerciales.
- Aplicaciones de seguridad para vehículos.
- Aplicaciones para la gestión de la construcción y del mantenimiento.
- Gestión de emergencias.
- Almacenamiento y gestión de datos.

Como un avance aparecen los Sistemas Inteligentes de Transporte Cooperativos C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems), donde diferentes entidades trabajan cooperando para dar lugar a un servicio que

consiga alguno de los objetivos citados anteriormente para todo el marco de la Unión Europea [6].

2.1.1. Legislación.

En la UE, la Directiva ITS 2010/40/EU fue adoptada en 2010. Su objetivo es asegurar que las aplicaciones ITS sean interoperables y puedan operar a través de las fronteras nacionales. La directiva define áreas prioritarias para la legislación secundaria, que cubre V2X y requiere tecnologías para su evolución.

A nivel nacional en 2012, el ministerio de la presidencia aprobó el Real Decreto 662/2012, a 13 de abril, por el que estableció el marco para la implantación de los ITS, en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte [22].

En 2014, la parte interesada de la industria de la Comisión Europea “C-ITS Deployment Platform” comenzó a trabajar en un marco regulatorio para V2X en la UE. Identificó enfoques clave para la infraestructura pública (PKI “Public Key Infrastructure”) enfocándose en seguridad V2X y protección de datos en toda la UE, además de facilitar un estándar de mitigación para evitar interferencias de radio entre los sistemas de tarificación vial basados en ITS-G5 V2X y CEN DSRC. La Comisión Europea reconoció ITS-G5 como la tecnología de comunicación inicial en su Plan de Acción 5G, para formar un entorno de comunicación consistente en ITS-G5 y comunicación celular según lo previsto por los Estados miembros de la UE.

Recientemente ha habido cambios en la legislación: a fecha del 9 de octubre de 2020, se tomó la decisión de ejecución (UE) 2020/1426 relativa al uso armonizado de espectro radioeléctrico en la banda de frecuencias 5875-5935 MHz para aplicaciones relacionadas con la seguridad de los ITS, y se derogó la Decisión 2008/671/CE [21].

Aparte, existen varios proyectos previos al despliegue a nivel de la UE o de los Estados miembros de la UE, como SCOOP@F, Testfeld Telematik, el banco de pruebas digital Autobahn, el corredor ITS Rotterdam-Viena, Nordic Way, COMPASS4D o C-ROADS y muchos más proyectos que se están preparando.

También hay ensayos en Europa como C-Roads, que se encuentra en fases finales y facilitarán la comercialización de las primeras soluciones para servicios C-ITS. A través de la plataforma C-Roads, las autoridades y los operadores de carreteras se han unido para estandarizar las actividades de despliegue de los sistemas de transporte inteligentes cooperativos (C-ITS) en toda Europa [28], [24].

Y como dato interesante relacionado con nuestra universidad, la UPV en 2021, aprobó el plan de estudios del Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte [23].

2.2. Redes vehiculares

Como acabamos de comentar, para conseguir esta cooperación necesaria en los C-ITS necesitamos que exista una comunicación entre los diferentes sistemas de transporte, por tanto, es necesario el desarrollo de redes vehiculares. Se va a poder gestionar el tráfico gracias al intercambio de información entre automóviles y entre estos e infraestructuras varias, en tiempo real. Se recibirá información como el estado del tránsito, accidentes y otros tipos de acontecimientos en carretera, lo cual permitirá a los conductores tomar decisiones para evitar la congestión del tráfico y accidentes de tráfico, pudiendo elegir así la ruta óptima.

Estas redes vienen definidas por el acrónimo VANET (Vehicular Ad-Hoc Network). La palabra red refleja que es un tipo de red de comunicación que simula a los vehículos como nodos de la red. Y el término ad-hoc (locución latina que significa “para esto”) se aplica porque por el poco alcance del canal (hasta 1 km) la conectividad se da esporádicamente. Podríamos considerarlas una derivación de las redes móviles Ad-hoc (MANET “Mobile ad-hoc network”) [7].

2.2.1. Elementos de las Redes Vehiculares

- Unidad de a bordo OBU (On Board Unit): este es un dispositivo montado en un vehículo generalmente para intercambiar información con la RSU (Roadside Unit) u otras OBU. Lleva un procesador de recursos por comando RCP

(Resource Command Processor), cuyos recursos incluyen una memoria de lectura y escritura utilizada para almacenar y recuperar información, una interfaz de usuario, una interfaz especializada para conectarse a otras OBU y un dispositivo de red para abreviar el rango de comunicación inalámbrica basado en tecnología radio IEEE 802.11p. En esta unidad de a bordo debe haber una interfaz de máquina HMI (human machine interface) compatible con la conducción, para que sea posible tanto el suministro de información por parte de los usuarios al sistema, como el consumo de los servicios. También incorpora un sistema inalámbrico de comunicaciones de corto alcance que permite la formación de redes ad-hoc, esto permite comunicaciones con elementos externos, es decir transmitir datos internos y acceder a servicios externos [8].

- Unidad de aplicación AU (Application Unit): este es un dispositivo equipado dentro del vehículo que utiliza las aplicaciones proporcionadas por el fabricante utilizando las capacidades de comunicación de la OBU. La AU puede estar enfocado a aplicaciones de seguridad o como un asistente digital personal PDA (Personal Digital Assistant) para ejecutar internet. La AU se puede conectar a la OBU mediante un cable o conexión inalámbrica, además pueden estar ambas en una misma unidad física. La única distinción entre ellas es únicamente lógica. La AU únicamente puede comunicarse con la red a través de la OBU y la OBU tiene la responsabilidad de toda la movilidad y de todas las funciones de red [8].
- Unidad de carretera RSU (Roadside unit): dispositivo de inalámbrico que generalmente se fija a lo largo del borde de la carretera o en lugares específicos, como por ejemplo cruces o cerca de espacios de estacionamiento. La RSU es capaz de conectarse a internet y así poder proporcionar información de seguridad al usuario. Esto ayuda a prevenir accidentes. Solo los usuarios autenticados pueden tener acceso a la información. Las principales funciones de la RSU son: expandir el rango de comunicación de la red ad-hoc y darle la capacidad de conectarse a internet a las OBU, y proporcionar seguridad [8].
- Sistema de posicionamiento global GPS (Global Positioning System): este dispositivo permite la localización y la oferta de servicios de asistencia o geolocalización, para el vehículo en conducción. Estos servicios son aplicables a agrupaciones profesionales y no profesionales de conductores [1].
- Red de sensores vehiculares VSN (Vehicular Sensor Network), estos sensores se encargan del monitoreo de datos sobre la red y las condiciones del entorno. La VSN detecta información relacionado con el tráfico y efectos ambientales,

en tiempo real, para después mediante las aplicaciones vehiculares procesar estos datos para poder generar mensajes que serán enviados por la VANET [7].

- Otros: en este grupo habría elementos secundarios como por ejemplo los sensores que perciben información del vehículo o el entorno y que por lo general el conductor no es capaz de percibir por sí solo. Un ejemplo de ello sería los sistemas de telefonía por Bluetooth, la asistencia al aparcamiento, servicios de ayuda en el adelantamiento, etc. Esta información puede ser proporcionada dentro del vehículo, pero también puede ser transmitida a otros automóviles creando así el servicio cooperativo entre los nodos que conforman la red VANET [1].

2.2.2. Tipos de comunicación dentro de una Red Vehicular

- Vehículo a vehículo V2V, (Vehicle to vehicle): este tipo de comunicación tiene lugar entre vehículos, ya que permite una comunicación vehicular directa sin necesidad de una infraestructura fija de apoyo. Se compone de una OBU y una o varias AU, explicadas en el apartado anterior. Principalmente se emplea para seguridad, protección y aplicaciones de difusión. Un vehículo puede enviar o recibir información con otros vehículos, tal como el estado actual de la carretera detectando si hay accidentes u obras, si hay mucho tráfico u otros servicios.
- Vehículo a infraestructura V2I, (Vehicle to infrastructure): para este segundo caso la comunicación se realiza entre vehículos y RSUs (explicadas en el apartado anterior). Por ejemplo, sirven para el intercambio de información relacionada con las condiciones de la vía y avisos sobre el entorno de la red, también se utiliza para intercambiar datos con redes externas mediante Internet. Cuando hay una conexión directa entre vehículos (V2V) únicamente es necesario un salto entre vehículos, pero en este caso el V2I se da cuando no hay una conexión directa y por tanto se utiliza un protocolo de enrutamiento dedicado para reenviar los datos desde un vehículo a otro hasta llegar al punto de destino, creando así una comunicación vehículo a vehículo con varios saltos. Para poder incrementar este rango de comunicación se utilizan las RSUs, explicadas anteriormente. Vemos ahora una imagen

representativa sobre la comunicación V2V y la V2I explicada anteriormente:

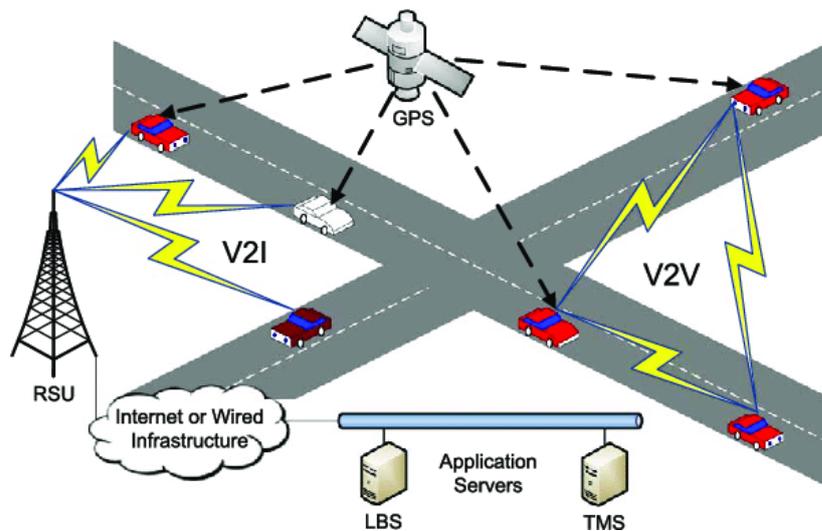


FIGURA 1 - IMAGEN EJEMPLO DE COMUNICACIÓN V2I Y V2V. FUENTE: [19].

- Arquitectura híbrida (“Hybrid Architecture”): en este caso de, debido a que la RSU puede conectarse a las redes de la infraestructura y también a internet, la OBU puede acceder a la infraestructura de red. De esta forma, será posible que las AU sean registradas con la OBU para poder conectarse a cualquier usuario basado en internet. Por otro lado, la OBU también puede comunicarse con otros usuarios para aplicaciones no relacionadas con la seguridad, utilizando la comunicación de las redes celulares por radio (GSM, GPRS, UMTS, HSDPA, WiMax, 4G y 5G). Por tanto, en este escenario se combinan comunicaciones V2V y V2I, dando la capacidad a un vehículo de comunicarse con la infraestructura del borde de la carretera ya sea para un solo salto o varios, según la distancia, permitiendo así la conexión de larga distancia a Internet o a vehículos que estén lejos.
- Unidad de carretera con unidad de carretera (RSU2RSU, “Road side unit to Road side unit”): esta conexión directa entre RSU se da entre la unidad RSU conectada a la carretera y otra RSU vecina, principalmente cuando hay un mensaje de seguridad importante, relacionados con atascos de tráfico intenso, y es importante que sea transmitido rápidamente. Esta conexión R2R es más fiable que el V2V o V2I porque

la RSU está directamente bajo el control de la TA (“Trusted Authority”) autoridad de confianza [1], [8].

- Vehículo a todo (V2X, “Vehicle to everything”): este es el tipo de comunicación más novedoso, donde la comunicación es entre el vehículo y cualquier lugar, gracias a Internet. Está basado en tecnologías inalámbricas, para poder permitir este intercambio de información entre los vehículos y su entorno. Con la llegada del 5G puede haber un gran paso de evolución en este tipo de comunicaciones. Se mejorará la velocidad y la latencia en las comunicaciones. Esto también permitirá el uso de los C-ITS [9].
- C-V2X. Esta parte se explicará más adelante, de una forma más detenida, en el apartado 5.

2.2.3. Tecnología y estandarización utilizadas en las redes vehiculares.

2.2.3.1. Tecnologías inalámbricas, según su alcance.

- Redes de área personal (PAN “personal area network”): estas redes tienen un alcance de hasta 10 metros, ofreciendo un servicio únicamente local. Tiene aplicaciones como los auriculares para el teléfono, GPS inalámbricos, identificar señales de tráfico, dispositivos para las comunicaciones en el interior de un vehículo. Las tecnologías para este tipo de aplicaciones serían el Bluetooth (IEEE 802.15), y en menor medida, redes Zigbee y RFID [10].
- Red de área local inalámbrica (WLAN “Wireless local area network”): permite que se produzca un intercambio de información en el interior del vehículo y entre un grupo de automóviles cercanos. Fue creada para evadir la utilización de cables en las oficinas. Las WLAN se fundamentan en protocolos IEEE 802.11 pero hay algunos estándares que pueden tener comunicación V2V y V2I [10].
- Red de área metropolitana inalámbrica (WMAN “Wireless metropolitan area network”): Tiene una capacidad de cobertura de unos 50km, y permite transmisión de voz, datos y video. IEEE 802.16 WIMAX, se utiliza para comunicaciones fijas. Para comunicaciones móviles, se está desarrollando un soporte, con una ampliación del protocolo IEEE

802.16e, el cual establece una adaptación de la capa física para soportar dispositivos y servicios en un ambiente móvil [10].

- Red de gran área (WAN “Wide Area Network”): en este tipo de red hay cobertura para un país o un continente. Utiliza tecnologías basadas en protocolos UMTS (2G), GPRS, GSM (2G), LTE (4G) y 5G, aunque 2G prácticamente forma parte del pasado, el futuro es 4G y 5G. Estas redes son las perfectas para utilizarlas en vehículos. La gran limitación sería el coste de llamada, retardos, saturación, pero todo esto cambiará con la llegada del 5G [10].

2.2.3.2. Sistemas de comunicaciones extra vehiculares.

- WMAN [10]: para el caso de las WMAN se define el WIMAX (wireless interoperability microwave access to everything), este da la capacidad de accesos simultáneos a velocidades de incluso 70 Mbps en áreas de unos 48 km, sin necesidad de que haya visión directa con las estaciones base. Aquí utilizamos el protocolo IEEE 802.16 el cual se utiliza en dos tipos de modos:
 - Fijo: en este caso pasa a llamarse IEEE 802.16-2004, reemplazando versiones del IEEE 802.16a y 802.16d. Es una alternativa inalámbrica que proporciona acceso a internet de banda ancha, funcionando a 2,5 GHz de manera autorizada o a 3,5 GHz y 5,8 GHz sin licencia. Es una opción diferente a las cableadas, como xDSL o cualquier red cableada Ethernet, fibra óptica... las cuales funcionan bajo suscripción. Utiliza OFDM (multiplexación por división de frecuencia ortogonal), llevando datos en paralelo a través de varias portadoras, optimizando así los servicios. La señal OFDM se divide en 256 en lugar de 64 como el estándar 802.11.
 - Móvil: para la parte móvil se utiliza el IEEE 802.16e. Es una revisión del protocolo utilizado en la parte de fijo, el 802.16-2004, la cual añade portabilidad y capacidad. Utiliza OFDMA (acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia), que es similar a OFDM, con la diferencia de que agrupa subportadoras múltiples en subcanales. Concretamente una

única estación puede utilizar todos los subcanales dentro de un periodo de transmisión, también varios clientes podrán transmitir al mismo tiempo usando cada uno una parte del número de subcanales.

- Sistemas móviles celulares: aquí es donde se incluyen las tecnologías como 2G, 3G y 4G, junto con la inminente incorporación del 5G.
- WLAN [10]: dentro de las redes WLAN se define el Wireless Fidelity (WiFi) como norma para garantizar que las WLAN puedan operar entre ellas. Este sistema da flexibilidad y se utiliza en lugar de las redes LAN. El protocolo utilizado es el mencionado en el apartado anterior IEEE 802.11 y se utiliza para implementar estos dos tipos de redes:
 - Redes Ad-hoc: este tipo de redes han sido ya mencionadas anteriormente. Se componen por estaciones independientes que se comunican de forma espontánea e inalámbricamente dentro de un área concreta. El simple acto de activar dos tarjetas de red dará lugar a una comunicación entre estas. Tienen una limitación temporal y espacial, lo cual exige operaciones sencillas pero potentes que puedan ser utilizadas por usuarios poco expertos.
 - Redes cliente/servidor: aquí se utiliza un punto de acceso que tiene el control de proporcionar el tiempo de transmisión para cada estación. Cada estación tendrá el control del medio únicamente cuando se la autorice por este punto de acceso centralizado.

En estas dos configuraciones los usuarios deben poder entrar y salir de las redes que tengan disponibilidad, sean de un tipo u otro, de manera transparente igual que en una comunicación de telefonía móvil.

Hemos mencionado un par de veces el protocolo IEE 802.11 por tanto, vamos a ver los diferentes tipos de WI-FI IEE 802.11 y sus características. Lo vemos en la tabla de a continuación:

Estándar	Frecuencia de operación	Rendimiento	Tasa de envío nominal	Alcance (interiores)	Alcance (exteriores)
802.11	2.4 GHz	0.9 Mbps	1 Mbps	20 m	100 m
802.11a	5 GHz	2,33 Mbps	2 Mbps	35 m	120 m
802.11b	2,4 GHz	4,3 Mbps	11 Mbps	38 m	140 m
802.11g	2,4 GHz	19 Mbps	54 Mbps	38 m	140 m
802.11n	2,4/5 GHz	144 Mbps	300 Mbps	70 m	250 m
802.11p	6 GHz	-	3-27 Mbps	200m	1000m

TABLA 1 - TIPOS DE WIFI IEEE 802.11

En un enfoque más vehicular, se utiliza el modelo de acceso inalámbrico 802.11 WAVE, el cual tiene una arquitectura y un conjunto de servicios e interfaces que complementan el protocolo, proporcionando comunicaciones inalámbricas seguras V2V y V2I, mediante el espectro electromagnético de 5,9 GHz. Concretamente se utiliza el 802.11p en la capa física y el 1609 en las capas superiores. El IEEE 1609 define un conjunto de normas para la arquitectura, el modelo de comunicación, la estructura de gestión, mecanismos de seguridad y el acceso físico para las comunicaciones en el entorno WAVE.

Esto abre un mundo de posibilidades en cuanto a aplicaciones en el transporte. El IEEE 1609, familia de estándares para el acceso inalámbrico en ambientes vehiculares (WAVE, "Wireless Access in vehicular environments") está compuesto por un conjunto de topologías: IEEE 1609.2, IEEE 1609.3, IEEE P1609.4, IEEE 1609.5, IEEE 1609.6, IEEE 1609.11, IEEE 1609.12 [20]. Además, WAVE es la base de los sistemas de comunicaciones dedicados de corto alcance DSRC ("Dedicated short range communications").

En DSRC se incluyen transmisiones de datos a corto y medio alcance, soportando operaciones para la seguridad pública y privada, y en ambientes tanto V2V, como V2I y/o viceversa. Se dan tasas de transferencia muy elevadas lo cual es favorable, ya que se necesita minimizar los tiempos de latencia. Se utiliza en aplicaciones donde hay cobro electrónico de peajes, solicitud o recepción de información, asistencia en carretera y para

automatización de información reglada para coches pesados y estaciones de pesaje. El DSRC incluso es capaz de enviar en modo broadcast o unicast mediante los receptores cercanos de una zona reducida, dentro de una misma red.

2.2.3.3. Sistemas de comunicaciones intravehiculares

Para las comunicaciones intravehiculares, existen dos tipos de sistemas que explicamos a continuación.

Por un lado, tenemos las cableadas que se encargan de transmitir información entre dispositivos de gestión para la conducción, seguridad y sistemas internos. Los buses en este caso suelen ser multiplexados y basados en tecnología CAN (“Controller area network”) de Bosch, el estándar más utilizado en automoción.

Por otro lado, tenemos las redes inalámbricas. Estas son menos fiables, debido a las interferencias y la falta de velocidad para transmitir a tiempo real. Por esto, se utilizan para aplicaciones de confort y multimedia, como en dispositivos manos libres del móvil, música, video o navegadores, apartando servicios de seguridad, donde la fiabilidad y baja latencia resultan críticas. Sin embargo, el futuro de estas aplicaciones es muy amplio en el ámbito de la automoción. Es muy posible que, en un futuro cercano, incluso ya en la actualidad, los buses de datos van a ser sustituidos por redes inalámbricas, eliminando así gran parte del cableado, ahorrando significativamente en peso y costes. Las aplicaciones que se pueden utilizar en estos sistemas son:

- Bluetooth: Es un tipo de WPAN (“Wireless personal área network”) que capacita la transmisión de información entre dispositivos a través de un enlace por radiofrecuencia, con 79 canales, en la banda de 2,4 GHz, la cual está destinada para la industria, la ciencia y la medicina. Por tanto, se contrarrestan las interferencias y la pérdida de intensidad. Lo hace utilizando FHSS (“Frequency hop-ping spread spectrum”) para transmitir los datos. Está pensado para utilizarse en dispositivos con necesidades de comunicación a corto alcance, las cuales tienen un consumo bajo y por tanto se disminuye el coste. El funcionamiento de estas redes Bluetooth se basa en el esquema maestro-esclavo. El dispositivo maestro se encarga de dar los valores de referencia de la conexión tipo

la sincronización con su reloj y la secuencia de salto de frecuencia. Los otros dispositivos de conexión, hasta 7, son los esclavos y intercambian información con el maestro. En resumen, esta es una red PAN solo que inalámbrica, se denomina piconet. Cualquier elemento de la red formada por 8 dispositivos puede intercambiar su role según las necesidades. A parte son autónomos, es decir son como simples sensores o actuadores independientes y con alimentación autónoma, lo cual sería como una WSN ("Wireless sensor and actuator network"). También puede darse el caso que se conecten 2 o más piconets dando lugar a una scatternet. Estas redes Bluetooth son muy utilizadas en el ámbito automovilístico, hay muchas aplicaciones que conectan dispositivos del vehículo con una PDA, con el teléfono móvil, con un reproductor MP3 o con un GPS, como hemos mencionado anteriormente.

- Zigbee: está basada en IEEE 802.15.4-2003. Tienen total autonomía y alimentación autosuficiente, esto les permite acoplarse a cualquier sistema remotamente. Utiliza muy poca energía, por tanto, cada dispositivo puede llegar a tener una autonomía de hasta 5 años, sin embargo, esto limita el alcance. No obstante, utilizando una topología de malla autoorganizativa, se puede aumentar de manera ilimitada la cobertura.

Las bandas de funcionamiento son 2.4 GHz, 915 MHz (en Norteamérica) y 868 MHz (en Europa). Soporta comunicaciones en tiempo real, mediante la utilización de la red tipo CAN (Campos Area Network), y clasificando los mensajes según la prioridad.

La gran posibilidad que abre este tipo de redes Zigbee, es la de elaborar sistemas de comunicaciones inalámbricas juntamente con sensores y actuadores, de forma que actúen con autonomía, sin cableado.

- UWB (Ultra Wide Band). Es capaz de transmitir voz, video u otro tipo de datos. El punto a favor respecto a otras es que puede transmitir más datos usando menos potencia. Además, necesita menos componentes para los equipos de radio.

Funcionan con un ancho de banda a -10 dB en un margen de frecuencias entre 3,1 hasta 10,6 GHz. Debido a que utiliza menos potencia el alcance es menor.

Su funcionamiento se fundamenta en enviar pulsos estrechos, en un instante concreto del tiempo. Pero como tienen baja potencia hay muy pocas interferencias.

UWB da gran velocidad con mucha eficiencia en potencia, lo cual facilita desarrollar dispositivos portátiles con gran autonomía. El principal ámbito de uso sería la electrónica del hogar.

Vemos ahora una tabla resumen de los sistemas de comunicaciones intravehiculares.

Nombre	Tecnología			
	RFID(pasivo)	Bluetooth	ZigBee	UWB
Velocidad de transmisión (kbps)	20	720	20-250	20-250
Alcance (m)	0.1-10	1-10	1-100	1-100
Tamaño de la red (nodos)	1000	7	256/65536	256/65536
Tiempo de inicialización	Decenas de mseg	Seg	Mseg	<<1seg
Topología de red	Estrella	Estrella	Flexible (estrella, malla, híbrida)	Flexible (estrella, malla, híbrida)
Protocolo MAC	Q	TDMA	CSMA/CA y TDMA	CSMA/CA y TDMA
Modulación PHY	ASK	FHSS	DSSS	DS-UWB
Requisitos de memoria	4 KB	250 KB	4-32 KB	4-32KB
Potencia en transmisión	0	1 mW	< 1mW	1mW/Mbps
Aplicaciones	Sistema de gestión	Reemplazo de cables	Monitorización y control	Localización de alta precisión, multimedia.

TABLA 2 - COMPARATIVA ENTRE SISTEMAS DE COMUNICACIONES INTRAVEHICULARES.

2.2.3.4. Arquitecturas

Ahora vamos a ver las diferentes arquitecturas empleadas para sistemas vehiculares.

- CALM (“Communications, air interface, long and medium range”). Esta es una arquitectura en base a ISO que da soporte a comunicaciones móviles, concretamente en tecnologías inteligentes de transporte. Lo hace a través de interfaces y medios físicos como los IEEE 802.11, 802.11p, 802.15, 802.16e, 802.20, telefonía móvil 2G/3G/4G. Las aplicaciones fundamentales incluyen soporte a servicios de Internet en entornos móviles, y soporte a la nueva generación de aplicaciones ITS (protección vehicular). Los componentes implicados en los diversos servicios son las OBU y las RSU, explicadas anteriormente. Mayoritariamente los servicios ofrecidos van enfocados a operaciones con vehículos comerciales (CVO), gestión de cobros (payment), información del tráfico y seguridad en comunicaciones vehiculares (VSC “Vehicular security communications”).

Lo más importante de esta arquitectura es que es la primera vez que las compañías y administraciones se han puesto de acuerdo para elaborar un esquema que integra todos los factores de comunicación en el transporte.

- CVIS (“Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems”). Esta estructura se deriva de la CALM, utiliza su mismo soporte físico y su estructura general. La gran aportación de esta arquitectura es la implementación de los diferentes servicios y aplicaciones vehículo-infraestructura y vehículo-vehículo.

En la parte de vehículo-infraestructura podemos encontrar estos servicios:

- Aviso de ángulo muerto.
- Aviso de velocidad en curvas.
- Aviso de ambulancia.
- Aviso de paso a nivel, intersección.
- Aviso de semáforo en ambar.
- Aviso de cruce de peatones.

- Aviso de condiciones de la carretera.
- Aviso de obras en la vía.

Y en cuanto a los servicios vehículo-vehículo tenemos:

- Aviso de automóvil con luces de emergencia.
- Aviso de zona ángulo muerto.
- Aviso de colisión.
- Aviso de cambio de carril.
- Aviso de llamada de emergencia.
- Aviso de automóvil en sentido contrario.
- VANET (“Vehicular Ad-Hoc network”), este tipo de estructura ya ha sido mencionada y explicada anteriormente. Resumidamente los nodos de esta red ad-hoc son automóviles, camiones, autobuses, etc. Esto da la capacidad de que entre ellos formen una red en movimiento. Actualmente está en desarrollo e investigación. Algunos de los implicados son por ejemplo el Vehicle Safety Communications (VSC EEUU), Car to Car Communications Consortium (C2CCC Europa), Internet ITS (Japón), Sigmobile (EEUU) y el propio IEEE.
- VII (“Vehicle infrastructure integration”), esta estructura es parte de un programa americano de integración vehículo-infraestructura. Este trata de desarrollar sistemas de comunicaciones capaces de soportar intercambio de datos entre todos los componentes que participan en la seguridad vial a fin de para poder reducir los accidentes y mejorar la eficiencia de las redes de transporte. Este programa tiene objetivos muy parecidos a los que se quieren conseguir en Europa con la arquitectura CALM. Estos objetivos son los siguientes:
 - Evaluar el modelo de negocio y aceptar los componentes involucrados.
 - Validar la tecnología, concretamente los sistemas de comunicaciones.
 - Desarrollar las estructuras legales que se necesitan para la viabilidad de los sistemas a lo largo del tiempo.

Las aplicaciones que se incluyen en el programa VII son las siguientes:

- Aviso de violación de señal de tráfico.
- Gestión de corredores viarios
- Aviso de violación de señal de Stop.
- Información al conductor.
- Aviso de velocidad excesiva en curva.
- Pago electrónico.
- Luces de freno electrónicas.
- Información de meteorológica local.
- Alerta temprana de incidencias los conductores.
- Operaciones de mantenimiento invernal.
- Señalización dentro del vehículo.
- Generación de información cartográfica
- Medición de acceso a autopistas.
- Ajuste y temporización de señales de tráfico.

2.3. Vehículos autónomos.

Un vehículo autónomo es aquel con la capacidad de imitar las competencias humanas de conducción y manejo. Se encargará de percibir el entorno y tomar decisiones según las señales que perciba y analice relevantes para los objetivos que hayan sido programados en el vehículo. Conceptualmente no se requiere de ninguna persona presente en el interior para la ejecución de los trayectos [11].

2.3.1. Tecnologías al servicio de la conducción autónoma

Para poder llevar a cabo con seguridad todas las funciones que tiene un vehículo autónomo es necesario captar el entorno y para ello se utilizan los siguientes sistemas:

- GPS
- Sensores Ultrasónicos
- Radar
- LIDAR (“Light Detection and Ranging”)
- Dispositivos de conexión inalámbrica

Por otro lado, se necesitan también tecnologías de asistencia a la conducción.

Las más utilizadas y divulgadas son:

- Sistema de antibloqueo de frenos (ABS “Anti-lock Braking System”).
- Control de tracción (TCS “Traction Control System”, ASR “Anti-Slip Regulation”).
- Control de estabilidad (ESP “Electronic Stability Program”, VDC “Vehicle Dynamic Control”, DSC “Digital Security Controls”, ESC “Electronic Stability Control”, VSC “Vehicle Stability Control”).
- Reparto electrónico de la frenada (EBV “Electronic Brakeforce Variable”, EBD “Electronic Brakeforce Distribution”).
- Control de velocidad de crucero adaptativo.
- Sistema de dirección eléctrica asistida (EPS “Electric Power Steering”).
- Sistema pre-colisión (PCS “Pre-collision System”).
- Detector de ángulo muerto (BLIS “Blind Spot Information System”, BSM “Blind Spot Monitor”, LCA “Line Cross Assistant”).
- Sistema de frenada de emergencia automática (NBS, AEBS “Advanced Emergency Braking System”).
- Aviso de salida de carril (LDW “Lane Departure Warning”, LKS “Lane Keep System”).
- Asistente de mantenimiento en el carril (LKA “Lane Keep Assist”).
- Asistente para atascos de tráfico.
- Asistente de visión nocturna.
- Head-up-Display (HUD).
- Detector de peatones con frenada de emergencia.
- Sistemas de iluminación adaptativa (AFL “Adaptative Forward Lighting”, AFS “Adaptative Forward System”).
- Sistemas de aparcamiento automático.
- Sistemas de advertencia de fatiga (AA “anti-fatigue assistant”, DA “anti-fatigue detector”).
- Sistema inteligente de información al conductor (IDIS “Intelligent Driver Information System”).
- Sistema de reconocimiento de señales de tráfico.

- Reconocimiento de voz.

2.3.2. Niveles de automatismo en vehículos.

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) desarrolló un listado con una serie de niveles para cuantificar el progreso en la automatización de los automóviles. Esta escala permite medir la autonomía de los vehículos. Estos niveles están definidos según su rol específico, en relación con los tres actores principales en el rendimiento del DDT (Tarea de Conducción Dinámica): el conductor, el sistema automático de conducción y otros vehículos, sistemas o componentes. Por DDT entendemos todas las funciones operativas y tácticas en tiempo real que necesita un vehículo para operar el tráfico. Algunas de las principales funciones son:

- Operativas: manejo del desplazamiento lateral del vehículo utilizando la dirección.
- Operacionales: manejo longitudinal del desplazamiento del vehículo mediante la aceleración y la desaceleración, así como el frenado.
- Tácticas: organización de maniobras y ejecución de respuesta a objetos y eventos, al igual que la revisión del entorno de conducción, mediante la detección de objetos y eventos.

Ahora por tanto podemos ver la organización de los niveles, que se basa en la función que tienen estos tres activos principales. Para ver los diferentes niveles es necesario también explicar a parte del DDT, el ODD (Dominio del Diseño Operativo), el cual engloba todas las características por las cuales un sistema de automatización está diseñado para funcionar, incluyendo modos de conducción. Por ejemplo: limitaciones geográficas, de carreteras, ambientales, de velocidad... etc.

Ahora procedemos a ver los diferentes niveles:

- Nivel 0: control del conductor en todos los sistemas del vehículo. Esto no incluye los elementos de seguridad activa o pasiva, ya que no tienen influencia en el DDT.

- Nivel 1: asistencia al conductor, mediante un sistema de automatización de control de movimiento lateral o longitudinal. Pero el ODD limita las condiciones de automatización en este nivel, puede que tengan lugar eventos que impidan una respuesta del vehículo. Los sistemas más comunes son el asistente de mantenimiento de carril y el control de velocidad de cruce.
- Nivel 2: automatización de la conducción parcial. En este caso si se tiene la capacidad de movimiento longitudinal y lateral simultáneamente a diferencia del nivel anterior. El claro ejemplo sería el asistente de aparcamiento, en el nivel 1 el asistente únicamente advierte y puede corregir frenando, evitando una pequeña colisión. Pero en el nivel 2 ya existe la capacidad de dejar que el sistema autónomo estacione el vehículo.
- Nivel 3: automatización de la conducción de manera condicional. En este nivel el ODD amplía su rango y deja que el vehículo controle la totalidad del DDT y responda a fallos. Mientras el nivel 3 este activo no es necesario revisar el control del vehículo, pero se necesita que el conductor pueda estar atento para reanudar el DDT en caso de fallo. El ejemplo sería un asistente a la conducción que pueda realizar el DDT en una autopista, con tráfico y baja velocidad. Este nivel requiere actualizaciones en la legislación.
- Nivel 4: alta automatización de la conducción. En este nivel el asistente controla la totalidad de DDT, y el vehículo no recibe ayuda del conductor. Por tanto, tiene una serie de características para autorregularse, teniendo un alto nivel de inteligencia artificial. El vehículo debe poder minimizar el riesgo si el conductor no toma el mando del DDT. Existe la posibilidad de realizar trayectos completos o parciales. El vehículo sería capaz de realizar el DDT entero en una autovía. Pero puede haber casos donde el conductor tenga que estar disponible para coger el control.
- Nivel 5: automatización completa. Aquí el asistente realizará un desempeño completo del DDT incondicionalmente al ODD, teniendo la capacidad de responder a los problemas y solicitudes posibles. No habrá

ninguna posibilidad por parte del asistente de ayuda por parte del usuario, ha de ser capaz de responder a cualquier problema. No existe condición alguna para el asistente, ya sea ambiental, geográfica o temporal. Puede haber situaciones no manejables incluso por un conductor, en esta situación el asistente busca la solución de menor riesgo. En conclusión, ya no hay necesidad de un conductor a bordo.

2.3.3. Conectividad mediante 5G.

Son evidentes las ventajas que ha ofrecido el 4G, en el ámbito vehicular, en comparación con la tecnología 3G, pero vamos a centrarnos en las redes 5G, ya que estas son las que van a hacer posible la óptima comunicación de una gran cantidad de vehículos interconectados que circulen a alta velocidad. Como ya hemos mencionado gracias al 5G los datos se transfieren mucho más rápido y de manera más estable. Pero más importante que esto, es la latencia, ya que, para que la conexión sea eficiente y segura, debe darse la conexión en intervalos de tiempo ajustados a la realidad de la conducción. Cabe esperar que haya decenas de automóviles desplazándose a velocidades mayores a 100 km/h, con trayectorias distintas, conectados entre ellos y avisando al resto de usuarios de las características del entorno, así como también estarán conectados a los dispositivos que tengan la vía y el entorno, simultáneamente y casi de manera instantánea. Es por ello que se espera un retraso máximo en la transmisión de datos de 100 milisegundos, lo cual implica que en 100 milisegundos se envía y se reciben todas las solicitudes y alertas en cada situación. Para poder gestionar correctamente esta cantidad de datos, el 5G tiene como característica nueva la capacidad de seleccionar parcialmente las conexiones según prioridades.

El 5G puede aprovechar las inversiones existentes en LTE ampliando sus capacidades para garantizar que 5G sea interoperable con 4G LTE y brinde el rendimiento deseado por la comunicación vehicular. 4G LTE proporciona soporte para la integración de Wi-Fi y el espectro sin licencia. Esta capacidad de capas se ampliará en 5G mediante la integración de elementos del sistema que incluyen, entre otros, 3G, 4G, Wi-Fi, ZigBee y Bluetooth. Esta característica habilitará vehículos y pasajeros para conectarse sin problemas con la red más

adecuada para respaldar los requisitos específicos de seguridad, no seguridad (es decir, sistemas de información de tráfico) y aplicaciones de información y entretenimiento (es decir, compartir contenido).

Un informe reciente ha demostrado que los fabricantes de equipos de todo el mundo son capaces de producir 1,4 millones de automóviles conectados al mes, lo que se espera que aumente cada año. A medida que el número de coches conectados en las carreteras sigue aumentando, 5G requerirá estrategias innovadoras como el descubrimiento de dispositivos, de mecanismos de coordinación de nodos y la detección del espectro para aumentar la capacidad.

El descubrimiento directo de dispositivos y la comunicación sin el uso de infraestructura ya son compatibles con 4G LTE. 5G requeriría comunicación de dispositivo a dispositivo con mayores áreas de cobertura para proporcionar servicios innovadores basados en la proximidad y acceso a los datos.

Las demandas de capacidad también pueden satisfacerse mediante el mecanismo de coordinación de nodos. El mecanismo de coordinación entre células ya está definido en 4G LTE. 5G puede aprovechar el acceso a la radio en la nube redes para una mejor coordinación entre estaciones base. Además, 5G planea un uso más eficiente del espectro al compartirlo entre usuarios primarios, secundarios y terciarios [16].

2.3.4. [Legislación internacional vigente.](#)

Vamos a ver ahora la legislación vigente en relación con el coche autónomo. Ha entrado en vigor en enero de este año un nuevo reglamento creado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [25]. Más de 50 países lo han apoyado, algunos como Japón, Corea del Sur y los Estados miembros de la Unión Europea. Se han impuesto requisitos para los vehículos que tengan una conducción automática de nivel 3, concretamente para los sistemas automáticos de mantenimiento de carril. No hay que confundir esto con el coche totalmente autónomo, ya que hoy en día no existen. El reglamento establece que solo se puede utilizar el sistema de conducción en vías donde la circulación de peatones y ciclistas esté prohibida, además de que estas deben

tener una barrera física de separación entre ambos sentidos de circulación. También se decreta que este tipo de conducción no puede pasar de los 60 km/h de velocidad máxima. Por otro lado, las pantallas a bordo han de ser apagadas cuando el conductor recupera el control del vehículo. También se incorporan sistemas de reconocimiento para detectar que el estado del conductor sea correcto, así se podrá detener el vehículo en caso de que el conductor esté despistado, no esté sentado correctamente o no cumpla los requisitos de seguridad.

3. Aplicaciones de la tecnología 5G en redes vehiculares y en el vehículo autónomo.

Hemos hablado ya sobre el coche autónomo y de los diferentes niveles de conducción autónoma que hay hoy en día. Vamos a ver ahora más aplicaciones de la tecnología 5G en las redes vehiculares.

Como ya hemos mencionado la gran velocidad que tendrá la red con el 5G, abre un gran mundo de posibilidades para nuevos usos industriales y domésticos. Las novedades más claras podrán ser algunas como sistemas multimedia para todas las plazas del vehículo, la realidad aumentada o la conducción remota [12].

El conductor podrá disponer en tiempo real de toda la información que necesite: negocios, carreteras... Además de las mejoras en seguridad como ya hemos mencionado [13].

Hay una gran variedad de nuevas tecnologías y vamos a ver cuáles son las que están actualmente desarrollándose por diferentes empresas.

- Lector de huellas: los sistemas tradicionales de llaves van a desaparecer, dando paso a estos novedosos lectores de huellas. Hoy en día muchos coches ya tienen sistemas electrónicos para arrancar y el siguiente nivel es la biometría para aumentar la seguridad. Algunos fabricantes como Hyundai anunciaron en 2018 que lo iban a incorporar. En su presentación también añadieron que se admitirían varios conductores en el sistema de identificación, los cuales podrían elegir elementos

personalizados para la conducción como los asientos o la posición de los espejos retrovisores.

- Reconocimiento facial: este concepto no es nuevo, hace años que muchos fabricantes lo utilizan en sus coches, tanto para desbloquear el vehículo como para detectar acciones que puedan suponer fatiga o somnolencia. Esto encaja perfectamente en el coche conectado.
- Sensor de ritmo cardiaco: empresas como Toyota y Ford, han estado probando sistemas de detección cardíaca para prevenir, sobre todo en gente mayor, ataques al corazón inesperados. Aunque hoy en día ya existen en el mercado soluciones como los smartwatches, detectar la fatiga a tiempo por el vehículo, es uno de los objetivos del coche conectado.
- Abrir el coche con el móvil: esto se realizaría mediante la tecnología NFC. Hace unos años salió el estándar Digital Key Release, para empresas como Tesla o Mercedes, para poder utilizar el smartphone para abrir o cerrar el vehículo. Es aún más importante la versión 2.0 que salió en el 2019 donde hay implicadas muchas más marcas como Apple, Audi, BMW, General Motors, Hyundai, LG Electronics, Panasonic, Samsung y Volkswagen, así como Alps Electri, Continental Automotive, DENSO, y Qualcomm.
- Avisos de olvidar algo: como habrá muchos más sensores, el coche sabrá lo que pasa dentro y fuera del vehículo. Si nos hemos dejado una cartera en el asiento trasero o una bolsa en el maletero, lo detectará. En 2017 Optical Technologies (startup de Israel) desarrolló un sistema de detección del movimiento para escanear objetos del interior. Y más recientemente, Hyundai utiliza sensores ultrasónicos para detectar movimientos en los asientos traseros, aunque pueden tener fallos.
- Pantallas todavía más grandes: los fabricantes no dejan de integrar pantallas táctiles y cada vez más grandes, como por ejemplo la pantalla de 15 pulgadas del Tesla Model 3, o aún más grande la pantalla curva de 48 pulgadas del Byton M Byte. Aunque estas pantallas pueden parecer una mala idea, en el momento en el que el coche sea completamente autónomo no habrá problema en poder estar viendo

cualquier tipo de entretenimiento multimedia al mismo tiempo que se viaja en el vehículo.

- Múltiples dispositivos conectados al mismo tiempo: en la actualidad ya es posible conectar el coche con el dispositivo móvil para reproducir multimedia, mediante bluetooth. Pero con la mejora en conectividad, se permitirán múltiples dispositivos conectados entre sí y con el coche, simulando una red local dentro del coche. Esto puede ser muy utilizado para coches familiares, por ejemplo.
- Seguir la mirada: algunas compañías como Smart Eye o Tobii han desarrollado sistemas de seguimiento de los ojos. Se pueden utilizar para mejorar el reconocimiento facial o la detección de fatiga, pero aparte tienen un uso interesante en posibles interfaces controladas mediante la mirada o sistemas de realidad aumentada que puedan dar información sobre lo que observamos.
- Realidad aumentada para indicarnos por dónde ir: utilizando tecnologías de realidad aumentada podremos ver indicaciones proyectadas sobre la carretera. Fabricantes como Qualcomm ya están trabajando con diversas marcas para poder llegar a integrar en los coches lo que se conoce como “AR dashboards”, tableros de realidad aumentada. Para esto serán necesarios infrarrojos, cámaras de luz visible, cámaras ToF 3D y sensores LIDAR.
- Elegir una localización y que el coche nos guíe sin especificar más: por ejemplo, dando la localización desde una ubicación guardada en el móvil o diciendo con voz que nos lleve a casa.
- Asistentes de voz en el coche: existen asistentes como el Echo Auto, el Alexa para coches. Con la voz se puede poner una canción u otra, contestar llamadas o controlar el climatizador del coche. A medida que esto vaya evolucionando se podrán gestionar más elementos con un par de palabras.
- Cancelación de ruido del exterior: esto se basa en un sistema creado por Bose que propone eliminar el ruido exterior reconociendo las vibraciones que recibe el coche. Puede ser útil para quitar ruidos molestos que

pueden molestarnos, pero puede que haya algo que si debemos escuchar y esto sea un problema.

- Sensores que avisen de lo que no vemos en carretera: Un ejemplo es LIDAR (Laser Imagen Detection and Ranging), que detecta y mide objetos mediante láser. LIDAR se utilizará para coches autónomos, pero también puede ser útil para detectar posibles obstáculos e informar a tiempo para poder reaccionar. Sería como tener unos faros de mucho alcance pero que no deslumbran en la carretera.
- Coordinarse con otros coches para no crear retenciones: compañías como SEAT y Telefónica ya mostraron las posibilidades del coche conectado mediante 5G en un MWC (Mobile World Congress) pasado, pero hoy en día solo mediante WiFi ya puede haber conexión entre coches, mediante tecnología V2V. Para el 5G habría que utilizar la V2X y esto implica la necesidad de antenas e infraestructuras necesarias, lo cual aún está en desarrollo.
- Comunicación entre la ciudad y el coche: la tecnología C-V2X, permitirá a los coches conectarse con el entorno y a medida que las ciudades se vayan haciendo más “inteligentes”, el coche podrá recibir mejores instrucciones. Si por ejemplo se corta una calle el coche recibirá un aviso, y por el contrario si un vehículo circula hacia un peatón con poca visibilidad, ambos recibirán un aviso.
- Conectados con la carretera: se implementarían cámaras en tramos de carretera conectadas y antenas WiFi, con la función de avisar a los coches de las especificaciones de la carretera, tipo la próxima gasolinera, peaje, túnel o si hay retención.
- El coche sabrá si has bebido: a partir de 2022, en la UE, los coches integrarán caja negra, etilómetros y asistentes inteligentes de velocidad. Esto es parte de un programa para reducir accidentes en carretera y da claridad sobre hasta que nivel el coche conectado será de obligatorio cumplimiento. Los vehículos tendrán una caja negra que registrará los acontecimientos y estará conectado a un sistema inteligente de velocidad, que avisará a los conductores cuando superen la velocidad

establecida. A parte el etilómetro bloqueara el arranque del coche si el conductor excede los límites de alcohol legales.

- Sustituir los retrovisores: existen prototipos de retrovisores con cámaras, que identifican los objetos y avisos si se nos acerca rápidamente una moto o algo en movimiento. Empresas como Samsung desarrollan estos prototipos.
- Interacción natural con el entorno: algunas empresas como BMW han creado un sistema que utilizando inteligencia artificial combinado con identificación ocular y de gestos y realidad aumentada, es capaz de proporcionar al pasajero la capacidad de interactuar con el entorno, podremos con el dedo indicar edificios de los cuales queramos recibir información.
- Cristales tintados para ver películas: como es muy probable que podamos ir en un coche sin tener que conducirlo, esto nos daría la posibilidad de ver películas sin prestar atención a la carretera.
- Comprar desde el coche: podremos realizar compras en el coche, como por ejemplo comprar entradas para el cine y saber si llegamos a la hora establecida, mientras vamos por la autopista. Podremos comprar gasolina a distancia y al llegar simplemente repostar. Todo esto solo es posible con el coche autónomo ya que, sin él, debemos estar atentos a la carretera y no podemos estar distraídos.
- Publicidad: el hecho de estar conectados a la red abre la posibilidad de que haya publicidad, muchos están investigando su implementación. Esto podría ayudar con la subvención de los gastos del coche. Estos anuncios se modificarán según el lugar donde estemos.
- Entregas en el maletero: si realizamos una compra, pero no tenemos tiempo para recogerlo y además lo necesitamos ya, habrá un servicio que conecte el GPS del vehículo con la app del vendedor y el sistema de seguridad que se implantará en el maletero. Nosotros aceptaremos el permiso y el mensajero podrá ir al coche y dejar el paquete en el maletero. Volkswagen ha creado "WeDeliver" para esta iniciativa.
- Matrículas digitales: esta tecnología no es muy necesaria ni va a facilitarnos la conducción, pero es una idea desarrollada en California,

en la cual simplemente se cambiará la matrícula y podremos poner cosas como “robado”. Es un extra innecesario, no es realmente útil.

- Check-in automático por WiFi: mediante la conexión wifi podremos acceder al aparcamiento y registrar nuestra entrada, evitando tener que sacar un ticket, indicando la hora y el tiempo de estacionamiento. En una zona azul por ejemplo si el coche tiene los permisos esto se detectaría automáticamente.
- Diagnóstico de datos con el mecánico: muchos datos técnicos se registran en el propio coche, y será posible que estos se puedan extraer y compartir. A la hora de ir al mecánico se enchufará un USB, se extraerán los datos y podrá hacer muchas comprobaciones sin necesidad de abrir el coche. Esto hoy en día ya está en uso.
- Actualizaciones de software: esto es una desventaja, ya que es posible que por accidente haya una actualización de software en mitad del trayecto, aunque esto está estudiándose para evitarlo. Por ejemplo, un conductor formo un corto atasco a causa de una actualización de software, aunque la empresa asegura que por error hizo hasta 5 pasos y 2 confirmaciones antes de la actualización. Esto podría crear dependencia entre el coche autónomo y el software.

4. Análisis sobre las aplicaciones más relevantes.

Ahora voy a hacer una valoración sobre las aplicaciones explicadas anteriormente según la facilidad de implementación, según su uso y según las mejoras introducidas. Para ello he realizado una tabla donde marco con un sí las aplicaciones las cuales creo que sí son útiles según el campo especificado.

Por otro lado, cuando me refiero a que algo es útil según la facilidad de implementación, me refiero a cuáles son las aplicaciones más fáciles de implementar, aunque la mayoría de ellas hoy en día ya están siendo implantadas y utilizadas en muchos vehículos. En cuanto a útil según su uso, esto es en referencia a si tiene o va a tener en un futuro un gran uso por el usuario. Finalmente, según las mejoras sería en relación a si tiene muchas aportaciones nuevas a la conducción y facilita la misma.

En el caso donde aparece un Sí/no, esto se debe a que esta aplicación tiene pros y contra en este apartado. Toda la explicación sobre cada aplicación está en el apartado anterior.

Vemos ahora la tabla que acabo de explicar:

Aplicación	Según su implementación.	Según su uso.	Según sus mejoras.
Lector de huellas	Sí	Sí	Sí
Reconocimiento facial	Sí	Sí	Sí
Sensor ritmo cardíaco	Sí	Sí/No	Sí
Abrir coche con el móvil	Sí	Sí	Sí
Avisos que te has dejado algo	No	Sí	Sí
Pantallas extra grandes	No	Sí	Sí/No
Múltiples dispositivos conectados al mismo tiempo	No	Sí/No	Sí
Seguir la mirada	No	Sí	Sí
Realidad aumentada para indicarnos por dónde ir	No	Sí	Sí
Elegir una localización y que el coche nos guíe sin especificar	Sí	Sí	Sí
Asistente de voz	Sí	Sí	Sí
Cancelación de ruido exterior	No	Sí	Sí
Sensores que avisen de lo que no vemos	No	Sí	Sí
Coordinación con otros vehículos para no crear	No	Sí	Sí

retenciones			
Comunicación entre ciudad y coche	No	Sí	Sí
Conexión con la carretera	No	Sí	Sí
Etilómetro	Sí	Sí/No	Sí
Sustituir los retrovisores	Sí	Sí	Sí
Interacción natural con el entorno	No	Sí	Sí
Cristales tintados para ver películas	Sí	Sí	Sí/No
Compras desde el coche	Sí	Sí	Sí
Publicidad	Sí	No	Sí/No
Entregas en el maletero	Sí	Sí	Sí
Matrículas digitales	Sí	Sí/No	No
Check-in automático por wifi	Sí	Sí	Sí
Diagnóstico de datos con el mecánico	Sí	Sí	Sí

TABLA 3 - VALORACIÓN APLICACIONES COCHE AUTÓNOMO

En general todo lo que nos pueden aportar nuevas aplicaciones gracias al vehículo conectado y el 5G resulta ventajoso para la conducción, los conductores, los vehículos, los peatones, el medioambiente, etc.

5. Estado del arte tecnología C-V2X, evolución del V2X.

Ahora voy a centrarme más en la tecnología V2X y C-V2X, ya que es lo más novedoso y lo que va a marcar la diferencia con la llegada del 5G.

Al principio únicamente se ha utilizado el DSRC para comunicaciones V2V de medio y corto alcance. Pero ha aparecido otro sistema con gran potencial, el C-V2X (Cellular vehicle to everything), creado por la organización de estándares globales de red inalámbrica, el 3GPP. Inicialmente el C-V2X ha sido enfocado a 4G-LTE, pero se utilizará para futuras redes 5G.

El C-V2X se estandarizó el verano de 2017 con la Release 14 del 3GPP, protocolo para la comunicación entre vehículos conectados, peatones o ciclistas, otros usuarios e infraestructura.

Tiene ventajas como que está basado en redes LTE ya existentes y esto ofrece gran cobertura y seguridad, y que permite comunicaciones en tiempo real, fiables y de baja latencia. Esto da la capacidad de que los vehículos se conecten a sistemas cooperativos de transporte (C-ITS) [14].

Los cuatro principales casos de uso de C-V2X son:

- Vehículo a red (V2N “Vehicle to network”)
- Vehículo a vehículo (V2V “Vehicle to vehicle”)
- Vehículo a infraestructura (V2I “Vehicle to infrastructure”)
- Vehículo a peatones (V2P “Vehicle to pedestrian”)

5.1. Modos de comunicación C-V2X.

Esta tecnología C-V2X tiene dos modos de transmisión que son complementarios, los siguientes:

- Comunicaciones directas (Sidelink), incluyendo V2V, V2I y V2P, mediante la interfaz PC5, en la banda de ITS (5,9 GHz) con independencia de la red móvil.
- Comunicaciones de red (Uplink/downlink), incluye V2N, mediante la interfaz Uu en modo tradicional en el espectro licenciado de la banda móvil.

A continuación, vemos una imagen representativa de cada una de las comunicaciones:

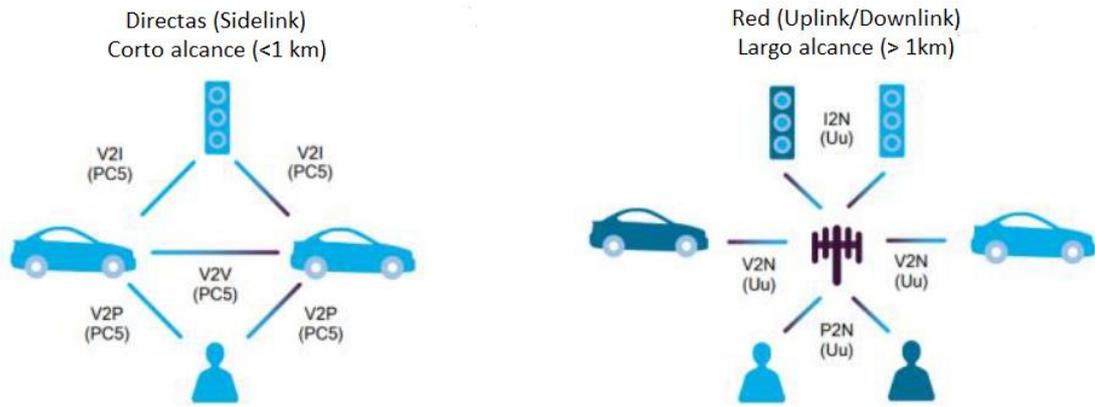


FIGURA 2 - MODOS DE COMUNICACIÓN C-V2X. FUENTE: [14].

Se presenta a continuación, una tabla con las características principales de estos modos de comunicación.

Modos de comunicación	V2V, V2P, V2I	V2N
Interfaz radio	PC5	LTE
Espectro	5,9 GHz	3,5 GHz
Tráfico	Multicast/Broadcast	Unicast/Multicast (eMBMS)
Tipo de tráfico	IPv6, non-IP	IPv6
Modo de acceso	Modos programados y autónomos agregados	Modo heredado

TABLA 4 - CARACTERÍSTICAS DE LOS MODOS DE COMUNICACIÓN DE C-V2X

5.1.1. Interfaz PC5.

Este interfaz de comunicaciones directas tiene dos modos característicos, el modo cobertura y el modo sin cobertura. Estas comunicaciones directas no necesitan de SIM telefónica, pero las tecnologías V2X requieren de GNSS para la ubicación y sincronización en tiempo. Este interfaz está basado en LTE Direct, una novedosa interfaz aérea para el desarrollo de las comunicaciones de dispositivo a dispositivo (D2D “device to device”), que apareció en la Release 12 del 3GPP, y da la capacidad a los servicios gestionados por el

operador de sacar partido a la infraestructura y el espectro LTE. Este LTE Direct de forma común conocido como ProSe, se ha extendido gracias a la Release 13, dando una mejora significativa al D2D, incluyendo la comunicación con múltiples saltos.

5.1.2. Interfaz Uu

LTE Uu y NR Uu son interfaces dedicados a las comunicaciones celulares entre dispositivo y estación base. Las comunicaciones unicast van dirigidas al enlace de subida y para el enlace de bajada unicast o multicast. En el caso de unicast se permite el intercambio de información entre el usuario y el nodo en ambas direcciones del enlace, el usuario solicita información al nodo, se mantienen conectados, y entonces el nodo programará los recursos asignados para que el usuario transmita el paquete. Por otro lado, el multicast se pueden difundir los mensajes a múltiples usuarios eficientemente.

Para las comunicaciones con la red se emplea la red móvil tradicional, así el vehículo puede recibir información sobre la carretera y el tráfico en zonas más extensas, a más de 1km. Esta interfaz también se puede utilizar para conectar un vehículo con un servidor en la nube.

Así como también se puede utilizar para la asistencia de red en relación a la seguridad, servicios comerciales que necesitan conexión con el operador móvil y para ello necesitan datos o información de la nube.

5.2. Modos de programación.

Para comunicaciones LTE-D2D hay dos modos de programación, el Modo 1 y Modo 2. Posteriormente, en la Release 14 se incorporaron dos modos para LTE-V2X el Modo 3 y Modo 4. Ahora vamos a proceder a explicarlos:

- Modo 1: El MNO (Operador de telefonía móvil “Mobile network operator”) da el servicio LTE-V2X y autoriza al vehículo a utilizar la interfaz LTE PC5. El en cargado de programar los recursos es el en eNB [15] (E-UTRAN Node B o Evolve Node B), este es el hardware conectado a la red de telefonía móvil, y se comunica directamente inalámbricamente con los teléfonos móviles.

- Modo 2: Ahora el servicio no lo da el MNO, os vehículos seleccionan los recursos autónomamente. Previamente hay unos parámetros de potencia máxima y pool con respecto a los recursos, marcados por la legislación, por el firmware instalado, por las especificaciones o configuraciones del servidor.
- Modo 3: en este modo el eNB envía periódicamente mensajes SIB (Bloques de información del sistema “System Information blocks”), por el enlace descendente físico del canal compartido (PDSCH). Estos SIB tienen información de lo necesarios para que el usuario UE, ya conectado a la red, pueda tener acceso a la celda. Hay diferentes tipos de SIB, pero en el caso de LTE-V2X se utiliza el tipo 21. Este tiene información de comunicación de enlace lateral V2X e información en relación con la repartición de recursos. Seguidamente, el usuario solicita la asignación de transmisión dedicados para la comunicación de enlace lateral V2X. Esto lo hace enviando un mensaje SidelinkUEInformation al eNB. El UE también puede liberar recursos de transmisión, indicanselo al eNB, utilizando el mensaje SidelinkUEInformation.

Ahora el eNB transmite un mensaje con un indicador de control de enlace descendente (DCI), en formato 5A a través del canal de control de enlace descendente físico (PDCCH). Este mensaje contiene las características del formato 1 para el indicador de control de enlace lateral (SCI), utilizadas para la programación del PSCCH, tales como la frecuencia de ubicación de recursos de transmisión y retransmisión iniciales y el periodo de tiempo entre la transmisión y retransmisión.

Vemos ahora una imagen representativa para visualizar mejor lo explicado:

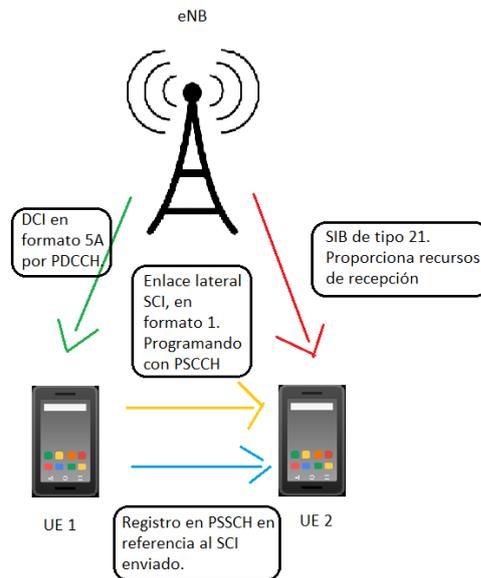


FIGURA 3 - MODO 3 ASIGNACIÓN DE RECURSOS. FUENTE: [14].

- Modo 4: en este modo los usuarios UE escogen recursos autónomamente, sin tener en cuenta el estado de la conexión. Por tanto, se puede transmitir en estado IDLE y sin cobertura. En caso de que el UE tenga cobertura, el vehículo tiene información V2X proporcionada por la red. Esto es mediante los parámetros configurables Sidelink V2X, estos abarcan: frecuencia de la portadora, referencias de sincronización, grupo de recursos, esquema de sub-canalización, el número de RB por canal y el número de sub-canales por subtrama. Se utiliza la selección de recursos autónomos, en esta metodología se detectan canales con transmisión semipersistente. Básicamente los vehículos pueden predecir qué recursos van a ser utilizados por los UE cercanos y programan transmisiones basándose en estos datos. En cambio, para las situaciones donde no hay cobertura, se utilizarán parámetros preconfigurados en el vehículo.

5.3. Estandarización.

El C-V2X tiene la ayuda de varios grupos del mundo de la automoción y las telecomunicaciones, entre los cuales está el 5GAA (Asociación de automoción y 5G "5G Automotive Association"), en la cual son cofundadores Audi, Ericsson y Qualcomm. Tiene más de 85 miembros, de los cuales hay fabricantes de

automóviles, desarrolladores de software, operadores móviles, compañías de semiconductores, proveedores de equipos de prueba, proveedores de servicios de telecomunicaciones, de señales de tráfico y carreteras.

El ETSI (Instituto Europeo de Normalización de las telecomunicaciones) aprobó un nuevo Estándar Europeo (EN) para definir el uso de C-V2X como tecnología de capa de acceso para dispositivos con ITS. También actualizó todos los estándares y especificaciones relacionados ITS, para permitir el uso de C-V2X. Todo esto fue añadido en las especificaciones ETSI TR 101 607 V1.2.1 (2020-02), suponiendo la base para la evolución y creación de dispositivos C-V2X ITS.

Primero como ya hemos comentado anteriormente apareció la Release 13 del 3GPP, la cual no cumplía los requisitos de baja latencia y alta velocidad de las apps de seguridad en V2X.

Luego en 2017, se publicó la Release 14, que ya incluía costos para el uso de C-V2X, permitiendo la tecnología móvil LTE. También permite comunicación directa entre dispositivos, tiene mejor latencia, añade capacidad de operar sin cobertura con altas velocidades, y, además, aprovecha la estructura celular existente, reduciendo costes y acelerando el proceso para cumplir la seguridad y eficiencia.

En 2018, apareció la Release 15 para el 5G. Esta tiene un sistema radio con una red central y añade mejoras en LTE. Gracias a ella se cubren mejor las comunicaciones V2X.

Finalmente, la más novedosa es la Release 16, es una versión crucial ya que contiene la presentación del IMT-2020 para un sistema completo 3GPP 5G. Y para más expectativa, incluirá servicios de capa de aplicación para V2X, el concepto NR V2X para las comunicaciones V2X sobre 5G, acceso satelital 5G, soporte de red área local en 5G, comunicaciones en dominios verticales y automatización de redes y nuevas técnicas radio.

5.4. Mejoras futuras y líneas abiertas.

5GAA (5G Automotive Association) comenzó a desarrollar la tecnología C-V2X. Además, la FCC (Comisión Federal de Comunicaciones, de EEUU) anunció oficialmente la asignación de espectro ITS de 5,9 GHz para C-V2X en diciembre de 2019. Finalmente, FCC decidió retener 30 megahercios de espectro en 5.895–5.925 GHz para los servicios de radio ITS utilizando tecnología C-V2X en noviembre de 2020. Mientras tanto, Europa está desarrollando una nueva EN (European Standard) para definir el uso de C-V2X como tecnología de capa de acceso para C-ITS (Cooperative-Intelligent Transport System), que está aprobado por ETSI. Australia comenzó originalmente las pruebas en carretera de la tecnología C-V2X en Victoria, a fines de 2018. En China, las primeras pruebas C-V2X se lanzaron en 2016 utilizando CATT de triple nivel (Datang), Huawei Hisilicon y el chipset Qualcomm. Las pruebas de interoperabilidad de las aplicaciones LTE-V2X basadas en PC5 con interoperabilidad de múltiples proveedores terminaron en Shanghai en noviembre de 2018, y la demostración de la aplicación de interoperabilidad C-V2X “FourLayers” se organizó en Shanghai en octubre de 2019. Comenzó la prueba C-V2X en Japón en 2018, y los casos de uso incluyen V2V, V2P, V2I, así como operaciones V2N a través de comunicaciones de área amplia basadas en redes celulares con acceso a la nube. Corea del Sur había demostrado con éxito las comunicaciones 5G C-V2X entre vehículos de prueba autónomos (AV) en 2019.

Teniendo en cuenta las versiones actuales de 3GPP y la preparación de la cadena de suministro, 5GAA incluso desarrolló un plan a largo plazo de casos de uso de C-V2X de seguridad básica y eficiencia del tráfico en todo el mundo en septiembre de 2020 [17]. Vemos en la siguiente tabla, una línea del tiempo con los casos pasados y futuros, planeados por la 5GAA.

≤2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
3GPP Release 14	3GPP Release 15	3GPP Release 16	3GPP Release 17	3GPP Release 18									
	Eficiencia del tráfico. Ejemplo: Información de tráfico y peligros locales.	Seguridad. Ejemplo: luz de freno, electrónica, de emergencia para la asistencia de giro a la izquierda				Seguridad avanzada. Conducción autónoma paso1. Ejemplo: parking automatizado para vehículos autónomos.	Seguridad avanzada. Conducción autónoma paso2. Ejemplo: uso compartido de sensores HD, para vehículos autónomos.						

TABLA 5 – LÍNEA DEL TIEMPO DESDE LOS CASOS INICIALES HASTA LOS FUTUROS CASOS PLANEADOS POR 5GAA. FUENTE: [17].

5.4.1. 5GAA espectro radioeléctrico.

La 5GAA opina que la disposición de los casos de uso de conducción avanzada previstos por LTE-V2X y 5G-V2X para las comunicaciones requerirán disponibilidad de toda la banda de 5,9 GHz (5850-5925 MHz) que está armonizado globalmente para ITS por ITU-R13. Como la industria de los ITS se desarrolla aún más, se ha comenzado a comprender mejor las demandas de seguridad y conducción en la automatización, veremos hasta qué punto los 5,9 GHz son suficientes para satisfacer las necesidades de espectro de los usuarios de la carretera, y si será suficiente el espectro adicional asignado para los ITS [18].

A la luz de esto, la 5GAA opina que las administraciones nacionales deben hacer tanto como sea posible que la banda de 5.9 GHz esté disponible para su uso por ITS. Específicamente, las posiciones de la 5GAA en relación con China, Europa y EE. UU. son las siguientes:

- En China, 5905-5925 MHz (20 MHz) está asignado actualmente para su uso por comunicaciones directas LTEV2X para la entrega de servicios

ITS, con el bloque menor de 10 MHz para comunicaciones de vehículo a vehículo (V2V), y el bloque de la parte superior de 10 MHz para comunicaciones de vehículo a infraestructura (V2I). El 5GAA espera que esta asignación sea suficiente para respaldar los casos de uso iniciales, pero que los casos de uso avanzados requerirán espectro adicional. 5GAA por lo tanto recomienda que la disponibilidad de espectro para las comunicaciones directas C-V2X en China se amplíe de acuerdo con la banda de 5850-5925 MHz para aplicaciones ITS según lo definido por el UIT-R.

- En Europa la disponibilidad de espectro para ITS está ampliamente alineada con la Banda de 5850-5925 MHz armonizada a nivel mundial según la definición del UIT-R. En Europa, 5855-5875 MHz está designado para ITS de carreteras no seguras, mientras que 5875-5935 MHz está designado para ITS relacionados con la seguridad. Esta disponibilidad está en una base tecnológica neutral.
- Estados Unidos está consultando actualmente sobre la asignación de 5905-5925 MHz (20 MHz) a comunicaciones directas C-V2X, junto con la opción de asignar 5895-5905 MHz a comunicaciones directas a C-V2X o DSRC. Como se describió anteriormente, y a la luz de la demanda de espectro para casos de uso avanzados, 5GAA recomienda que la disponibilidad de espectro para comunicaciones directas C-V2X en los EE. UU. se amplíe de acuerdo con la banda de 5850-5925 MHz para aplicaciones ITS según lo definido por el UIT-R.

Además, sus estudios indican que las asignaciones actuales de espectro disponibles a los operadores móviles no son suficientes para soportar las comunicaciones basadas en redes móviles avanzadas anticipadas por la industria automotriz. El 5GAA tiene como objetivo que las administraciones nacionales y regionales aborden esto con las siguientes acciones complementarias:

- Al menos 50 MHz de banda baja adicional independiente del servicio (<1 GHz), para que el espectro esté disponible y así los operadores de redes de servicios móviles puedan utilizar los

servicios V2N automotrices avanzados en entornos rurales con asequibles costos de implementación.

- Al menos 500 MHz de banda media adicional independiente del servicio (1 a 7 GHz), para que el espectro esté disponible para los operadores de redes móviles y así que estos puedan proporcionar una alta capacidad en los servicios V2N automotrices avanzados en toda la ciudad.

6. Ejemplo práctico de aplicación, relacionado con la tecnología V2X.

6.1. Demostración de conducción autónoma con V2X.

Vamos a ver el estudio realizado por el departamento de tecnologías de la automoción, en University of Technology and Economics, de Budapest. Concretamente este estudio es una demostración de conducción autónoma con V2X [26]. En el documento del estudio se presentan escenarios de la vida real, concretamente en la autopista M86 y el campo de pruebas ZalaZONE de Hungría. En la demostración de comunicación vehicular con soporte 5G, los vehículos intercambian información recibida por los sensores, con el control y el entorno y sus Digital Twins. La tecnología “Digital Twin” requiere una infraestructura de red celular altamente confiable y de baja latencia para el control autónomo de vehículos. Se utiliza la metodología Scenario-in-the-Loop (SciL), donde las accionables que alertan los sensores, no se encuentran físicamente, pero se simulan alrededor del vehículo. Se realizarán mediciones para verificar la fiabilidad del 5G en la conducción autónoma, con el objetivo de ver cuales la latencia actual y las limitaciones en el rendimiento en condiciones reales. Se inauguró en 2019 abriendo 3 módulos de prueba y se finalizará la construcción del campo de pruebas en 2021.

6.1.1. Escenarios de demostración

Hay dos partes en la prueba. En la primera parte se presentaron soluciones de otra organización automotriz húngara, utilizando sus tecnologías y herramientas, combinándolas y desarrollándolas. Los datos de posición se

complementaron con sensores ambientales del vehículo. Además, la información del Digital Twin también influyó en el comportamiento del vehículo. La demostración fue guiada por un test para vehículo autónomo, el VUT (Vehicle Under Test). La comunicación entre el vehículo, la simulación del entorno y el controlador de objetos se realiza mediante 5G. Como prueba se probó el caso en que un peatón circulaba por delante del vehículo, y como se esperaba este se detuvo hasta que dejó de detectar el obstáculo. Vemos una imagen del VUT y la simulación del paisaje virtual.



FIGURA 4 - VUT Y PAISAJE VIRTUAL. FUENTE: [26].

Y también una imagen de la simulación con el peatón en la carretera.



FIGURA 5 - FRENADA AUTOMÁTICA DEL VUT ANTE UN OBSTÁCULO. FUENTE: [26].

En la segunda parte, los vehículos circulaban por un segmento cerrado de la autopista M86 de Hungría. Los datos se recopilaban a través de varios sensores internos del vehículo y en la carretera, mientras se llevaron a cabo mediciones para luego poder analizarlas. Estas mediciones son clave para la implementación de tecnologías. Muchas universidades y compañías automovilísticas participaban en este proceso.

6.1.2. Arquitectura SciL.

El sistema de demostración utilizado SciL (Scenario-in-the-Loop) tiene diferentes elementos y conexiones lógicas, los cuales podemos ver en la siguiente figura 6. Entre los cuales, se encuentran los siguientes elementos lógicos:

- Dispositivos: proveedor de datos o dispositivos para el consumidor. Durante la demostración se incluyó el vehículo bajo prueba, sensores RSU y un maniquí físico para peatones.
- On-site Computer: esta computadora se encarga de la simulación SciL y de realizar el Digital Twin. Al mismo tiempo recibiendo datos directamente de los dispositivos y el Sistema Recolector de Datos DCS (Digital Colector System), el cual se encarga de recolectar datos y distribuir varios de estos por en el sistema.
- Plataforma de ejecución de algoritmos externos. Cabe la posibilidad de que haya elementos externos que reciban y analicen los datos disponibles del DCS para proporcionar más información.

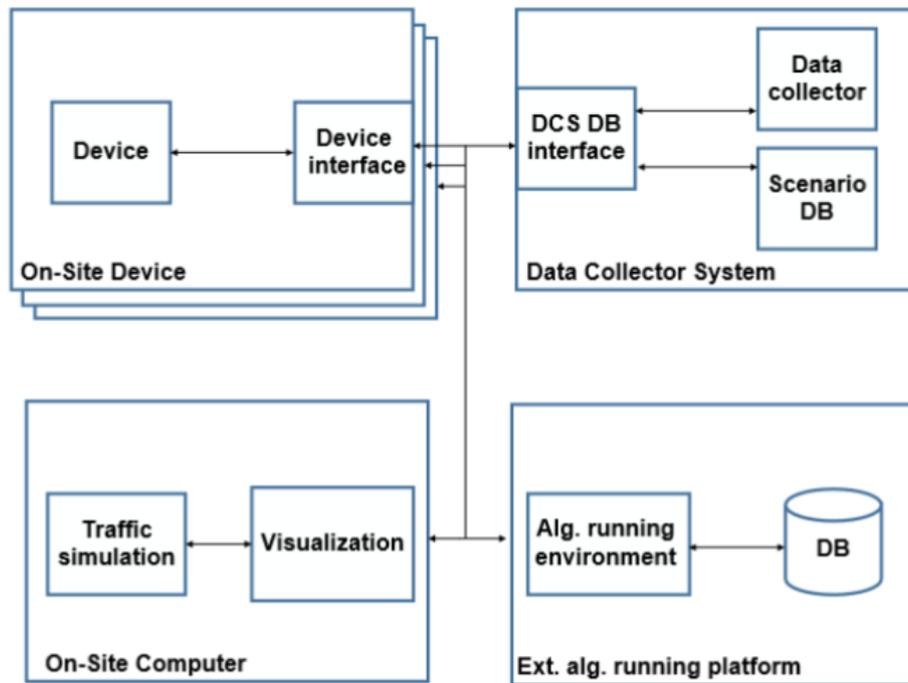


FIGURA 6 - ARQUITECTURA DE ALTO NIVEL DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN Y SUS MÓDULOS.

6.1.3. Red 5G del escenario de medida.

Se instaló una antena 5G de Ericsson en la torre de telecomunicaciones de Magyar Telekom, la cual estaba conectada a la sede en Aquisgrán. Esto proporcionó una red 5G experimental. La On-site Computer se utilizó como parte de la infraestructura para controlar los escenarios de demostración. Como estos dispositivos estaban cerca de los controladores, permitieron proporcionar capacidad informática suficiente junto con una latencia extremadamente baja. Los vehículos se equiparon con módems 5G para proporcionar conectividad entre el centro de control y la localización en el automóvil mediante VPN (Virtual Private Network). Por otro lado T-Systems proporcionó conexión óptica de banda ancha, así como la infraestructura física. También estaba disponible la cobertura 4G+ de MagyarTelekom, como respaldo.

6.1.4. Metodología utilizada en las mediciones.

Se ha medido la latencia según iban variando la velocidad del vehículo, el tiempo de llegada entre los paquetes IAT (Inter-Arrival-Time) y la longitud de paquete PL (Packet Length). Estas métricas son las más importantes en los futuros casos de uso de vehículos 5G, ya que los casos de uso de V2X tienen requisitos estrictos de tiempo crítico. Basándose en estudios anteriores que

han realizado [27], identificaron 3 escenarios de medición con diferentes PL y parámetros IAT y un escenario con parámetros constantes. Los escenarios son los siguientes:

1. De 2 ms IAT y 60 Byte PL, a 62 ms IAT y 960 Byte PL. Ir incrementando el PL en 60Byte en cada iteración, y el IAT en 20 ms cada cuatro interacciones.
2. De 10ms IAT y 250 Byte PL, a 310 ms IAT y 4000 Byte PL. Ir incrementando el PL en 250 Byte por cada iteración y el IAT en 100 ms cada cuatro interacciones.
3. De 10 ms IAT y 700 Byte PL, a 610 ms IAT y 11200 Byte PL. Ir incrementando el PL en 700Byte en cada iteración, y el IAT en 200 ms cada cuatro interacciones.
4. Constante: 2ms IAT y 40 Byte PL.

6.1.5. Resultados mediciones.

Los resultados en la tabla 6 muestran que, para las tarifas máximas, el escenario 5G funciona mucho mejor que el 4G. Como se presenta, la transmisión de enlace ascendente 5G-NSA tiene un rendimiento similar al 4G, porque, aquí, se usa el mismo eNB que para los casos 4G (pero la señalización es diferente). Los resultados de latencia comparativa también son significativamente mejores para 5G que para 4G, como se esperaba. En el documento original del estudio, podemos ver más a fondo los resultados obtenidos presentados como diagramas de caja en los diferentes escenarios de medición.

	4G	5G	5G-NSA
Downlink Peak Rate	420 Mbps	885 Mbps	1465 Mbps
Uplink Peak Rate	87 Mbps	92 Mbps	91 Mbps
Latency	12 ms	3.71 ms	4.96 ms
Packet Error Rate	0.2 %	0.39 %	0.67 %

TABLA 5 - RESULTADOS MEDICIONES

7. Conclusiones.

Como conclusiones, hemos podido realizar un estudio preliminar de todo lo relacionado con redes vehiculares y su conexión con 5G y vehículos autónomos. Pasando desde las ITS, las redes vehiculares, las diferentes tecnologías como el V2X, hasta llegar el vehículo autónomo.

Otra conclusión importante ha sido mostrar la importancia de las redes ITS y estudiar un poco la legislación vigente. Hemos aprendido los elementos de las redes vehiculares, sus tipos de comunicación, las tecnologías que utilizan y los estándares. También hemos visto las tecnologías utilizadas para el coche autónomo, los niveles de automatización que hay en los vehículos, la conectividad mediante el 5G y la legislación vigente.

Por otro lado, hemos realizado un análisis sobre las aplicaciones más relevantes de la tecnología 5G en redes vehiculares y en el vehículo autónomo. Seguidamente, pero no menos importante, hemos analizado en detalle una de las tecnologías que utiliza el coche autónomo, el C-V2X, viendo sus diferentes modos de comunicación, modos de programación, la estandarización y sus futuras mejoras y líneas abiertas.

Para finalizar hemos explicado un estudio sobre un ejemplo práctico de aplicación relacionado con el coche conectado y el V2X.

Me ha encantado realizar este trabajo de fin de grado ya que he elegido un tema de actualidad y desde mi gusto personal me interesa mucho todo lo relacionado con nuevas tecnologías de comunicación y con avances tecnológicos que puedan ayudar a mejorar la vida de las personas. Por otro lado, tras realizar mis prácticas en empresa, las cuales han estado relacionadas con las comunicaciones móviles, he podido formarme mucho en este ámbito, y el hecho de aprender tanto sobre ello me ha hecho ver que me gusta mucho.

En cuanto a la realización del TFG, ha sido más fácil gracias a la ayuda de mis tutores en la empresa y en la universidad, sin ellos no podría haber sacado tanto partido al trabajo. Me han ayudado en todo y les estoy muy agradecida.

Agradecer también el apoyo a mi familia y amigos, ya que sin ellos no habría podido llevar este “estrés” que supone el realizar el TFG y que todo sea perfecto.

8. Bibliografía.

- [1] J. Antonio and S. Sánchez, “Redes Vehiculares Aplicadas a la Movilidad Inteligente y Sostenibilidad Ambiental en Entornos de Ciudades Inteligentes,” Oviedo, 2017. Accessed: May 11, 2021. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/153484156.pdf>.
- [2] movilidad y agenda urbana. Gobierno de España. Ministerio de Transportes, “Sistemas inteligentes de transporte | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana,” *Sistemas inteligentes de transporte*. <https://www.mitma.gob.es/transporte-terrestre/sistemas-inteligentes-de-transporte/sistemas-inteligentes-de-transporte-its> (accessed May 15, 2021).
- [3] Parlamento europeo y el consejo de la unión europea., “Directiva 2010/40/UE del parlamento europeo y del consejo,” *Marco para la implantación de los sistemas de transporte inteligentes en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte*, Jul. 07, 2010. https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/77CCCE9E-3548-41FE-BF7A-AF03023445F2/115152/LexUriServ.pdf (accessed May 15, 2021).
- [4] relaciones con las cortes y memoria democrática. Gobierno de España. Ministerio de la presidencia, “BOE.es - BOE-A-2012-5043 Real Decreto 662/2012, de 13 de abril, por el que se establece el marco para la implantación de los sistemas inteligentes de transporte (SIT) en el sector del transporte por carretera y para las interfaces con otros modos de transporte.” *Real Decreto 662/2010*. , Apr. 14, 2012. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2012-5043> (accessed May 15, 2021).
- [5] PIARC, “Servicios y Aplicaciones ITS | RNO/ITS - PIARC (Asociación Mundial de Carreteras).” <https://rno-its.piarc.org/es/conceptos-basicos-its-que-significa-its/servicios-y-aplicaciones-its> (accessed May 15, 2021).
- [6] C-ITS deployment group, “Misión.” <https://c-its-deployment->

- group.eu/mission/mission/ (accessed May 15, 2021).
- [7] A. M. Orozco, G. Llano, and R. Michoud, "Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación," *Ingenium*, vol. 6, no. 12, p. 11, Jun. 2012, doi: 10.21774/ing.v6i12.51.
- [8] T. K. Sushma and A. Professor, "A Study on Vehicular Ad-Hoc Network (VANET)," 2015. Accessed: May 21, 2021. [Online]. Available: <https://www.ijert.org/research/a-study-on-vehicular-ad-hoc-network-vanet-IJERTCONV3IS27032.pdf>.
- [9] Carlos Barredo Abellón, "Las comunicaciones V2X son esenciales para una conducción más segura y eficiente." https://www.gmv.com/blog_gmv/language/es/las-comunicaciones-v2x-son-esenciales-para-una-conduccion-mas-segura-y-eficiente/ (accessed May 23, 2021).
- [10] J. E. Florez, J. A. Rojas, and D. A. López, "EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN PARA REDES VEHICULARES DE ÚLTIMA GENERACIÓN," Jan. 2010. Accessed: May 25, 2021. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/229174709.pdf>.
- [11] L. Montoro González Ana Martí-Belda Bertolín Ignacio Lijarcio Patricia Bosó Consuelo López and R. Viladrich Castellanas José Suárez Reyes, "Coche Autónomo, seguridad vial y formación de conductores Realizado por: Grupo de investigadores INTRAS," Valencia.
- [12] ASEPA, "Boletín de Noticias de Automoción.," Oct. 2020.
- [13] Enrique Pérez, "Coche conectado: 27 tecnologías que transformarán nuestra manera de conducir," Mar. 31, 2019. <https://www.xataka.com/automovil/futuro-coche-conectado-27-tecnologias-que-transformaran-nuestra-manera-conducir-utilizar-coche> (accessed Jul. 01, 2021).
- [14] A. Rodríguez Saiz, "TECNOLOGÍAS C-V2X Y DSRC PARA EL VEHÍCULO CONECTADO EN REDES DE NUEVA GENERACIÓN," Cataluña, Jun. 2020. Accessed: Jun. 24, 2021. [Online]. Available:

<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/117806/6/arosa92TFM0620memoria.pdf>.

- [15] “eNodeB - Wikipedia,” Mar. 14, 2021. <https://en.wikipedia.org/wiki/ENodeB> (accessed Jul. 02, 2021).
- [16] S. A. A. Shah, E. Ahmed, M. Imran, and S. Zeadally, “5G for Vehicular Communications,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 1, pp. 111–117, Jan. 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700467.
- [17] L. Miao, J. J. Virtusio, and K.-L. Hua, “PC5-Based Cellular-V2X Evolution and Deployment,” 2021, doi: 10.3390/s21030843.
- [18] Thomas Linget, “A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity technologies, and radio spectrum needs 5G Automotive Association,” 5GAA, 2020, Accessed: Jul. 09, 2021. [Online]. Available: www.5gaa.org.
- [19] George Corser, “Modelo de sistema: incluye vehículo a vehículo (V2V) y ... | Descargar diagrama científico.” https://www.researchgate.net/figure/System-model-includes-vehicle-to-vehicle-V2V-and-vehicle-toinfrastructure-V2I_fig5_296473500 (accessed Jul. 13, 2021).
- [20] “Wireless Access in Vehicular Environments - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Wireless_Access_in_Vehicular_Environment
- [21] “BOE.es - DOUE-L-2020-81475 Decisión de Ejecución (UE) 2020/1426 de la Comisión de 7 de octubre de 2020 relativa al uso armonizado de espectro radioeléctrico en la banda de frecuencias 5875-5935 MHz para aplicaciones relacionadas con la seguridad de los sistemas de transporte inteligentes (STI) y por la que se deroga la Decisión 2008/671/CE [notificada con el número C(2020) 6773].” <https://boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2020-81475> (accessed Jul. 13, 2021).#Estándar_
- [22] “BOE.es - Búsqueda sencilla de legislación.” <https://boe.es/buscar/legislacion.php?campo%5B2%5D=tit&dato%5B2%5D>

- D=sistemas inteligentes
transporte&accion=Buscar&checkbox_solo_tit=S&sort_field%5B0%5D=P
ESO&sort_order%5B0%5D=desc (accessed Jul. 13,
2021).IEEE_802.11p (accessed Jul. 13, 2021).
- [23] “BOE.es - BOE-A-2021-3631 Resolución de 16 de febrero de 2021, de la Universitat Politècnica de València, por la que se publica el plan de estudios de Máster Universitario en Sistemas Inteligentes de Transporte.” <https://boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2021-3631> (accessed Jul. 13, 2021).
- [24] Carlos Barredo Abellón., “Las comunicaciones V2X son esenciales para una conducción más segura y eficiente.” https://www.gmv.com/blog_gmv/language/es/las-comunicaciones-v2x-son-esenciales-para-una-conduccion-mas-segura-y-eficiente/ (accessed Jul. 13, 2021).
- [25] “ECE / TRANS / WP.29 / 2020/81 - E - ECE / TRANS / WP.29 / 2020/81 - Escritorio.” <https://undocs.org/ECE/TRANS/WP.29/2020/81> (accessed Jul. 13, 2021).
- [26] Z. Szalay, D. Ficzer, V. Tihanyi, F. Magyar, G. Soós, and P. Varga, “5G-Enabled Autonomous Driving Demonstration with a V2X Scenario-in-the-Loop Approach,” doi: 10.3390/s20247344.
- [27] G. Soos, D. Ficzer, and P. Varga, “electronics Article,” doi: 10.3390/electronics9040640.
- [28] “Acerca de: C-Roads.” <https://www.c-roads.eu/platform/about/about.html> (accessed Jul. 15, 2021).