

Diseño de corredores de prioridad dinámicos para vehículos de emergencia basados en V2X.

Sandra Comesaña Hermida

Master en Ingeniería de Telecomunicación
Smart Cities

Xavier Saura Mas

Carlos Monzo Sánchez

05 de Enero de 2022



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Diseño de corredores de prioridad dinámicos para vehículos de emergencia basados en V2X.</i>
Nombre del autor:	<i>Sandra Comesaña Hermida</i>
Nombre del consultor/a:	<i>Xavier Saura Mas / Carlos Monzo Sánchez</i>
Nombre del PRA:	<i>Carlos Monzo Sánchez</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	01/2022
Titulación::	<i>Master en Ingeniería de Telecomunicación</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Smart Cities</i>
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave	<i>V2X, Sistemas Cooperativos, Movilidad inteligente, Corredores, Gestión de tráfico,</i>
<p>Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.</i></p>	
<p>En ciudades con alta densidad de población, los vehículos de emergencia a menudo se encuentran con situaciones en las que el desplazamiento por la ciudad se vuelve complicado, provocando retrasos en su llegada o en el peor de los casos, no llegando a tiempo ante una situación crítica.</p> <p>El objetivo de este proyecto es establecer unas bases para el desarrollo de un sistema que gestione el tráfico creando corredores específicos en tiempo real para vehículos autorizados y así de, esta forma priorizar su paso y reducir los tiempos de respuesta.</p> <p>Se pretende que, en caso de una emergencia, se establezca comunicación entre los vehículos autorizados implicados, los diferentes dispositivos de la ciudad y el centro de gestión de tráfico correspondiente, así como de ser posible con el resto de vehículos que circulen por la zona, para priorizar los vehículos autorizados por un corredor habilitado específicamente para ese caso. Se redirigirá a dicho vehículo por la ruta más corta priorizando su paso y redirigiendo el resto de vehículos hacia rutas alternativas o cortándoles el paso para así minimizar el tiempo de respuesta ante un incidente. Para llevar a cabo esta propuesta, se utilizarán como base los sistemas cooperativos, principalmente la comunicación V2X.</p> <p>En el futuro, esta propuesta también serviría para una gestión de tráfico más eficiente, evitando aglomeraciones y de esta forma reduciendo el consumo en vehículos.</p>	

Abstract (in English, 250 words or less):

In high population density cities, emergency vehicles often encounter situations in which moving around the city becomes complicated, causing delays in their arrival or, in the worst case, not arriving in time in a critical event.

The objective of this project is to establish a base for the development of a system that manages the traffic creating specific corridors in real-time for authorized vehicles in order to prioritize their transit and reduce response times.

In case of an emergency, communication will be established between the authorized vehicles involved, the different devices in the city and the corresponding traffic management centre, as well as, if possible, with the rest of the vehicles in the area, to prioritize the authorized vehicles through a corridor specifically enabled for that case. The vehicle will be redirected to the shortest route, prioritizing its transit and redirecting the rest of the vehicles to alternative routes or cutting them off to minimize the response time in an incident. To carry out this proposal, cooperative systems, mainly V2X communication, will be used as a basis.

In the future, this proposal would also serve for more efficient traffic management, avoiding congestion and, in this way, reducing vehicle consumption.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Contexto y justificación del Trabajo	1
1.2	Objetivos del Trabajo.....	2
1.3	Enfoque y método seguido	2
1.4	Planificación del Trabajo.....	3
1.4.1	Recursos	3
1.4.2	Planificación Temporal	3
2	Estado del arte.....	6
2.1	Sistemas cooperativos y V2X.	6
2.2	Casos de uso.....	7
2.2.1	Servicios de “Día 1”	9
2.2.2	Servicios de “Día 2”	9
2.2.3	Servicios de “Día 3+”	10
2.2.4	Estado actual	10
2.3	Arquitectura del sistema V2X.....	12
2.3.1	Infraestructura	12
2.3.2	Modelo OSI	15
2.3.3	Protocolo de comunicación	17
2.3.4	Ciberseguridad.....	18
2.3.5	Tipos de mensajes.	20
2.4	Proyectos piloto	21
2.4.1	C-Roads Spain.....	21
2.4.2	Car2X & C-V2X – Connected vehicle pilot projects from the US.	22
2.4.3	CONCORDA – Connected Corridor for Driving Automation.....	22
3	Diseño de la solución.....	23
3.1	Propuesta de solución.	23
3.2	Diseño del entorno.....	25
3.2.1	Centro de gestión de tráfico.	25
3.2.2	Infraestructura	27
3.2.3	Vehículo de emergencias.....	28
3.3	Comunicación	29
3.3.1	Capa de red: Geonetworking	29
3.3.1.1	<i>GeoUnicast</i>	33
3.3.1.2	<i>GeoBroadcast</i>	33
3.3.2	Capa de transporte: MQTT	34
3.3.3	Mensajes.....	35
3.3.3.1	Mensajes DENM	36
3.3.3.2	Mensajes IVIM	40
3.3.3.3	Mensajes SREM y SSEM	42
3.4	Ciberseguridad	44
3.4.1	Infraestructura de seguridad	44
3.4.2	Seguridad en la arquitectura de los sistemas ITS.	46
3.5	Ejemplo Barcelona.....	48
3.5.1	Despliegue de la infraestructura.....	49
3.5.2	Funcionamiento.....	50

4	Análisis de la propuesta de TFM.....	53
5	Conclusiones	54
5.1	Objetivos conseguidos.....	54
5.2	Planificación y metodología adoptada	54
5.3	Líneas de trabajo futuras	55
6	Glosario	56
7	Bibliografía.....	58

Lista de figuras

Ilustración 1 - Diagrama de Gantt	5
Ilustración 2 – Hoja de ruta V2X[6].	8
Ilustración 3 - OBU de Ficoso con chip de Qualcomm[11].	11
Ilustración 4 - RSU comercializada por Commsignia[12].	11
Ilustración 5 - Entorno ITS simplificado[13].	12
Ilustración 6 - RSU situada en un semáforo de la Gran Vía en Vigo. Foto de Google Maps.	13
Ilustración 7 - Vehículo de pruebas V2X [16].	14
Ilustración 8 - Ejemplo bus CAN[17].	14
Ilustración 9 - Capas del modelo OSI	16
Ilustración 10 - Arquitectura de referencia para una estación ITS.[20]	17
Ilustración 11 - Arquitectura de Seguridad de una estación ITS[25].	19
Ilustración 12 - Escenario de referencia de las comunicaciones ITS[25].	20
Ilustración 13 - Diagrama de la solución	24
Ilustración 14 - Topología de estrella	26
Ilustración 15 - Funcionamiento Centro Gestión de Tráfico	27
Ilustración 16 - <i>GeoUnicast</i> [36]	31
Ilustración 17 - <i>GeoBroadcast</i> [36].	31
Ilustración 18 - <i>Topologically-Scoped Broadcast</i> [36].	32
Ilustración 19 - Ejemplo arquitectura MQTT[40].	35
Ilustración 20 - Estructura general de un mensaje DENM[35].	37
Ilustración 21 - Descripción y código de causa asignado por casos de uso ETSI[35].	38
Ilustración 22 - Caso de uso <i>Emergency vehicle approaching</i> [13].	39
Ilustración 23 - Definición <i>recommendedPath</i> [35].	40
Ilustración 24 - Estructura de los mensajes IVIM [41].	41
Ilustración 25 - Caso de uso de carril flexible[13].	42
Ilustración 26 - Ejemplo del servicio TLC[28].	43
Ilustración 27 - Arquitectura PKI [43].	46
Ilustración 28 - Detalle de la capa de seguridad en la arquitectura ITS[20].	47
Ilustración 29 - Flujo de comunicación entre transmisor (izq.) y receptor (dcha.)[44].	48
Ilustración 30 - Distribución RSUs en Diagonal	49
Ilustración 31 - Esquema del funcionamiento	50
Ilustración 32 - Ejemplo de un panel de la Diagonal indicando un carril bloqueado. Imagen de Google Maps.	52
Ilustración 33 - Ejemplo de mensaje IVI recibido en vehículo[45].	52

Lista de tablas

Tabla 1 - Casos de uso CAM[26].

32

1 Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo

El concepto Smart Cities busca soluciones a los problemas futuros, y no tan futuros, en los que nos encontraremos ciudades superpobladas y problemas de gestión de recursos.

En la actualidad, el 80% de la población de España vive en ciudades por lo que ya nos encontramos los primeros problemas debidos a la superpoblación.

Uno de los principales problemas derivados de esta superpoblación de las ciudades es la movilidad. La sociedad actual se basa en la movilidad tanto de las personas como de los recursos lo que provoca una gran densidad de tráfico en las carreteras, lo que nos lleva a más accidentes de tráfico, más atascos, y ciudades colapsadas al mínimo problema.

Teniendo en cuenta este marco, en este Trabajo Final de Master, se pretende abordar la reducción de los tiempos de respuesta frente a emergencias en ciudades superpobladas y proponer una solución viable, escalable y que pueda implantarse en cualquier gran ciudad.

Para esto, se plantea un modelo en el que se gestione el tráfico de forma dinámica en función de las necesidades de cada momento para así, evitar posibles soluciones tradicionales, como la ampliación de la infraestructura, ya que este tipo de soluciones no siempre son posibles además de que necesitan una inversión económica mucho mayor y una planificación previa que haya previsto un posible aumento de la ciudad, circunstancia que no suele ser la habitual.

Para llevar a cabo esta propuesta de TFM, se estudiará utilizar soluciones como las que ofrecen los sistemas cooperativos, utilizando principalmente la tecnología V2X, la cual se basan en el intercambio de información entre los diferentes elementos de las vías, vehículos incluidos, para que así puedan interactuar entre ellos. Esta interacción permitirá que no sea necesario “ver” para adoptar medidas frente a situaciones complejas, ya que la información se recibirá con más antelación y por lo tanto se podrá actuar también con más antelación a la hora de adoptar las medidas necesarias.

El principal objetivo de este proyecto es la propuesta de una solución al problema desde un punto de vista técnico, adoptando los estándares actuales y haciendo una propuesta del sistema, de la arquitectura y de la comunicación necesaria. Además, se espera obtener un producto escalable que pueda servir para otros casos de uso.

1.2 Objetivos del Trabajo

Los objetivos del TFM y las necesidades a cubrir son las siguientes:

- Analizar los diferentes estándares que regulan los sistemas cooperativos para así poder basar la propuesta en los estándares actuales.
- Analizar los estándares relacionados con la gestión de tráfico para cumplir con los actuales reglamentos.
- Diseñar un producto de valor viable para implementar los corredores de emergencias propuestos en este TFM. El objetivo es que sea un sistema escalable y que pueda aplicarse a diferentes ciudades en el mundo.
- Diseñar una propuesta de infraestructura necesaria para los corredores. Estudiar las diferentes posibilidades de implementación disponible y elegir la que más se ajuste a nuestro TFM según los escenarios.
- Diseñar el funcionamiento del sistema detallando los diferentes subsistemas necesarios, para que cubra la necesidad encontrada teniendo en cuenta la viabilidad técnica.
- Diseñar o elegir el protocolo de comunicación necesario entre los elementos implicados en los corredores. Estudiar las diferentes opciones y elegir la mejor opción.
- Definir los diferentes mensajes a utilizar necesarios para la comunicación entre los diferentes actores.
- Analizar los posibles riesgos del TFM definido. Estudiar su viabilidad en diferentes ciudades.

1.3 Enfoque y método seguido

Para la realización de este TFM se divide el estudio en las siguientes cuatro fases:

- La primera fase, será la fase de concepto en la que se trabajará en la definición inicial del contenido, el alcance, los conceptos principales del diseño y los objetivos del proyecto.
- En la segunda fase, se inicia la recogida de datos, se realizará el análisis del estado del arte y se obtendrá la principal información necesaria para iniciar el proyecto.

- En la tercera fase, se iniciará el análisis de toda la información recopilada y a partir de esta información, se realizará la propuesta de diseño final.
- Finalmente, en la cuarta fase, se obtendrán las conclusiones del proyecto.

1.4 Planificación del Trabajo

1.4.1 Recursos

Para llevar a cabo este proyecto, se utilizará como principal fuente de información los estándares desarrollados actualmente para el ámbito de transporte inteligente, ITS (*Intelligent Transportation Systems*), los cuales se describirán en el capítulo sobre el estado del arte.

Además de estos estándares, se buscarán otros estudios relacionados y proyectos llevados a cabo para que sirvan de base para la investigación.

1.4.2 Planificación Temporal

La realización del TFM se ha planificado, por parte de la dirección del proyecto, en 5 entregables, PEC (Prácticas de evaluación continua). Teniendo en cuenta que la asignatura corresponde con 12 créditos ECTS (300h), se establece el plan de trabajo planteando una dedicación de 4h diarias, 7 días a la semana, sin tener en cuenta festivos. La planificación quedaría así:

- PEC1: Objetivo y alcance (15/09/2021 – 26/09/2021)
 - Propuesta y resumen y motivación: 3 día
 - Objetivos del proyecto: 2 días
 - Enfoque y método seguido: 2 días
 - Planificación: 2 días
 - Índice de la memoria: 2 día
 - Entrega: 0 día
- PEC2: Estado del Arte (27/09/2021 – 10/10/2021)
 - Búsqueda de información: 7 días
 - Modificación de primeras propuestas: 3 días
 - Redacción de la información: 4 días
 - Entrega: 0 días
- PEC3: Implementación del proyecto (11/10/2021 – 03/12/2021)
 - Análisis: 7 días
 - Diseño: 17 días
 - Implementación: 30 días
 - Entrega 0 días

- PEC4: Memoria del proyecto (4/12/2021 – 27/12/2021) 23 días
 - Redacción de la memoria: 17 días
 - Revisión: 7 días
 - Entrega: 0 días

- PEC5: Presentación del proyecto (28/12 – 05/01/2021) 8 días
 - Realización presentación + Audios: 9 días
 - Entrega: 0 días

El diagrama de Gantt sería el siguiente:

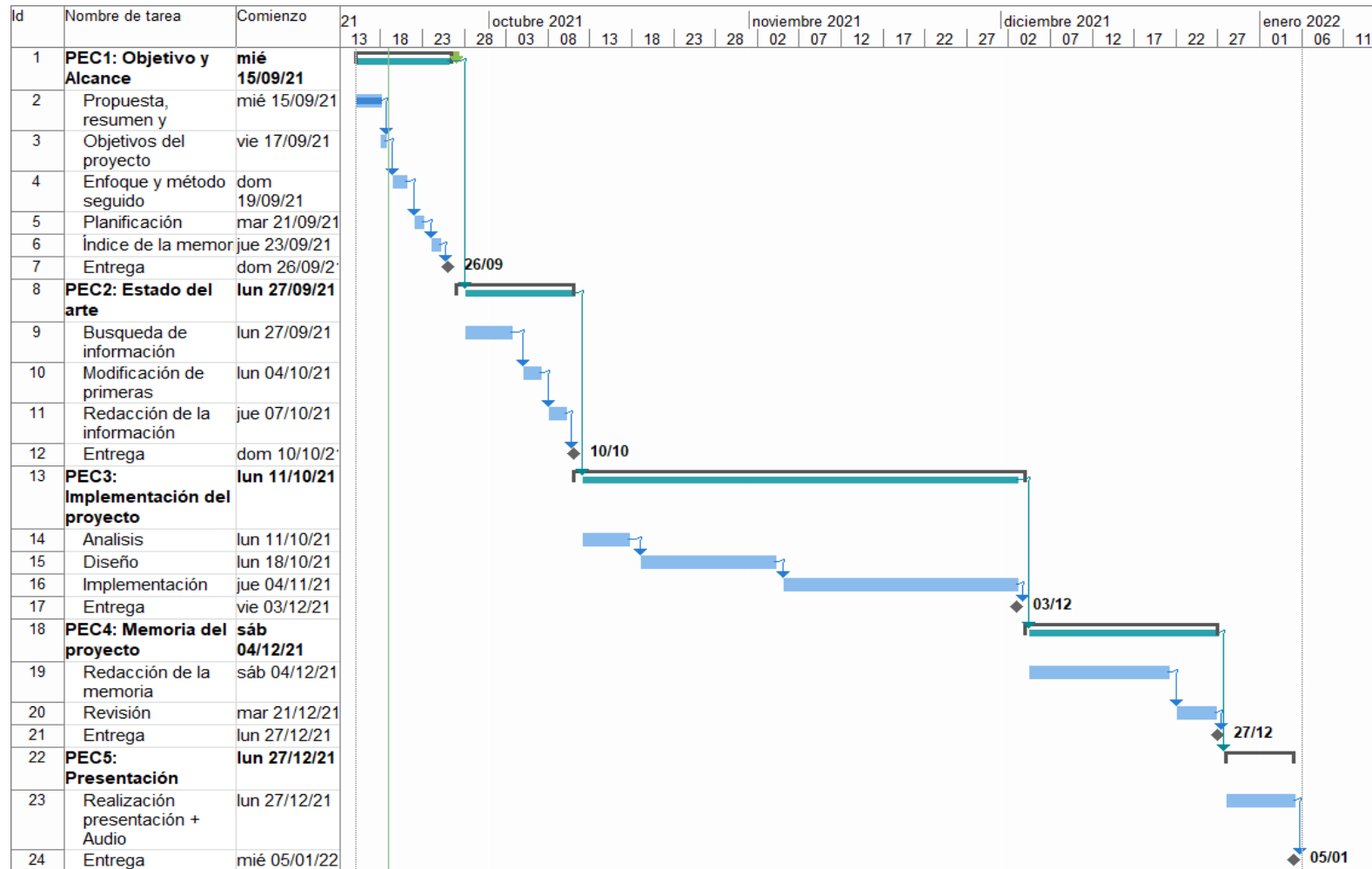


Ilustración 1 - Diagrama de Gantt

2 Estado del arte

En este capítulo se analizará la tecnología V2X en la cual se basa principalmente la propuesta de este Trabajo Final de Master (TFM).

Se empezará con una introducción de la evolución de los sistemas cooperativos y concretamente de las comunicaciones V2X, revisando el estado actual de los desarrollos y estándares, así como los próximos pasos.

También se analizará su arquitectura profundizando en la infraestructura, su modelo de desarrollo basado en el modelo OSI y diferentes aspectos relevantes.

Por último, se revisarán algunos de los proyectos pilotos que se han realizado y algunos que todavía se están llevando a cabo.

2.1 Sistemas cooperativos y V2X.

Los sistemas cooperativos, o sistemas cooperativos de transporte inteligente (en inglés C-ITS, *Cooperative Intelligent Transport System*) se definen como un grupo de tecnologías y aplicaciones que permite un intercambio de datos eficaz a través de tecnologías de comunicación inalámbrica entre componentes y actores del sistema de transporte.

Esta tecnología permite a los usuarios de la vía y a los gestores de tráfico compartir información y utilizarla para coordinar sus acciones. También busca mejorar significativamente la seguridad vial, la eficiencia del tráfico y la comodidad de la conducción, ayudando al conductor a tomar las decisiones correctas y a adaptarse a la situación del tráfico[1].

Estos sistemas cooperativos no son sistemas aislados si no que son parte de la conducción del futuro y se complementarán con sistemas como el coche autónomo para mejorar la seguridad vial.

Debido a la importancia de esta tecnología, la Comisión Europea adoptó una Estrategia Europea sobre Sistemas Inteligentes de transporte Cooperativos (C-ITS) en noviembre del 2016, con el objetivo de desplegar servicios C-ITS maduros en 2019 y en adelante. Esta decisión estratégica supone un hito muy importante en la movilidad cooperativa, conectada y autónoma en la que se busca enfocar los esfuerzos hacia una estandarización europea[1].

En 2016, los Estados Miembros y la Comisión lanzaron la plataforma C-Roads[2] a través de la cual se busca trabajar conjuntamente en el desarrollo de actividades, compartir especificaciones técnicas y verificar la interoperabilidad mediante pruebas entre diferentes grupos de trabajo.

Esta plataforma está formada por las autoridades de los Estados Miembros y las autoridades viales.

Otros entes muy importantes en el desarrollo de los Sistemas de Transporte Inteligente y que también han impulsado los sistemas cooperativos como parte de los ITS, son ERTICO-ITS Europe[3], que fue fundada en 1991 por líderes de la industria y la Comisión Europea para llenar el vacío entre la investigación y el despliegue de los servicios de movilidad, y CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C-CC)[4], formado por los principales fabricantes de vehículos europeos e internacionales, proveedores de equipos, empresas de ingeniería, operadores de carreteras e instituciones de investigación con el principal objetivo de investigar, desarrollar, estandarizar, etc... la comunicación V2X.

2.2 Casos de uso

Las comunicaciones V2X permiten un gran número de casos de uso para mejorar la seguridad de la conducción o la eficiencia del tráfico, así como proporcionar información o entretenimiento al conductor.

El consorcio de comunicaciones CAR 2 CAR (C2C-CC) ha definido una hoja de ruta de servicios y casos de uso para desplegar los servicios V2X en forma de "*White paper*", es decir, en forma de guía con el objetivo de orientar sobre las actividades necesarias para de esta forma, priorizar los servicios más relevantes e ir añadiendo futuros servicios a los ya existentes.

Estos servicios se han agrupado en fases consecutivas llamadas "Días"[5]. En la ilustración 2 se muestra la hoja de ruta de estas diferentes fases.

En cada una de estas fases, C2C-CC propone la introducción de servicios específicos relacionados con la aplicación, así como ejemplos de casos de uso. Estos servicios se definen bajo los estándares ETSI ITS.

2020 Roadmap

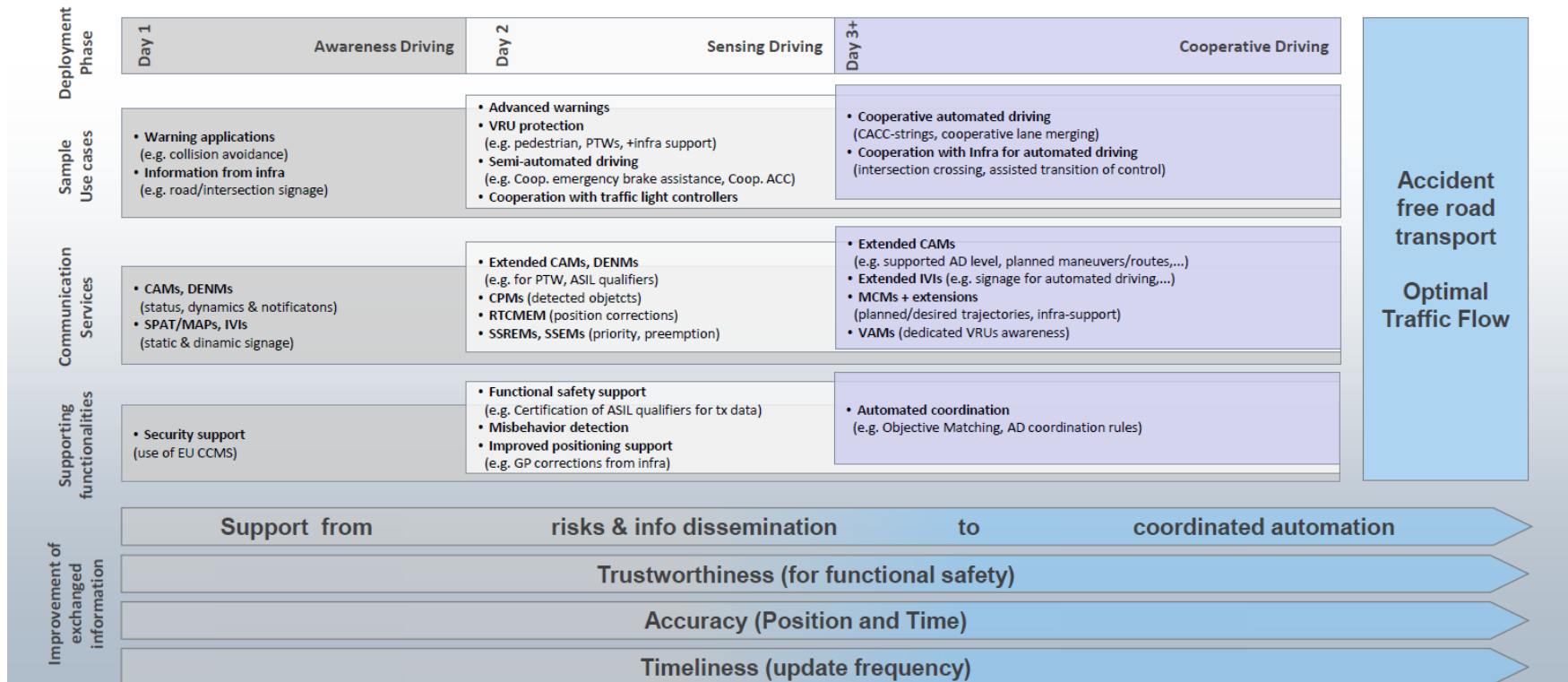


Ilustración 2 – Hoja de ruta V2X[6].

2.2.1 Servicios de “Día 1”

Los servicios de “Día 1” se centran en el intercambio de información sobre el estado de los vehículos y situaciones de peligro para mejorar la visión de los conductores.

Algunos de los casos de uso de ejemplo que se propusieron para esta fase fueron los siguientes:

- Advertencia de vehículo de emergencia.
- Advertencia de luz de frenada de emergencia.
- Advertencia de vehículo parado.
- Advertencia de atasco.
- Información de fases de semáforos.
- Información de aproximación de Motocicletas.

2.2.2 Servicios de “Día 2”

Los servicios de “Día 2” buscan mejorar la calidad del servicio y compartir información sobre la percepción y la concienciación. Es decir, buscan compartir información de objetos detectados además de mejorar la calidad de los servicios de “Día 1”. De esta forma, los vehículos receptores podrían estar al tanto de obstáculos no detectados con sus propios sensores y se podrán añadir aplicaciones de seguridad mejoradas con respecto a las aplicaciones incluidas en el “Día 1”.

Actualmente se trabaja en diferentes clústeres con diferentes casos de uso por cada uno.

El clúster de mejora de los servicios de apoyo a la infraestructura se compone de los casos de uso:

- Aviso de obras de larga duración.
- Soporte a las funciones (semi) automatizadas.

En el clúster de Conciencia cooperativa y extensiones del servicio de notificación descentralizado encontramos los siguientes casos de uso:

- C-ACC – Control de cruce adaptativo - Cooperativo
- PTW Applications - Aplicaciones para vehículos de dos ruedas con motor, es decir, las aplicaciones propias de motocicletas y scooters.

Y, por último, en el clúster de percepción colectiva se proponen los siguientes casos de uso:

- Integración cooperativa en autopistas
- Adelantamiento cooperativo o carreteras rurales.

2.2.3 Servicios de “Día 3+”

Los servicios de “Día 3+” son servicios más sofisticados, como compartir intenciones, apoyar la negociación y la cooperación para allanar el camino hacia la conducción autónoma cooperativa libre de accidentes. Algunos de los casos de uso propuestos para esta fase son:

- Advanced C-ACC – Control de cruce adaptativo – Cooperativo Avanzado
- Optimización con V2I (*vehicle to infraestructura*. Comunicación de vehículos e infraestructura) relativa a la información de semáforos.
- Mejoras en la protección de usuarios de la carretera vulnerables (VRU)

2.2.4 Estado actual

Actualmente, los servicios de “Día 1” se están implementando y ya están disponibles en vehículos cooperativos V2X y en algunas carreteras europeas. Desde el 2019, algunos fabricantes de vehículos europeos, como BMW[7], han comenzado la producción de vehículos equipados con estas funcionalidades basadas en la tecnología ETSI ITS G5[8]. Otros, como Ford[9], trabajan en integrar la tecnología C-V2X, la cual trataremos en el capítulo 2.3.3, en sus vehículos.

La empresa Qualcomm[10], fabrica la mayor parte de los chips para este tipo de comunicaciones tanto los vehículos como para la infraestructura. Fabricantes de piezas como Ficosa los utilizan para proveer a marcas automovilísticas con las OBUs necesarias. En la ilustración 3 se puede ver una OBU desarrollada por Ficosa.



Ficosa FITAX Onboard Unit (US, US)

Ilustración 3 - OBU de Ficosa con chip de Qualcomm[11].

Como se ha comentado, estos chips también son utilizados por fabricantes de hardware para la infraestructura. En la Ilustración 4 se puede ver una RSU, comercializada por Commsignia[12], la cual también utiliza un chip de la empresa Qualcomm.



Commsignia ITS-RS4-D KIT DSRC & C-V2X Dual Mode (US, EU)

Ilustración 4 - RSU comercializada por Commsignia[12].

Actualmente, los servicios de “Día 2” se encuentran en la fase de definición y desarrollo, mientras que los de “Día 3+” todavía no han entrado en la fase de definición.

Todos estos posibles servicios se siguen investigando en proyectos de I+D que permiten generar el conocimiento para desarrollar funciones y estándares que permitan la implementación a nivel usuario.

2.3 Arquitectura del sistema V2X

En el entorno de los sistemas cooperativos, se denominan estaciones (ITS-S) a los elementos que se comunican entre sí, y estas estaciones pueden comunicarse de las siguientes formas:

- De vehículo a vehículo (V2V).
- De vehículo a infraestructura (V2I).
- Y de infraestructura a vehículo (I2V).

A estas formas de comunicarse, se las conoce globalmente como V2X y actualmente se estudian más propuestas de comunicación como vehículo a peatón (V2P).

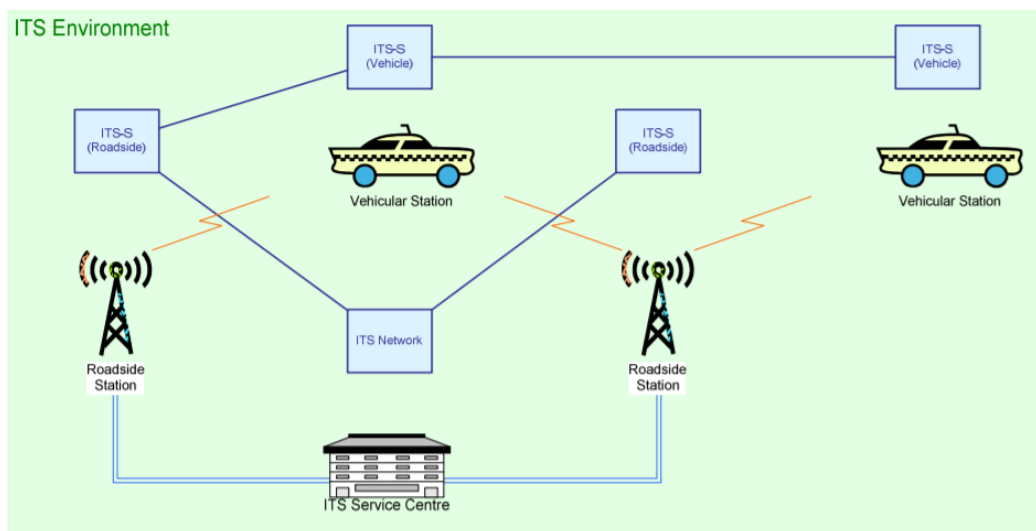


Ilustración 5 - Entorno ITS simplificado[13].

En la ilustración 5 se ve un ejemplo sencillo de comunicación mediante V2X. Como se puede ver en la ilustración, las diferentes estaciones (ITS-S), tanto las embarcadas en vehículos como las fijas en la carretera, establecen comunicación directa entre ellas y solo las estaciones fijas en la carretera son las encargadas de comunicarse con el centro de servicios ITS.

2.3.1 Infraestructura

Los dos dispositivos básicos en esta comunicación son las *Road Side Units* (RSUs) y las *On Board Units* (OBUs).

Las RSUs[14] son los dispositivos situados en lugares fijos de carretera para dar cobertura a toda una zona. Estos dispositivos sirven como punto de comunicación entre los vehículos que pasan por determinada

zona y el centro de servicios ITS y son los encargados de enviar a los vehículos la información cooperativa de la zona en la que se encuentran y de recibir la información de los vehículos que pasan por esa zona. En la ilustración 6 se muestra una RSU situada en un semáforo en la Gran Vía en la ciudad de Vigo. Se puede ver como la RSU está situada detrás del semáforo y la antena V2X se sitúa en la parte inferior para dar mayor cobertura a la zona.



Ilustración 6 - RSU situada en un semáforo de la Gran Vía en Vigo. Foto de Google Maps.

Las OBUs[15] son las unidades embarcadas en los vehículos y se encargan de recibir y enviar los mensajes cooperativos a otros vehículos y a la infraestructura. En la ilustración 7 se puede ver el vehículo de pruebas desarrollado por el Grupo PSA y la empresa CTAG en el que en el techo se pueden ver las antenas que permiten la comunicación V2X[16]. Dentro del vehículo se encuentra la OBU, la cual no se puede ver en la imagen.



Ilustración 7 - Vehículo de pruebas V2X [16].

Además de permitir la comunicación V2X, las OBU también se comunican con el resto de centralitas del vehículo a través del bus CAN (*Controller Area Network*). El bus CAN es un protocolo de comunicación estandarizado en la industria de la automoción que permite que los diferentes microcontroladores y dispositivos se comuniquen entre sí dentro del vehículo. En la ilustración 8 se muestra un ejemplo de cómo se comunican las diferentes centralitas de un vehículo a través del bus CAN.

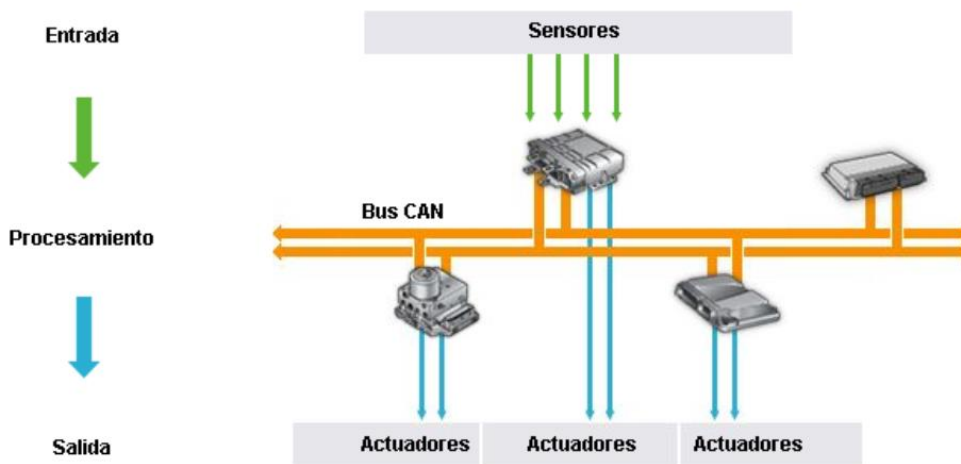


Ilustración 8 - Ejemplo bus CAN[17].

Esta comunicación con el resto de centralitas del vehículo es de gran utilidad para los servicios ADAS (Sistemas Avanzados de Ayuda a la Conducción) ya que, mediante esta comunicación, los servicios ADAS pueden utilizar la información del exterior que no se detecta a través de los sensores del vehículo para adaptarse y minimizar el riesgo de accidentes, además, también permite enviar al exterior la información relevante detectada por los propios servicios ADAS y de esta forma

prevenir a la infraestructura y al resto de vehículos de posibles problemas que puedan afectarles. Por ejemplo, en el caso de que un vehículo realice una frenada de emergencia, la OBU obtendrá esta información por parte de la centralita correspondiente a través del bus CAN, procesará esta información y podrá avisar al resto de vehículos que se encuentren en la carretera a una distancia relevante. Los vehículos que reciban este mensaje, podrán adaptar automáticamente su velocidad para prevenir accidentes además de avisar al conductor.

Desde 2019, esta unidad es una ECU incluida en el propio desarrollo de los diferentes fabricantes de coches en Europa. Toyota, BMW o SEAT son algunos de los fabricantes que ya incluyen esta funcionalidad.

Además de estos dos dispositivos, para que este sistema pueda funcionar, tenemos el centro de servicios ITS que es el encargado de gestionar todo este ecosistema. Este centro debe integrar la información de tráfico de diferentes fuentes y enviarla a las RSUs relevantes para que estas se la hagan llegar a los vehículos de la zona.

Actualmente, existen varias empresas que proporcionan información de tráfico en tiempo real como HERE[18] o TomTom[19].

2.3.2 Modelo OSI

La arquitectura de referencia de las estaciones ITS sigue los principios del modelo OSI (en inglés *Open Systems Interconnection*). Este modelo es un modelo de referencia para los protocolos de red que tiene como objetivo interconectar sistemas de procedencia distinta para que estos puedan intercambiar información sin ningún tipo de impedimento.

El modelo OSI está conformado por 7 capas y cada una de ellas tiene sus propias funciones. Este modelo no define la topología ni es un modelo de red en sí mismo, ni tampoco especifica ni define los protocolos que se utilizan en la comunicación ya que estos se implementan de forma independiente al modelo. Lo que define el modelo OSI es la funcionalidad de cada uno de ellos para conseguir un estándar. En la ilustración 9 se pueden ver las 7 capas del modelo OSI.

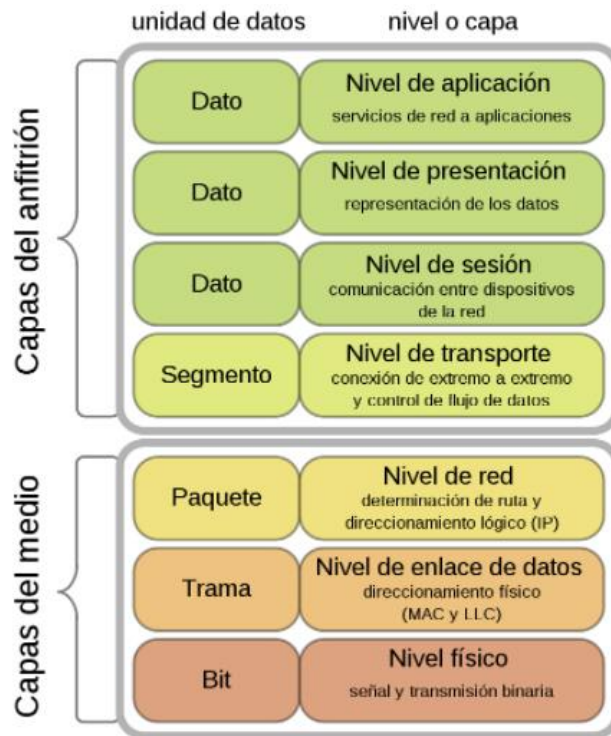


Ilustración 9 - Capas del modelo OSI

Las estaciones ITS, se basan en este modelo y lo adaptan definiendo la arquitectura de las estaciones de forma estándar. Esta arquitectura propone tres bloques que contienen la funcionalidad de la pila de protocolos de comunicación OSI:

- Capa de acceso: Esta capa representa las capas 1 y 2 de OSI, es decir nivel físico y el nivel de enlace de datos.
- Capa de red y transporte: La cual representa las capas 3 y 4 de OSI, que comparten los mismos nombres.
- Capa de servicios: la cual representa las capas 5,6 y 7 del modelo OSI, es decir, nivel de sesión, nivel de presentación y nivel de aplicación.

Además de estas 3 capas equivalentes al modelo OSI, aparecen otras tres capas específicas:

- Capa de aplicación: Esta capa proporciona los servicios ITS que se distinguen en tres clases de aplicaciones a este nivel: Seguridad vial, Eficiencia del tráfico y otras aplicaciones.
- Capa de gestión: Esta capa se encarga de gestionar las comunicaciones dentro de la estación ITS.
- Capa de seguridad: Esta capa proporciona los servicios de seguridad a la pila de protocolos de comunicación OSI.

En la ilustración 10 se pueden ver las diferentes capas de una estación ITS.

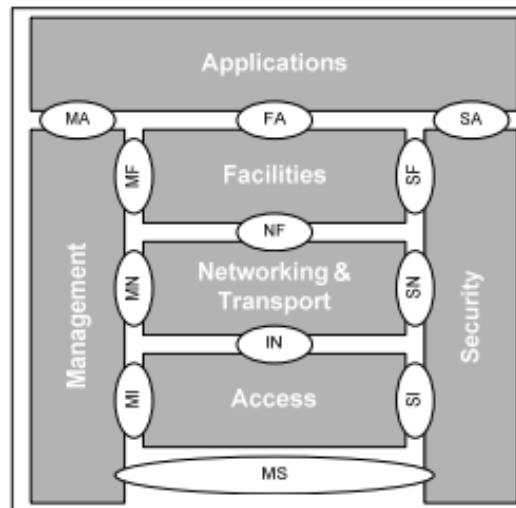


Ilustración 10 - Arquitectura de referencia para una estación ITS[20].

El uso de este modelo es de obligatorio seguimiento por todos los fabricantes para garantizar que todos los dispositivos fabricados puedan comunicarse entre ellos con independencia de la tecnología utilizada.

2.3.3 Protocolo de comunicación

Profundizando en la capa de Red, la comunicación V2X se basa en la tecnología WLAN, concretamente en el estándar IEEE 802.11p[21]. Este estándar está basado en el estándar IEEE 802.11 con el objetivo de proporcionar comunicación entre vehículos e infraestructura y teniendo en cuenta el entorno cambiante en el que se debe de establecer el intercambio de información en un periodo de tiempo muy corto.

Mediante este protocolo se establece comunicación directa entre vehículos (V2V) e infraestructura (V2I), de esta forma se crea una red ad-hoc lo cual permite el funcionamiento de esta tecnología en cualquier lugar sin depender del despliegue de infraestructura, es decir, esta tecnología pueda funcionar en zonas remotas o poco desarrolladas. En Europa, el estándar ITS-G5[8] es el equiparable al estándar IEE 802.11p.

Se han producido muchas iniciativas para que esta comunicación no se base en el estándar 802.11p y que se basen en comunicación celular, C-V2X. La comunicación celular aportaría principalmente, menos latencia al sistema, mejor rendimiento, mayor rango de comunicación, mejor confiabilidad y también permitiría la comunicación V2N, es decir comunicación con la red.

Debido a esto, se está trabajando en diferentes estandarizaciones para C-V2X basadas en la tecnología LTE como LTE-V2X[22] que se encuentra en fase de despliegue de “Día 1” a través de pilotos de investigación, como por ejemplo el piloto CONCORDA que comentaremos en el capítulo 2.4.3.

Además de la conectividad mediante LTE también se trabaja en la conectividad por 5G. Empresas como Ford[9], pertenecientes a la asociación 5GAA (*5G Automobile Association*)[23] están haciendo pruebas actualmente con esta tecnología.

De momento, ambas tecnologías coexisten.

2.3.4 Ciberseguridad

Siguiendo con las diferentes capas del sistema, entramos un poco más en detalle en la capa de Seguridad. Esta capa se subdivide en dos capas: *Security services* y *Security Management*.

Aunque ambas capas aparecen descritas como una capa conjunta y transversal en la Ilustración 10, en las especificaciones técnicas de ETSI para las comunicaciones ITS, explica que los servicios de seguridad, proporcionados por la subcapa *Security services*, se proporcionan por capas[24], lo que hace que pueda considerarse que esta subcapa está subdividida en las cuatro subcapas básicas presentadas en el modelo de estaciones ITS. La subcapa *Security services*, se comunica con cada una de las cuatro subcapas del modelo a través de interfaces. Cuando un paquete llega a una estación tiene que cumplir los requisitos de ciberseguridad de la capa de *Security services* asociados a la subcapa en la que se encuentran para poder pasar a la siguiente subcapa. La funcionalidad de esta capa es proporcionar seguridad en las comunicaciones entre dos estaciones.

En la ilustración 11 se puede ver la arquitectura de seguridad de una estación ITS en la que se representan las dos subcapas de seguridad y las interfaces de comunicación de la capa *Security services* con el resto de capas del modelo.

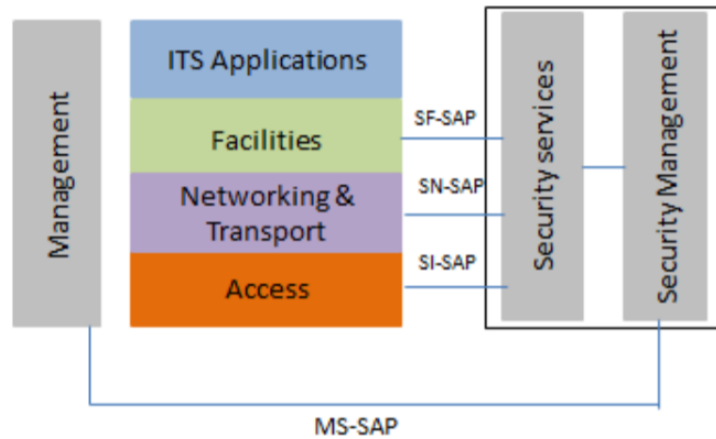


Ilustración 11 - Arquitectura de Seguridad de una estación ITS[25].

La subcapa de *Security Management*, representada también en la ilustración 11, es la encargada de toda la gestión necesaria para que una estación ITS se considere segura y apta para la comunicación con otras estaciones. Esto quiere decir que todos los dispositivos implicados en el sistema, así como los propios mensajes tienen que cumplir unos requisitos de ciberseguridad para proteger los datos personales de los consumidores.

Para proporcionar esta seguridad en la capa de *Security Management*, los requisitos que se deben cumplir implican tener una autoridad certificadora que se encargue de proveer las claves necesarias a los diferentes elementos, siguiendo los estándares y las especificaciones definidas en los estándares[25].

En la práctica, se utilizan algoritmos criptográficos basados en claves simétricas o asimétricas. Para utilizar claves asimétricas, una estación ITS tiene que ponerse en contacto con una Autoridad de Certificación (CA del inglés *Certification Authority*) de confianza para obtener un certificado. Para cumplir con todos los requisitos de los servicios de seguridad, se proponen varios elementos dentro de su modelo funcional el cual detallamos a continuación:

- Una Autoridad de Inscripción (EA del inglés, *Enrolment Authority*) emite una prueba de identidad a la estación ITS mediante la entrega de un certificado de inscripción. La estación solicita sus certificados de autorización a una Autoridad de Autorización (AA del inglés *Authorization Authority*) utilizando las credenciales de inscripción recibidas. La AA verifica las credenciales de inscripción de la estación ITS con la EA antes de responder con los certificados de autorización[24].

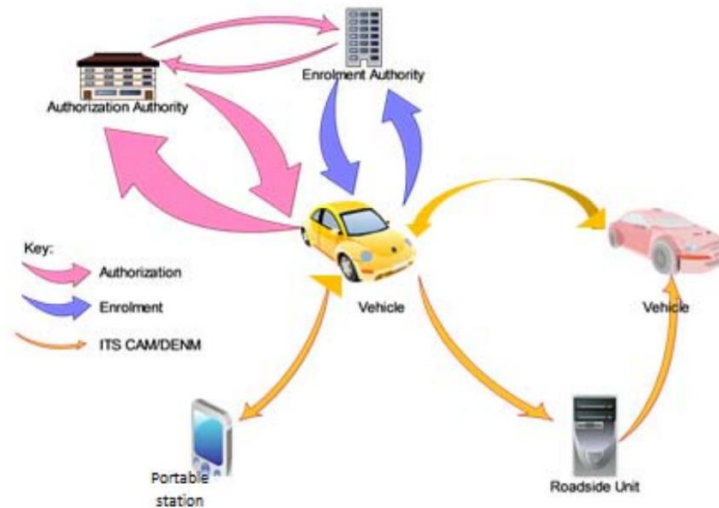


Ilustración 12 - Escenario de referencia de las comunicaciones ITS[25].

2.3.5 Tipos de mensajes.

En la capa de servicios, se tratan los mensajes utilizados para la comunicación entre diferentes aplicaciones de las estaciones ITS.

Algunos de los tipos de mensajes más relevantes que se han definido para la comunicación V2X son los siguientes y se definen en los estándares referenciados como [26][27][28]:

- **CAMs (Cooperative Awareness Messages):** Estos mensajes se utilizan dentro de la red ITS-G5 para proporcionar información de presencia, posición y estado básico de las diferentes estaciones ITS hacia el resto de estaciones vecinas que se encuentran a un solo salto de distancia, además, permiten a las estaciones ITS tener información sobre su situación y actuar en consecuencia. Este tipo de mensajes y gestión es obligatorio. Dos casos de uso que utilizan este tipo de mensajes son los de vehículo de emergencia y de vehículos lentos.
- **DENMs (Decentralized Environmental Notification Basic Service Messages):** Estos mensajes son utilizados principalmente por la aplicación *Cooperative Road Hazard Warning (RHW)* para alertar a los usuarios de la carretera de los eventos detectados. Según el evento detectado, se le da un código de caso de uso al mensaje.
- **SPATEM:** Este mensaje se utiliza para informar en tiempo real de los estados operativos del controlador del semáforo, el estado actual de la señal, el tiempo residual del estado antes de cambiar al siguiente, las maniobras permitidas y proporciona asistencia para el cruce.

- MAPEM: Este mensaje contiene la información topológica del mapa, define la topología de una zona. Incluye la topología de carriles para vehículos, bicicletas, bus, aparcamiento, etc...
- IVIM: Estos mensajes se utilizan para proporcionar información de señales de tráfico físicas, como señales de tráfico estáticas o variables, señales virtuales u obras en la carretera.
- SREM y SSEM: Se utilizan para solicitar prioridad de vehículos especiales en intersecciones reguladas por semáforos. Los mensajes SREM sirven para solicitar la prioridad desde el vehículo a los semáforos, mientras que el mensaje SSEM sirve como acuse de recibo por parte de la infraestructura hacia el vehículo y así poder informar sobre el estado de la solicitud.

2.4 Proyectos piloto

Con el fin de impulsar esta tecnología y avanzar en la investigación y el desarrollo además de estandarizar la funcionalidad, se han lanzado varias iniciativas y proyectos. A continuación, explicamos algunos proyectos de interés.

2.4.1 C-Roads Spain

Este proyecto está compuesto por 5 pilotos en el que cada uno de ellos utiliza su particular conjunto de tecnologías y servicios C-ITS con la participación de diferentes socios. El objetivo es cubrir un amplio espectro de casos, con el fin de evaluar el impacto de la movilidad conectada en muchos escenarios representativos[29].

Los cinco pilotos son:

- DGT 3.0: El cual utiliza las tecnologías de comunicación celulares (3G y 4G/LTE) a lo largo de toda la red de carreteras de España con una extensión aproximada de 12270 km.
- SISCOGA Extended: El cual utiliza la tecnología ITS-G5 en una extensión de 150 km localizados en la ciudad de Vigo y su área metropolitana.
- Madrid: Se extiende a lo largo de la vía "Calle 30" en Madrid y tiene una extensión de aproximadamente 32 km, utilizando tecnologías de comunicación híbridas.
- Cantábrico: El cual también utiliza tecnologías de comunicación híbrida y se extenderá por el norte de España a lo largo de 75 km.

- Mediterráneo: Tiene una extensión aproximada de 75 km en secciones de carreteras seleccionadas de Cataluña y Andalucía utilizando tecnologías híbridas.

Los pilotos implementarán algunos de los servicios de forma evolutiva empezando por los casos de uso menos complejos. Estos casos de uso comenzarán con los denominados como “Day 1” que abarcan los mensajes sobre notificaciones de ubicación o situaciones de peligro, así como las aplicaciones de señalización. En una segunda etapa se desplegarán los servicios de “Day 1.5”.

Este piloto, a nivel español, tiene como objetivo impulsar la participación de todas las entidades del sector y además influir en las decisiones a tomar en Europa. Además, como piloto europeo busca la armonización y la implementación a gran escala.

2.4.2 Car2X & C-V2X – Connected vehicle pilot projects from the US.

En este piloto, Audi trabaja en el desarrollo de coches con la tecnología V2X y C-V2X[30] para mejorar su seguridad. El objetivo de este piloto es mejorar la seguridad mediante la tecnología V2X y C-V2X desarrollada en sus vehículos en los cuales desde la pantalla se informa al conductor para que adapte su conducción a una situación nueva.

Para esto, Audi está probando la comunicación entre sus propios vehículos y con los autobuses escolares en Georgia, así como con las señales de advertencia que se encuentran comúnmente frente a las escuelas en los EE.UU.

Al usar C-V2X, las señales se convierten en balizas que alertan a los conductores que se acercan cuando están a punto de entrar en zonas escolares durante el horario escolar y les advierten si están por encima del límite de velocidad.

Los autobuses escolares también advertirán a los vehículos que se acercan cuando los estudiantes suban o bajen del autobús. De esta forma, los conductores tienen tiempo suficiente para reducir la velocidad o detenerse.

2.4.3 CONCORDA – Connected Corridor for Driving Automation.

El Proyecto CONCORDA[31] contribuye a la preparación de las autopistas europeas para la conducción automatizada y la alta densidad de camiones, con servicios conectados y tecnologías adecuadas. Esto ayudará a superar la fragmentación y a garantizar la interoperabilidad entre servicios ITS cooperativos y los servicios armonizados por C-ROADS en situaciones reales de tráfico.

En este proyecto se combinará la conectividad 802.11p y LTE-V2X sin afectar a los servicios existentes en términos de interferencia e interoperabilidad.

El objetivo de esta actividad transfronteriza será identificar problemas de interoperabilidad sobre el papel y también en la práctica, y cuantificar los problemas de interoperabilidad previstos, identificando al mismo tiempo nuevos problemas prácticos.

3 Diseño de la solución

Una vez analizado el estado actual de la tecnología V2X y de los diferentes proyectos que se están llevando a cabo actualmente relacionados con este tema, se describe la propuesta de mejora, desde un punto de vista técnico, de los tiempos de respuesta ante una situación de emergencia utilizando las comunicaciones V2X.

Este apartado se divide en cinco apartados principales. En el primero, se explicará el funcionamiento global del trabajo final de master. En el segundo, se entrará en detalle en los diferentes subsistemas, en concreto en su funcionamiento y tareas principales. En el tercer apartado se explicará la propuesta de comunicación que utilizaremos para el sistema, tanto a nivel de red como a nivel de mensajería. En el cuarto apartado se tratará la seguridad del sistema. Y por último, en el apartado cinco se expondrá un ejemplo concreto de aplicación de esta propuesta.

3.1 Propuesta de solución.

Como se ha explicado en la introducción, el objetivo del proyecto es diseñar una propuesta de valor que permita gestionar corredores de emergencias en ciudades mediante la comunicación V2X. Esta propuesta de valor busca reducir los tiempos de llegada a una emergencia y agilizar el tráfico para que la gestión de esta emergencia sea lo más eficiente posible. Para esto se plantea la solución del siguiente diagrama:

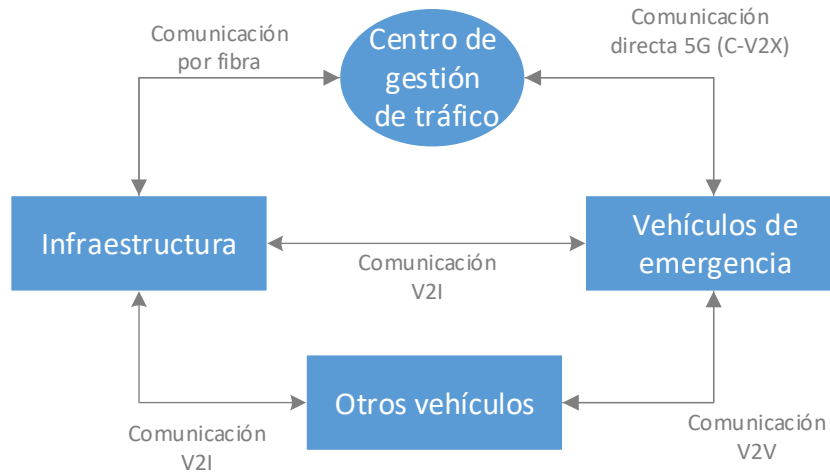


Ilustración 13 - Diagrama de la solución

Como se puede ver en la ilustración 13, el TFM se basa en diferentes elementos, que se podrían considerar estaciones ITS, las cuales se comunican entre sí mediante diferentes tipos de comunicación V2X a excepción de la infraestructura y el centro de gestión de tráfico que lo hacen mediante fibra. Cada una de estas estaciones se encarga de diferentes funciones dentro del sistema, a continuación, se explicarán.

La primera estación es el centro de gestión de tráfico, la cual se encarga de la monitorización de tráfico de una zona específica. Este centro será el encargado de, en caso de emergencia, dar aviso tanto a los vehículos de emergencia como a la infraestructura implicada.

El vehículo de emergencias tendrá instalada una centralita de comunicación V2X que permita la comunicación con el entorno. Además, estos vehículos de emergencias dispondrán de una interfaz de usuario específica que les permitirá la comunicación directa de este vehículo con el centro de gestión de tráfico para informar sobre la emergencia a la que se dirige y de esta forma establecer la comunicación con el Centro de Gestión de Tráfico.

En el caso de la infraestructura, se tendrán instaladas a lo largo de la carretera las RSUs necesarias para cubrir la zona de interés. Estas RSUs proporcionarán tanto información de eventos como de semáforos.

El funcionamiento del sistema, en caso de que se detecte una incidencia, será el siguiente: el centro de gestión de tráfico avisará a los servicios de emergencia que son necesarios para cubrir el evento de que se desplacen hasta la zona. Estos servicios, siguiendo sus propios protocolos, enviarán los vehículos correspondientes. Los vehículos que intervendrán enviarán su posición y la información sobre que emergencia atenderán al centro de gestión de tráfico y este se encargará de calcular la mejor ruta para llegar cuanto antes al destino. Esta ruta se le enviará al vehículo de emergencias. Además, el Centro de Gestión de tráfico, en

caso de ser necesario, informará a la infraestructura sobre el evento correspondiente en la zona afectada, así como de posibles carriles cerrados o cambios en la topología de la zona para priorizar el paso del vehículo de emergencias. A su vez, el vehículo de emergencias informará tanto a la infraestructura como al resto de vehículos de su paso. De esta forma, la infraestructura priorizará de forma eficiente, el paso del vehículo de emergencias en caso de que haya semáforos o intersecciones.

El objetivo del sistema, es que sea lo más automatizado posible y así no depender de un posible error humano. Aun así, es necesario disponer de ventanas de actuación por parte de los operarios para que, en caso de error, se pueda modificar la ruta o hacer llegar información relevante a los vehículos de emergencia o a la infraestructura de forma manual. Para poder realizar esta interacción, el centro de gestión de tráfico dispondrá de un sistema en el que podrá notificar de diferentes eventos a la infraestructura y a los vehículos de emergencias, este sistema se comenta en el apartado 3.2.1.

3.2 Diseño del entorno

En el apartado anterior se ha definido a alto nivel las diferentes estaciones y su principal tarea en el sistema. En este apartado se ampliará la información explicada anteriormente, entrando en detalle en los diferentes subsistemas de la propuesta de este TFM.

3.2.1 Centro de gestión de tráfico.

Actualmente, estos Centros de Gestión de Tráfico (CGTs) forman parte de la Dirección General de tráfico y sus funciones principales son tres: la gestión y control de tráfico, la mejora de la seguridad vial y proporcionar información y asistencia a los usuarios cuando se producen incidencias[32].

En este TFM se propone que las tareas de estos centros no varíen mucho con respecto a lo que hacen actualmente. El objetivo será que incluyan en sus protocolos las nuevas funcionalidades que se proponen con este sistema. Es decir, en caso de tener que proporcionar asistencia, sus protocolos de actuación tendrán que modificarse para incluir las nuevas funcionalidades como parte del protocolo, principalmente se incluye la función de informar tanto a la infraestructura como a los vehículos implicados.

Para informar de los diferentes eventos desde el Centro de Gestión de Tráfico hacia la infraestructura y hacia los vehículos de emergencias se podrá hacer de forma automática para casos de uso ya definidos y estandarizados y también de forma manual mediante una interfaz de usuario en el que se puede definir el tipo de información que se quiere

enviar y a quien, como por ejemplo si una calle está cortada y es relevante tanto para la ambulancia que ya está en ruta y necesita nueva información sobre la ruta más rápida hacia la emergencia como para el resto de vehículos de la carretera a los que también les afecta esta información.

Otro aspecto relevante en este TFM es la comunicación. Actualmente la comunicación con la infraestructura, como por ejemplo los paneles de mensajes variables, se lleva a cabo por comunicación entre el CGT y la infraestructura mediante fibra óptica, 3G y 4G. Esta comunicación entre el CGT y la infraestructura utiliza el lenguaje DATEX II[33]. Este lenguaje se basa en identificar cada elemento e indicar que información debe mostrar. En este TFM, se plantea una solución diferente, utilizar los mensajes definidos en los estándares ETSI. Con esto se busca unificar los mensajes que se utilizan en el sistema, de esta forma se evita la transformación de los mensajes de un lenguaje a otro perdiendo tiempo en el procesado de datos del sistema y por lo tanto rapidez en el procesado de los datos.

En cuanto a la distribución espacial de las diferentes estaciones, también es importante definir una arquitectura. Se propone utilizar una topología de interconexión de estrella como la de la siguiente ilustración.

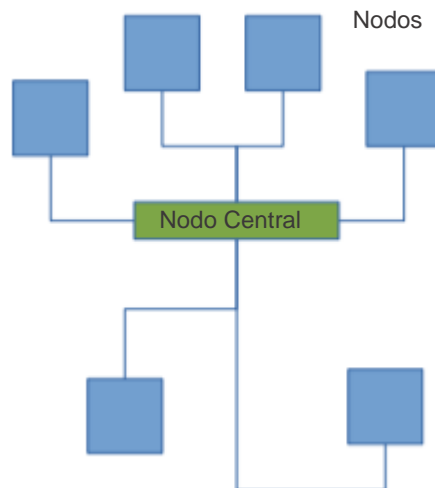


Ilustración 14 - Topología de estrella

Esta topología se basa en una red de nodos conectados a un punto central (un conmutador, un repetidor o un concentrador, por ejemplo).

El principal punto fuerte de esta topología es que permite que en caso de que algún nodo deje de funcionar, el resto de nodos continuarán funcionando sin problemas, además resulta fácil agregar nuevos equipos ya que es fácil de reconfigurar. Por el contrario, el mayor riesgo de esta topología es que en caso de tener un problema en el punto central, no habrá comunicación con ningún nodo que esté conectado a este.

Además, se trata de una topología costosa debido a que requiere más cable que otras topologías. A pesar de esto, se propone esta topología debido a sus ventajas a la hora de implementarla y a su robustez.

El CGT también notificará a los servicios de emergencias relevantes sobre la incidencia. Estos servicios seguirán sus protocolos de actuación, y una vez que el vehículo destinado a la emergencia recibe el aviso, contactará con el CGT para indicarle su posición, la emergencia que atenderá y solicitar la mejor ruta para dirigirse a ella. Esta comunicación entre vehículo y CGT se realizará mediante C-V2X.

Finalmente, el esquema completo del funcionamiento quedaría como en la siguiente ilustración donde se indica que comunicación se utiliza entre cada uno de los elementos del sistema y el orden de pasos que se siguen en cuanto se activa una notificación de emergencia por parte del CGT.

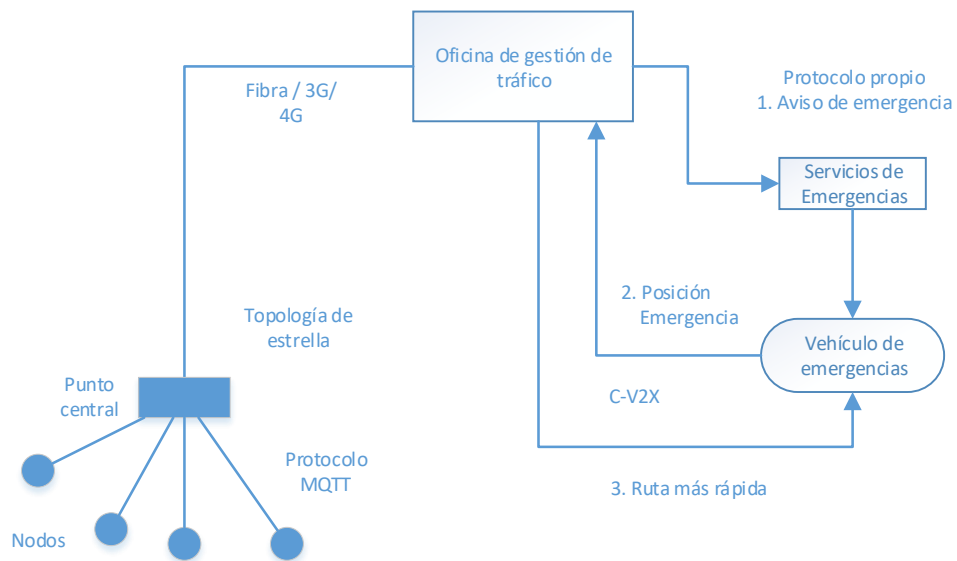


Ilustración 15 - Funcionamiento Centro Gestión de Tráfico

3.2.2 Infraestructura

Como se ha comentado en el apartado anterior, la infraestructura estará conectada a la oficina de gestión de tráfico por fibra principalmente, aunque también se podrá conectar por 3G o 4G.

El dispositivo que proporcionará la conectividad será la *Road Side Unit*, RSU, la cual se ha explicado en el estado del arte. Estas RSUs se distribuirán a lo largo de la carretera para garantizar la mayor cobertura a los usuarios y se distribuirán por ella en topología de estrella debido a las ventajas que ofrece frente a otras opciones, tal y como hemos explicado en el apartado anterior.

El número de RSUs necesarias dependerá de la zona ya que será necesario hacer un estudio de viabilidad debido a que los obstáculos pueden variar enormemente el alcance de una antena dada. Como ejemplo, suponiendo que la ganancia de la antena de las diferentes RSUs está sobre los 7 dBi y que la ganancia de la antena de las OBU es de -2.3 dBi, basándonos en el caso más restrictivo, tendremos una cobertura de 900m[34], distancia máxima a la que podremos situar las diferentes RSUs para garantizar la cobertura.

Estas RSUs servirán para informar de cualquier evento relevante para los usuarios de su zona de cobertura. Concretamente, en este diseño se informará al resto de vehículos de la carretera de la llegada de un vehículo de emergencia además de recibir el aviso por parte del vehículo de emergencias para priorizar la apertura de semáforos a su paso. Para esto, las diferentes RSUs solo publicarán los eventos relativos a su zona, además si en la zona se encuentra algún semáforo, la RSU más cercana será la encargada de gestionar su información.

3.2.3 Vehículo de emergencias.

Además de los cambios propuestos en el centro de gestión de tráfico y la infraestructura, también es necesario una serie de modificaciones en el vehículo de emergencias.

Como se ha comentado en el estado del arte, el elemento que permite la comunicación por parte de los vehículos recibe el nombre de OBU, esta estación será la encargada de comunicarse con las diferentes RSUs que se situarán a lo largo de la carretera.

La OBU que tendrán incorporada los vehículos de emergencia le proporcionará al vehículo comunicación V2X y C-V2X, además el vehículo tendrá una interfaz de usuario para poder habilitar los diferentes servicios relativos a la comunicación V2X.

La propuesta de este TFM es que, desde la interfaz de usuario de este vehículo de emergencias, se pueda gestionar la comunicación que se enviará desde el vehículo al centro de gestión de tráfico y al resto de vehículos de emergencia ya que estas dos comunicaciones tienen características diferentes.

En cuanto a la comunicación con el centro de gestión de tráfico, el vehículo notificará al centro de gestión de tráfico la incidencia a la que atenderá y su posición actual, de esta forma, el centro de gestión de tráfico le responderá informándole de cuál es la ruta más rápida para llegar a la emergencia. Esta comunicación se establecerá mediante comunicación celular, C-V2X, ya que este tipo de comunicación presenta mejores prestaciones como menos latencia que favorecerá la comunicación del Centro de Gestión de Tráfico con el vehículo de emergencias.

Una vez el vehículo de emergencias se encuentra en marcha, se produce el otro escenario de comunicación del vehículo de emergencias. Esta comunicación surge con la necesidad de que el vehículo de emergencias de aviso tanto a la infraestructura como a los diferentes vehículos de la zona de que se está aproximando, de esta forma se prioriza la apertura de semáforos de su ruta y el resto de vehículos le cederán el paso. Esta comunicación se realiza mediante V2X.

3.3 Comunicación

Para poder llevar a cabo este sistema, es necesario definir la comunicación entre los diferentes elementos del sistema. Para ello, en este apartado se tratan los tres aspectos más importantes de esta comunicación.

Los dos primeros apartados se basan en las capas del modelo OSI que las estaciones ITS adaptan a su modelo propio. En el primero de ellos se hablará sobre la capa de red que contiene el protocolo de comunicación *GeoNetworking*, el cual nos proporciona la comunicación de red. Y en el segundo se tratará la capa de transporte, concretamente el protocolo MQTT, que proporcionará la comunicación a este nivel.

Por último, en el tercer apartado se tratarán los diferentes mensajes que utilizaremos según los diferentes casos de uso que se han ido exponiendo.

3.3.1 Capa de red: GeoNetworking

Como se ha comentado en el estado del arte, las estaciones ITS siguen el modelo de comunicación OSI y una de las capas que lo forman es la capa de red[20]. Esta capa se encarga de hacer llegar los datos desde el origen al destino a pesar de que el emisor y el receptor no estén conectados directamente y utilicen dispositivos intermediarios.

Habitualmente, en esta capa se suelen utilizar protocolos de red basados en IP, pero para el caso específico de la comunicación V2X, se ha definido un protocolo de red específico, este protocolo de red se conoce como *GeoNetworking*.

El protocolo *GeoNetworking* utiliza las posiciones geográficas para la difusión y el transporte de paquetes de datos, ofreciendo comunicación a través de múltiples saltos inalámbricos donde los nodos de la red reenvían paquetes de datos en nombre de los demás para ampliar el alcance de la comunicación[36].

Este protocolo ofrece dos funciones fuertemente acopladas: el direccionamiento geográfico y el reenvío geográfico. A diferencia del

direccionamiento en las redes convencionales, en las que un nodo tiene un nombre de comunicación vinculado a su identidad (por ejemplo, la dirección IP en un nodo), el protocolo *GeoNetworking* puede enviar paquetes de datos a un nodo por su posición o a varios nodos en una región geográfica. Para el reenvío, *GeoNetworking* supone que cada nodo tiene una visión parcial de la topología de la red en su proximidad y que cada paquete lleva una dirección geográfica, como la posición geográfica o zona geográfica de destino. Cuando un nodo recibe un paquete de datos compara la dirección geográfica del paquete de datos y la visión del nodo sobre la topología de la red y toma una decisión de reenvío autónoma. Como resultado, los paquetes se reenvían “sobre la marcha”, sin necesidad de configurar y mantener tablas de enrutamiento en los nodos.

Lo más innovador de este método es que puede dirigir los mensajes a determinadas zonas geográficas. En la práctica, un vehículo puede seleccionar y especificar un área geográfica bien delimitada a la que deben entregarse los mensajes. Los vehículos intermedios actúan como repetidores de mensajes y solo los vehículos situados en la zona objetivo procesan el mensaje y lo envían a las aplicaciones correspondientes. De este modo, solo se notifica a los vehículos afectados por una situación de peligro o notificación de tráfico, mientras que los vehículos no afectados por el evento, no son notificados.

El enrutamiento geográfico ofrece básicamente los siguientes esquemas de reenvío:

- *GeoUnicast*. Es un método de entrega de paquetes entre dos nodos a través de múltiples saltos inalámbricos. Cuando un nodo desea enviar un paquete *unicast*, es decir, un paquete que se envía desde un emisor a un receptor único, primero determina la posición del destino y luego reenvía el paquete de datos de un nodo hacia el destino, que a su vez reenvía el paquete a lo largo de la ruta hasta que el paquete llega al destino. En la ilustración 16 se muestra como el vehículo naranja de la izquierda envía un paquete al vehículo naranja de la derecha a través de múltiples saltos inalámbricos identificados por los coches verdes. Este método de envío no es el habitual dentro de las comunicaciones V2X ya que lo habitual es que un evento implique a todos los usuarios de una zona y por lo tanto se utilice el método *GeoBroadcast* que explicaremos a continuación. Sobre este método de envío existen diferentes estudios[37][38][39] proponiendo diversas estrategias para responder a preguntas como si debe existir confirmación de que el mensaje se ha recibido o no, en los que no entraremos en detalle.

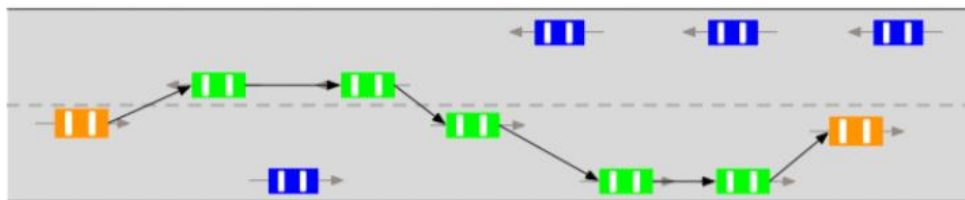


Ilustración 16 - *GeoUnicast*[36]

- GeoBroadcast*: Con este método, un paquete se reenvía salto a salto hasta que llega a la zona de destino determinada por el emisor y los nodos vuelven a difundirlo si se encuentra dentro del área de destino. *GeoAnycast* se diferencia de *GeoBroadcast* en que un nodo dentro del área de destino no retransmitirá ningún paquete recibido. En la ilustración 17 el vehículo naranja de la izquierda envía un paquete a todos los vehículos de la zona identificada en amarillo, este paquete se retransmite por los vehículos verdes al igual que en *GeoUnicast* y los vehículos de la zona de interés retransmitirán los paquetes en el caso de *GeoBroadcast* y no lo harán si se trata de *GeoAnycast*. Para evitar inundar la red, las estaciones que reciben un mensaje *GeoBroadcast*, solo lo reenvían si no es repetido. Si esto no se hiciese así podría provocar un efecto inundación o *flooding* provocando la saturación de la red. Para este método, la recepción del envío no se asegura ya que puede ser que no haya ningún vehículo en la zona de destino de los mensajes.

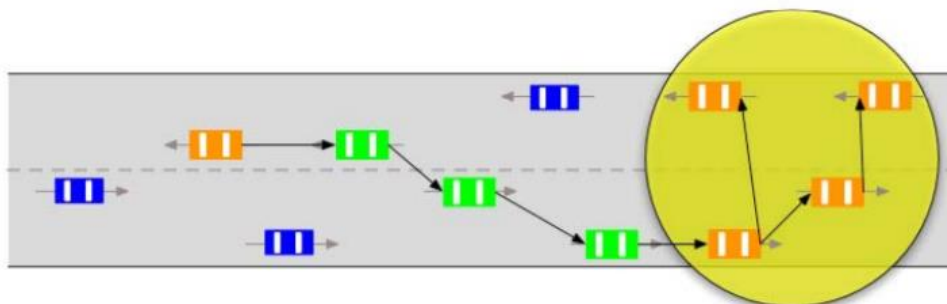


Ilustración 17 - *GeoBroadcast*[36].

- Topologically-scoped broadcast*: Consiste en realizar una difusión de un paquete a los “n-vecinos” más próximos, es decir el paquete se difundirá por la red “n-saltos”. En la ilustración 18 se muestra un ejemplo.

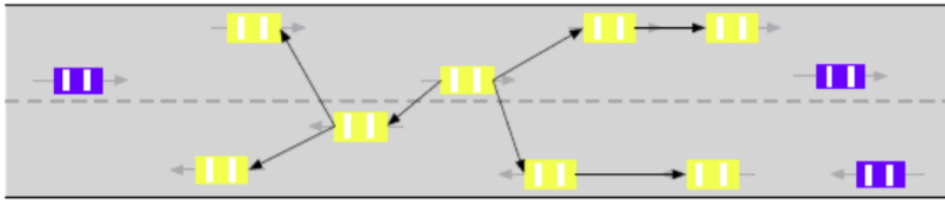


Ilustración 18 - *Topologically-Scoped Broadcast*[36].

Para que este protocolo funcione, se parte de la suposición de que cada estación conoce su posición y, además, conoce la de sus vecinos en caso de que se quiera enviar un mensaje a una estación concreta utilizando el método *GeoUnicast*.

La posición propia de cada estación se obtiene mediante el GPS que las diferentes estaciones llevan integrado. El reto está en conocer la posición del resto de estaciones, especialmente si están en movimiento. Para obtener esta información, se utilizan los mensajes CAM, que como se ha explicado en el estado del arte, son mensajes que proporcionan información de presencia, como la posición geográfica. Cada estación envía estos mensajes con diferentes parámetros de frecuencia y latencia para informar a la red de su presencia. En el estándar ETSI TS 102 637-2[26] se definen estos parámetros en algunos casos de uso, en la siguiente tabla podemos verlos.

Use Case	min Frequency (Hz)	min Latency (ms)
Emergency Vehicle Warning	10	100
Slow Vehicle Indication	2	100
Intersection Collision Warning	10	100
Motorcycle Approaching Indication	2	100
Collision Risk Warning	10	100
Speed Limits Notification	1 to 10	100
Traffic Light Optimal Speed Advisory	2	100

Tabla 1 - Casos de uso CAM[26].

En la tabla 1, se define el caso de uso de *Emergency vehicle warning* que podría encajar con el caso de uso propuesto en este proyecto. Para este caso de uso, en la tabla se establece una frecuencia mínima de envío de 10 HZ y una latencia mínima de 100ms. Este caso de uso no contempla la comunicación de este vehículo de emergencias con el centro de gestión de tráfico, pero a pesar de eso, cumpliría con los requisitos si suponemos que con el método *GeoUnicast* soportamos un margen de 5 metros de desplazamiento de la estación receptora sobre la posición a la que se envió el paquete.

En el caso concreto de que el vehículo de emergencias circulase a una velocidad de 120Km/h, enviando el mensaje a una frecuencia de 10Hz, tendríamos un margen de error en el envío de 3.33 m, un valor bajo en cuanto a desplazamiento.

Para la propuesta descrita en este TFM, se utilizarán tanto el método de envío *GeoUnicast* como el método *GeoBroadcast* según la situación

concreta de la que se hable. En general, la comunicación utilizará el método *GeoBroadcast*, salvo en la comunicación del vehículo de emergencias con el centro de gestión de tráfico que se llevará a cabo con el método *GeoUnicast* ya que se trata de comunicación punto a punto. A continuación, se explicarán ambos métodos en detalle.

3.3.1.1 *GeoUnicast*

Como se ha explicado en el apartado anterior, la comunicación *GeoUnicast* permite la comunicación uno a uno entre dos elementos de la red utilizando al resto de elementos como repetidores. Esta comunicación es una comunicación poco habitual en estos sistemas ya que los casos de uso más trabajados a día de hoy se han planteado como eventos que afectan a una zona y que encajan con la comunicación *GeoBroadcast*.

Para este TFM, se propone este método para comunicar directamente el vehículo de emergencias con el centro de gestión de tráfico.

Para poder hacer esto, el propio centro de gestión de tráfico trabajaría como una estación ITS que enviará mensajes CAM para notificar su posición al igual que el resto de estaciones, como se ha descrito en el estado del arte en el apartado 2.3.5 sobre el funcionamiento de los diferentes mensajes.

El vehículo de emergencias tendrá guardada la posición del centro de gestión de tráfico en su lista de estaciones conocidas, y de esta forma podrá enviarle un mensaje para informarle de que atenderá la emergencia.

El centro de gestión de tráfico le contestará con la ruta más rápida a la última posición del vehículo de emergencias que tenga guardada. Esta posición se irá actualizando con una frecuencia mínima de 10Hz gracias al envío de mensajes CAM por parte del vehículo.

3.3.1.2 *GeoBroadcast*

Como se ha explicado anteriormente, este método de difusión permitirá enviar un mensaje a todos los elementos de una zona de interés sin garantizar la entrega.

Por lo tanto, esta comunicación será la más adecuada para los casos de uso en el que la infraestructura enviará mensajes a todos los vehículos de una zona afectada, además de para el caso de uso en el que el vehículo de emergencias también envía mensajes al resto de vehículos de su zona de paso.

En ninguno de los casos es necesario asegurar la entrega del mensaje ya que podría darse el caso de que en la zona afectada no se encuentre ningún usuario.

Además, el emisor de los mensajes no necesitará conocer la posición de otras estaciones si no que con la posición del evento es suficiente.

3.3.2 Capa de transporte: MQTT

La siguiente capa del modelo OSI es la capa de transporte, esta capa se encarga del transporte entre diferentes “máquinas”, en este caso estaciones, independientemente del tipo de red que estén usando. Algunos de los protocolos de transporte más utilizados son TCP y UDP, pero al igual que en la capa de red, para el caso específico de las estaciones ITS se propone un protocolo específico.

Este protocolo es MQTT, en inglés *Message Queuing Telemetry Transport*, el cual es un protocolo de transporte específico para IOT, en inglés, *Internet of Things*.

MQTT permite el intercambio de mensajes mediante un servicio de mensajería *push* basado en publicación/suscripción. Cada *publisher* publica sus mensajes que se organizan por *topics* y los clientes se suscriben a ese determinado *topic* para recibir los mensajes. Estos *topics* son cadenas de texto de una determinada longitud de caracteres que funcionan como filtros que permiten discriminar a que clientes suscritos es entregado un determinado mensaje. Finalmente, el *broker* hace llegar los mensajes a los clientes que se han suscrito a un determinado *topic*.

Este protocolo mantiene las ventajas propias de un servicio de publicación/suscripción, es decir, es un sistema escalable, asíncrono y los clientes están desacoplados por lo que aumenta su robustez.

En cuanto a la seguridad, MQTT dispone de diferentes medidas, pudiendo elegir entre transporte SSL/TLS y autenticación por usuario y contraseña o mediante certificado.

Para que las diferentes estaciones puedan comunicarse entre ellas, tienen que estar suscritas a los mismos *topics*. Esto quiere decir que para que, por ejemplo, una OBU pueda recibir un evento que se publica en un *topic* de accidentes, esta OBU tiene que estar suscrita a este *topic*, al igual que si esta OBU quisiese publicar un evento accidente.

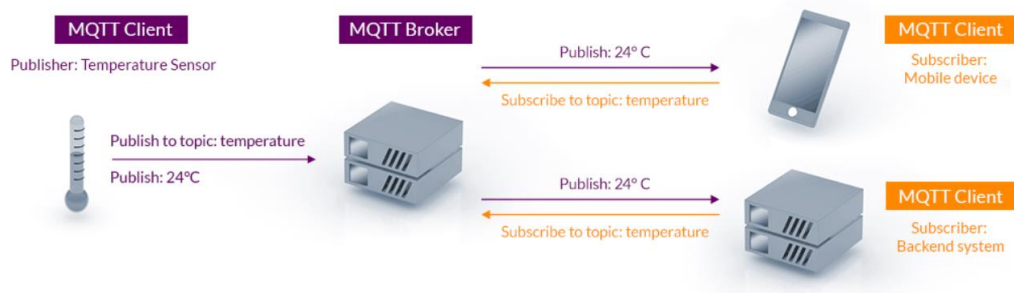


Ilustración 19 - Ejemplo arquitectura MQTT[40].

En este TFM, las diferentes estaciones se suscribirán a diferentes *topics* relativos a tipos de eventos, como por ejemplo eventos de tráfico, eventos de clima, etc. Esta suscripción a estos eventos estará disponible a cualquier usuario ya que publicarán información relevante y pública.

Para el caso de la comunicación entre el centro de gestión de tráfico y la OBU específica del vehículo de emergencias, ambos se suscribirán a un *topic* específico de acceso restringido a autoridades.

Por parte del operador del centro de gestión de tráfico, toda esta lógica será transparente ya que tendrá una interfaz en la que situará el evento en el mapa de forma gráfica, posicionándolo en la ubicación exacta y seleccionando el tipo de evento. Con esta selección, el evento se publicará en el *topic* correspondiente.

3.3.3 Mensajes

Como se ha analizado en el estado del arte, en la comunicación V2X existen diferentes tipos de mensajes según lo que se quiera transmitir. En este apartado se definirán los mensajes que se utilizarán en las diferentes situaciones, concretamente se hablará de los mensajes DENM, los mensajes IVIM y los mensajes SREM y SSEM. Se hablará de cómo se definirán estos mensajes en los casos de uso que tendremos.

Para este TFM, se utilizarán los mensajes DENM tanto para notificar la emergencia por parte del Centro de Gestión de tráfico a todos los usuarios de la carretera que pudiesen estar afectados y al vehículo de emergencias determinado, como para que el vehículo de emergencias notifique su paso al resto de vehículos de la carretera.

Los mensajes IVIM se utilizarán para notificar desde el Centro de Gestión de tráfico a la infraestructura los posibles carriles bloqueados para priorizar el paso del vehículo de emergencias.

Los mensajes SREM y SSEM serán los encargados de la comunicación entre los vehículos de emergencias para solicitar prioridad de apertura de semáforos y la infraestructura para gestionar esta prioridad.

Este capítulo se centrará en estos cuatro tipos de mensajes ya que son los principales mensajes que permitirán el funcionamiento del diseño descrito en este TFM. Aun así, las diferentes estaciones seguirán enviando los mensajes definidos bajo los diferentes estándares en su forma habitual, como por ejemplo los mensajes CAM que permitirán conocer la posición de las diferentes estaciones y los mensajes SPATEM que permitirán conocer el estado en tiempo real de los semáforos. No se entrará en detalle en estos mensajes, aunque también se utilicen ya que no se propone ningún cambio con respecto a lo ya definido en los correspondientes estándares.

3.3.3.1 Mensajes DENM

Los mensajes DENM están definidos en el estándar ETSI EN 302 637-3[35] como mensajes relativos a las aplicaciones *Road hazard Warning* (RHW). Las aplicaciones RHW se componen de múltiples casos de uso que comparten el objetivo de mejorar la seguridad vial y la eficiencia del tráfico.

Estos mensajes DENM están compuestos por una cabecera PDU (*Protocol Data Unit*, unidad de datos de protocolo) y múltiples contenedores los cuales constituyen los datos útiles del mensaje DENM.

La cabecera PDU incluye la información de versión de protocolo, el tipo de mensaje y el identificador de la estación ITS donde se origina el mensaje.

La parte de datos útiles, se dispone en diferentes contenedores. Estos contenedores son cuatro y se definen a continuación según su contenido:

- *Management*: Este contenedor contiene la información relativa a la gestión y al protocolo del mensaje DENM.
- *Situation*: Este contenedor contiene información relativa al tipo de evento detectado.
- *Location*: Este contenedor contiene información relativa a la localización del evento y a referencias de localización.
- *À la carte*: Este contenedor contiene información específica del caso de uso que no está contenida en los tres contenedores anteriores.

Para los diferentes tipos de mensajes DENM, es obligatorio que esté presente la cabecera PDU, el resto de contenedores en cambio son opcionales. Para los DENM de cancelación o negación, los cuales

explicaremos más tarde, los contenedores *Situation*, *Location* y *À la carte* no deben incluirse. Además, si el contenedor *Situation* está presente, el contenedor *Location* también debe estarlo. El contenedor *À la carte*, solo debe estar presente en casos de uso estandarizados.

En la ilustración 20 mostramos la estructura de un mensaje DENM.

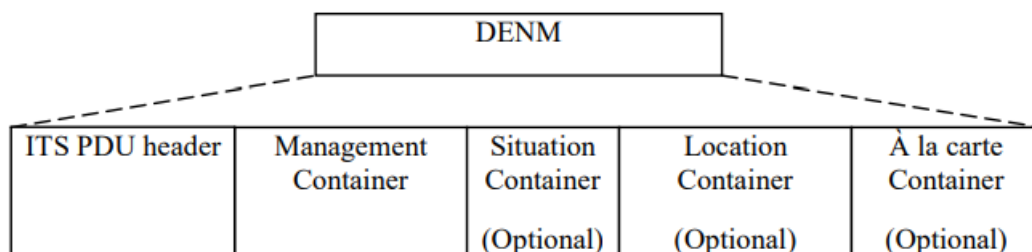


Ilustración 20 - Estructura general de un mensaje DENM[35].

El funcionamiento de este tipo de mensajes está definido en la especificación técnica[27] relativa a la comunicación mediante mensajes DENM.

Para la propuesta de este TFM, estos mensajes se procesarán de la misma forma que se define en el estándar ya que se basan en el mismo funcionamiento. A continuación, se explica el funcionamiento definido en el estándar:

1. Al detectar un evento que corresponde a un caso de uso, la estación ITS emite un DENM a otras estaciones situadas dentro de un área y que están afectadas por el evento.
2. La transmisión de un DENM se repite con una frecuencia determinada y la transmisión persiste mientras el evento esté presente.
3. La terminación de la difusión del mensaje se realiza automáticamente una vez que el evento desaparece después de un tiempo de expiración predefinido, o porque una estación ITS genera un DENM especial para informar de que el evento ha desaparecido.
4. Las estaciones ITS que reciben el DENM procesan la información y deciden presentar avisos o información a los usuarios, siempre que sea relevante para la estación ITS.

Para poder llevar a cabo el proceso definido en el estándar, son necesarios diferentes tipos de mensajes DENM[35] que permiten la gestión de las diferentes posibles situaciones. A continuación, se

explican los diferentes tipos de mensajes que ya hemos introducido anteriormente:

- *New DENM*: Un DENM nuevo se genera por una estación ITS cuando se detecta un nuevo evento. Cada DENM nuevo tiene un nuevo identificador llamado *actionID*.
- *Update DENM*: Se genera un DENM actualizado cuando se incluye una actualización de la información del evento. Este evento se transmite por la misma estación que generó el DENM original.
- *Cancellation DENM*: Este DENM informa de la terminación de un evento y es transmitido por la estación original.
- *Negation DENM*: Este DENM se utiliza para terminar un evento que ha sido generado por otra estación ITS.

En la propuesta de ese TFM, se utilizará el mismo tipo de mensaje DENM para la comunicación entre el Centro de Gestión de Tráfico y el vehículo de emergencias implicado como para la comunicación entre vehículo de emergencias y el resto de vehículos para notificar su paso.

También se seguirá el funcionamiento definido en el estándar en caso de cancelación, negación, actualización o generación de nuevo evento.

El mensaje utilizado en la propuesta descrita en el TFM será el definido en el estándar como *emergency vehicle approaching*[35]. Este mensaje se define dentro del contenedor *Situation*, explicado anteriormente, con dos campos nombrados *cause* y *subcause*. En el campo *cause*, definiremos este *emergency vehicle approaching* con el valor de 95 y en el apartado *subcause* utilizaremos alguno de los valores posibles teniendo en cuenta el nivel de prioridad de la emergencia que tengamos, tal y como se indica en la siguiente ilustración.

Cause code description	Direct cause code	Mapping with TPEG-TEC	Sub cause code	Sub cause description
Emergency vehicle approaching	95	Not specified in TISA TAWG11071 [i.10] Values are assigned referring to ETSI TS 101 539-1 [i.4], clause 5.3.1	0	Unavailable
			1	Emergency vehicle approaching
			2	Prioritized vehicle approaching

Ilustración 21 - Descripción y código de causa asignado por casos de uso ETSI[35].

Este caso de uso, está definido para permitir que un vehículo de emergencia activo indique su presencia y así el resto de vehículos le cedan el paso.

Para esta comunicación, el envío del mensaje se realiza de forma periódica por el vehículo de emergencias mientras la emergencia está activa, y el mensaje se envía con una frecuencia de 10 Hz.

Además, tiene que cumplir los siguientes requisitos: Tener un tiempo de latencia inferior a 100 ms y tener protección y autenticación del mensaje CAM, definido anteriormente en el estado del arte como un mensaje obligatorio para los vehículos de emergencia.

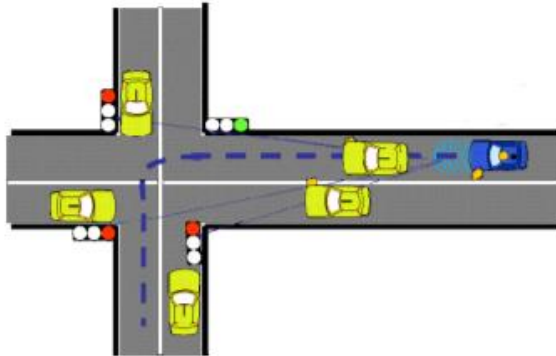


Ilustración 22 - Caso de uso *Emergency vehicle approaching*[13].

En cuanto a la comunicación del vehículo de emergencias con el centro de gestión de tráfico, no se define en el estándar. Como se ha indicado anteriormente, nuestra propuesta es utilizar este mismo mensaje DENM definido como *emergency vehicle approaching* para que el CGT indique la mejor ruta al vehículo de emergencias. Para esto, se propone que la comunicación sea *GeoUnicast*, como comentamos anteriormente en el apartado relativo al tipo de comunicación.

En cuanto al mensaje, se propone que el vehículo de emergencias inicie la comunicación enviándole el mensaje definido anteriormente como *emergency vehicle approaching* al centro de gestión de tráfico. El CGT contestaría a este mismo mensaje con la información de la ruta más rápida, esta ruta se calculará gracias a un algoritmo de cálculo de rutas de tráfico que podrá ser desarrollado específicamente o utilizar alguno desarrollado por terceros como podría ser el de Google Maps.

Para disponer de esta información en el mensaje, le añadiremos el contenedor *À la carte*, este contenedor se define en el estándar como un contenedor de contenido específico principalmente para eventos relativos a obras. La propuesta de este trabajo final de master pasa por utilizarlo en este tipo de eventos y utilizar el campo definido como *recommendedPath*[35]. Este campo se define en el estándar como un campo opcional que indica el itinerario recomendado para evitar una zona de obras. Se incluye como una lista de puntos desde el inicio hasta el punto final de la ruta recomendada.

B.35 recommendedPath

Description	This DF indicates the recommended itinerary in order to contour the roadworks zone. A recommended path is presented with a list of path points in the order from the starting point closest to the roadworks zone to the end point of the recommended path. This DF is included in <i>roadWorks</i> DF in the <i>alacarte</i> container.
Data setting and presentation requirements	This DF is OPTIONAL. It shall be present when the information is required by the ITS application. This DF shall be presented as specified in ETSI TS 102 894-2 [5] <i>ItineraryPath</i> .

Ilustración 23 - Definición *recommendedPath*[35].

Una vez el centro de gestión de tráfico ha recibido el mensaje DENM por parte del vehículo de emergencias, le contestará con el mismo mensaje y actualizando el *recommendedPath* basándose en la situación de la emergencia, la cual se encuentra en el contenedor *Location*, en el campo *eventPosition*, en el cual se encuentra la posición del evento, y en la posición del vehículo de emergencias que obtiene a través de los mensajes CAM que envía la estación con su posición exacta.

Una vez que el vehículo de emergencias ya tiene toda la información necesaria y se dirige a la zona de la emergencia, enviará el mensaje DENM tanto al resto de usuarios de la carretera como a la infraestructura con una frecuencia de 10Hz como hemos comentado anteriormente.

3.3.3.2 Mensajes IVIM

Los mensajes IVIM se definen en el estándar para el uso de la señalización vial obligatoria y consultiva, es decir, información como la velocidad de una zona o avisos de advertencia de obras. Estos mensajes buscan proporcionar información similar a las señales físicas de tráfico como las señales estáticas o variables situadas a lo largo de la carretera.

El formato de los mensajes IVI o lo que es lo mismo IVIM (del inglés *Infrastructure to Vehicle Information Message*) se define en el estándar CEN ISO/TS 19321[41]. Estos mensajes, también están divididos en tres contenedores además de la cabecera. Estos contenedores son:

- *Management*: Este contenedor contiene la información general sobre el mensaje con la que los vehículos decidirán si quieren seguir procesando el mensaje.
- *Location*: Este contenedor contiene información relativa a la zona en la que el mensaje IVI es válido.
- *Application*: Este contenedor contiene información adicional además de la validez espacial.

Cada mensaje IVIM puede tener uno o varios contenedores de *Location* y *Application*. En la siguiente figura podemos ver el esquema de los mensajes IVIM.

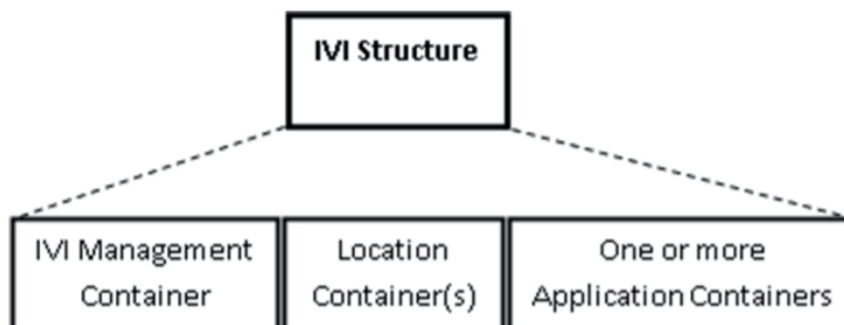


Ilustración 24 - Estructura de los mensajes IVIM [41].

Cada mensaje IVIM se identifica mediante un parámetro llamado *ividentificationNumber*. Cada vez que se genera un nuevo mensaje se le debe asignar un nuevo valor a este parámetro y este valor debe ser un valor no utilizado recientemente.

Los mensajes IVI tienen diferentes servicios para llevar a cabo el envío de los diferentes mensajes. Estos servicios son *trigger*, *update*, *repetition* y *termination*.

El servicio *trigger* se encarga del proceso de generación y transmisión de un mensaje cuando el servicio recibe una solicitud de aplicación. Con este servicio se crea un nuevo mensaje con el estado “*new*”.

Cuando es necesario actualizar un mensaje IVIM, el servicio *update* genera un IVIM de actualización con el estado “*update*”. Este IVIM mantiene el mismo *ividentificationNumber* que el mensaje original, de esta forma se sabe que sigue siendo el mismo mensaje y que se trata de una actualización.

El servicio *termination* indica el fin de la validez del servicio IVIM. La terminación del servicio se puede conseguir de las siguientes formas:

- La finalización de la transmisión por parte de la estación ITS que envió el mensaje IVIM original.
- La cancelación del servicio por parte del proveedor generando un mensaje de cancelación.
- Generando un IVIM de negación por otra organización.

Una vez que la estación receptora verifica que el mensaje IVIM de cancelación o negación es fiable, toda la información relacionada con el mensaje IVIM recibido anteriormente, y relativa al mismo *ividentificationNumber* se considera no válida. Además, podrá notificarse al resto de estaciones sobre la finalización el evento.

En este caso concreto, este será el mensaje que se enviará desde el Centro de Gestión de tráfico hacia la infraestructura implicada para que cuando sea posible, se bloquee el uso de uno de los carriles para los usuarios y de esta forma ese carril se quede libre para el paso del vehículo de emergencias.

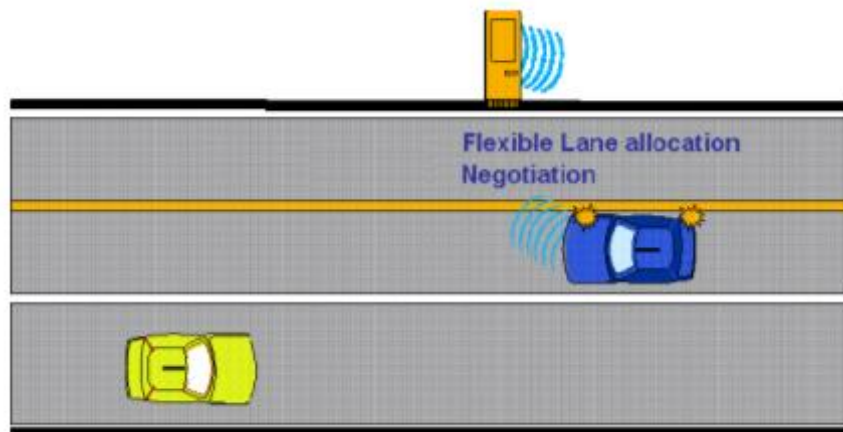


Ilustración 25 - Caso de uso de carril flexible[13].

3.3.3.3 Mensajes SREM y SSEM

Los mensajes SREM y SSEM se utilizan en el servicio *Traffic Light Control* (TLC) el cual se encarga de la priorización del transporte público y de los vehículos de seguridad públicos para atravesar una infraestructura vial señalizada (por ejemplo, una intersección) lo más rápido posible o utilizando una priorización mayor que el resto de usuarios de la vía[28].

El mensaje SREM es enviado por una estación ITS (por ejemplo, un vehículo) al entorno de la infraestructura de tráfico. Este SREM se envía para solicitar la prioridad de la señal del semáforo y la preferencia de la señal. El servicio se puede solicitar no solo para el entrono señalizado que se aproxima, sino que también para una secuencia, por ejemplo, un grupo de intersecciones a lo largo de una ruta definida. En respuesta de la solicitud, la infraestructura acusará el recibo con un SSEM que notificará si la solicitud se ha concedido, cancelado o ha cambiado la prioridad debido a una solicitud más relevante.

En la ilustración 26 se puede ver un ejemplo de solicitud de prioridad semafórica por parte de un autobús utilizando mensajes SREM. La solicitud se envía a través de la estación ITS conectada al controlado

de tráfico (TCC, *Traffic Control Centre*) o mediante otras instalaciones. El controlador del semáforo analiza la solicitud y devuelve un SSEM como respuesta.

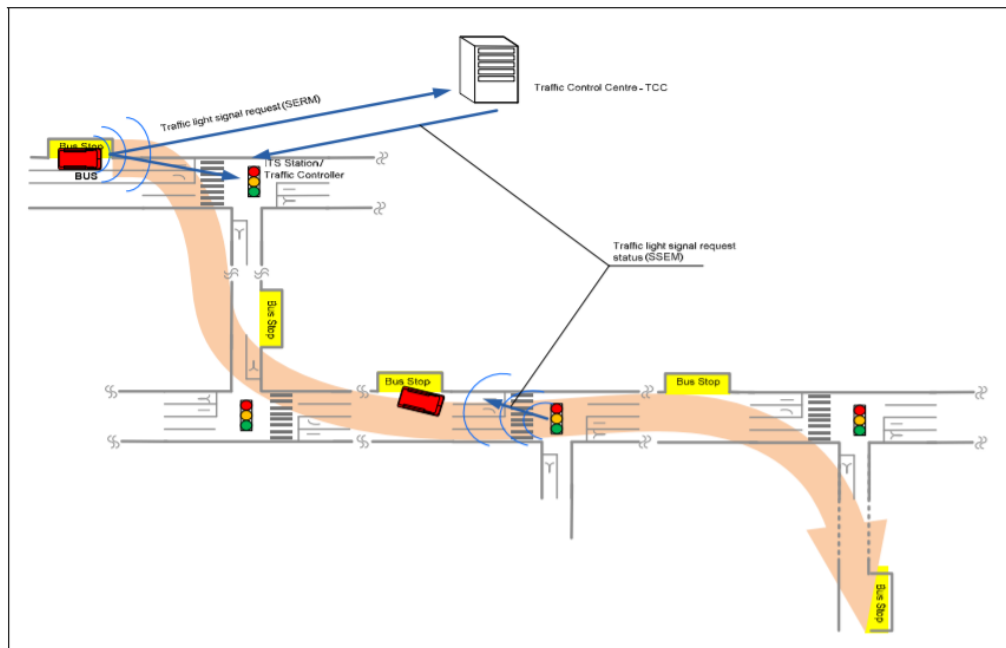


Ilustración 26 - Ejemplo del servicio TLC[28].

Los mensajes SREM se transmiten según la necesidad o pueden transmitirse automáticamente basándose en condiciones externas. Esta transmisión puede ser una vez o continua, esto depende de las necesidades de la implementación. El mensaje SSEM es enviado como respuesta a un mensaje SREM.

Para el caso concreto de este TFM, el vehículo de emergencias enviará este mensaje de forma automática según su posición, si el vehículo de emergencias circula por una autopista o autovía en la que no hay semáforos no sería necesario enviar este tipo de mensajes. Si se encuentra circulando por una ciudad con diferentes intersecciones se realizaría el envío de este tipo de mensajes de forma continua.

Estas diferentes situaciones se detectarían gracias a los mensajes SPATEM, los cuales se han comentado en el estado del arte. Estos mensajes SPATEM nos darán información en tiempo real sobre los semáforos, y en base a estos mensajes se decidirá si se envía o no un mensaje de solicitud de prioridad. La ausencia de estos mensajes SPATEM indicará la ausencia de semáforos por lo tanto no se enviará este mensaje de solicitud de prioridad.

3.4 Ciberseguridad

La comunicación V2X nos permite tener una conducción más segura y eficiente, pero con la llegada de esta comunicación también llegan los posibles ciberataques por lo que tenemos que tener un mecanismo para proteger este tipo de comunicaciones. Para esto, es necesario disponer de una infraestructura de seguridad que pueda garantizar la fiabilidad de todas las comunicaciones de mensajes.

Para garantizar esta fiabilidad es necesario garantizar que el remitente de cada mensaje es confiable y el contenido está protegido contra la manipulación externa.

Por lo tanto, se han escrito una serie de estándares que definen la seguridad en la comunicación V2X[24][25]. Para este TFM, seguiremos los estándares en cuanto a esta materia ya que la definición propuesta no se sale fuera del marco actual establecido para ciberseguridad V2X.

A continuación, se profundizará en la infraestructura de seguridad y en la seguridad de la arquitectura del sistema.

3.4.1 Infraestructura de seguridad

Para proteger las comunicaciones V2X de posibles atacantes externos, es necesaria la fiabilidad entre emisores y receptores de los mensajes. Esta fiabilidad se basa en certificados digitales que proporciona una PKI, *Public Key Infrastructure*. Una PKI es una infraestructura de clave pública, es decir, un proveedor de credenciales de seguridad.

Para llevar a cabo esta seguridad, en el estándar ETSI TS 102 731 [42], se definen diferentes funciones de gestión que tienen que ser adoptadas por diferentes entidades relevantes en el desarrollo de esta comunicación. A continuación, explicamos estas responsabilidades:

- Los fabricantes son los responsables de otorgarle a cada estación un identificador único que se llamará identificador canónico.
- Las Autoridades de Inscripción (EA) son las encargadas de verificar cada una de las diferentes estaciones gracias a su identificador canónico.
- Las Autoridades de Autorización (AA) son las encargadas de autorizar a una estación ITS para utilizar un servicio, una aplicación o un privilegio concreto.

El funcionamiento de este sistema de seguridad se basa en que para que una estación ITS pueda hacer pleno uso de las aplicaciones, servicios y capacidades ITS que están a su disposición, es necesario que obtenga credenciales específicas de la Autoridad de Autorización

(AA). Estas credenciales, en forma de certificados firmados criptográficamente, se utilizan para garantizar a cualquier estación ITS receptora que la estación emisora tiene el permiso necesario para enviar la información específica del servicio y que es de confianza.

Los certificados de autorización solo se emiten a una estación ITS después de que haya seguido un procedimiento exhaustivo para proteger su identidad y evitar el uso indebido de los servicios y funcionalidades de los sistemas ITS. El procedimiento que tiene que seguir cada estación para conseguir estos certificados es el siguiente [43]:

- La primera fase es la fase de inicialización que se lleva a cabo conjuntamente con el fabricante. En esta fase se establece un conjunto de credenciales de identificación como la identidad canónica de la estación, las claves criptográficas pública y privada, un perfil genérico de las propiedades de la estación, etc.
- La segunda fase es la de la inscripción en la que se establece un dialogo entre la estación ITS y la Autoridad de inscripción. En esta fase se utilizan las credenciales de inicialización, de las cuales el fabricante es el responsable en la primera fase, para obtener un conjunto de credenciales de inscripción. Estos certificados indicarán que aplicaciones, servicios y funcionalidades está autorizado a utilizar la estación y que se permiten solicitar de forma pseudo-anónima a la Autoridad de Autorización para invocar a dichos servicios.
- La fase de autorización se lleva a cabo como un dialogo entre la estación y la Autoridad de Autorización. En esta fase se utilizan las credenciales de inscripción para obtener un conjunto de credenciales de autorización. Estas credenciales les permiten a las estaciones afirmar que tienen derecho a enviar ese mensaje o información en particular.

En la ilustración 27 se muestra la arquitectura de una PKI en detalle.

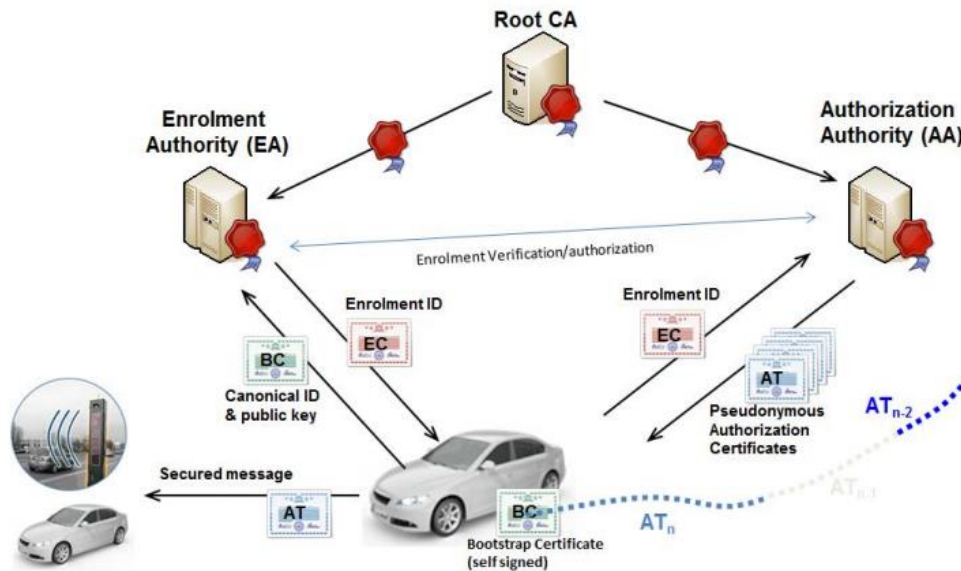


Ilustración 27 - Arquitectura PKI [43].

En este proyecto, el funcionamiento a nivel ciberseguridad sería el mismo que se ha descrito anteriormente, solo es necesario tener en cuenta que la estación que lleva a bordo el vehículo de emergencia tendrá acceso a unos servicios específicos que no tendrán el resto de estaciones ya que los servicios de emergencia serán los únicos que podrán pedir al Centro de Gestión de Tráfico que le priorice su paso hacia un evento.

3.4.2 Seguridad en la arquitectura de los sistemas ITS.

Además de proteger la comunicación V2X con una infraestructura de clave pública, las propias estaciones están desarrolladas teniendo en cuenta la seguridad en su modelo de arquitectura.

Como hemos comentado anteriormente, la arquitectura de los sistemas ITS se basa en el modelo OSI y añade una serie de capas a mayores, entre ellas, la capa de seguridad.

Esta capa, se sitúa de forma transversal en las ilustraciones sobre la arquitectura de las estaciones ITS. Esto se representa así ya que esta capa debe proporcionar seguridad en cada una de las capas del modelo para cumplir con las especificaciones definidas en los diferentes estándares relativos a la seguridad en las ITS. En la siguiente ilustración se ve el detalle de esta capa.

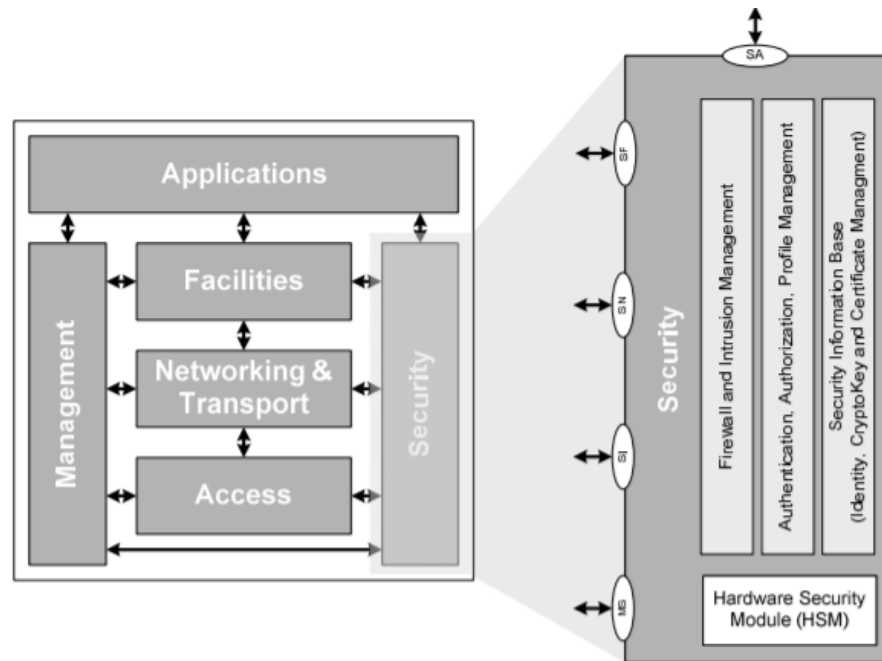


Ilustración 28 - Detalle de la capa de seguridad en la arquitectura ITS[20].

Para que esta interfaz pueda comunicarse con cada una del resto de capas del modelo, se implementan cinco interfaces para establecer la comunicación con cada una de ellas. En la ilustración 28 se puede ver estas interfaces más en detalle y a continuación las nombramos una a una:

- La interfaz SI conecta con la capa de acceso proporcionando a seguridad a esta capa.
- La interfaz SN se conecta con la capa de red y transporte para proporcionarle seguridad.
- La interfaz SF que se conecta con la capa de servicios.
- La interfaz SA que se conecta con la capa de aplicación.
- La interfaz MS que se conecta con la capa de gestión.

Además, en esta capa, se incluyen diferentes funcionalidades de seguridad relacionadas con los protocolos de comunicación, con las diferentes estaciones y con las aplicaciones como, por ejemplo:

- La gestión de cortafuegos e intrusiones.
- La autenticación, autorización y gestión de perfiles.
- La gestión de identidades, claves criptográficas y certificados.

- Una base de información de seguridad común (SIB del inglés *Security Information Base*).
- Módulos de seguridad de hardware (HSM del inglés *Hardware Security Module*).

Como se ha comentado al inicio, la seguridad se proporciona capa a capa, lo que quiere decir que cuando un paquete llega a una de las capas, esta se comunica con la capa de seguridad mediante la interfaz correspondiente para comprobar que el paquete es seguro.

Esto provoca que la seguridad mediante esta capa se proporcione de forma horizontal y de forma vertical. Lo que quiere decir que un mensaje tiene que seguir el flujo de las capas de la arquitectura de forma vertical, teniendo en cuenta la seguridad y en cada una de estas capas también es necesario cumplir con la seguridad, de forma horizontal.

En la ilustración 29 se puede ver el flujo de comunicación entre un transmisor y un receptor y como un paquete pasa a través de todas las interfaces para así asegurar la comunicación.

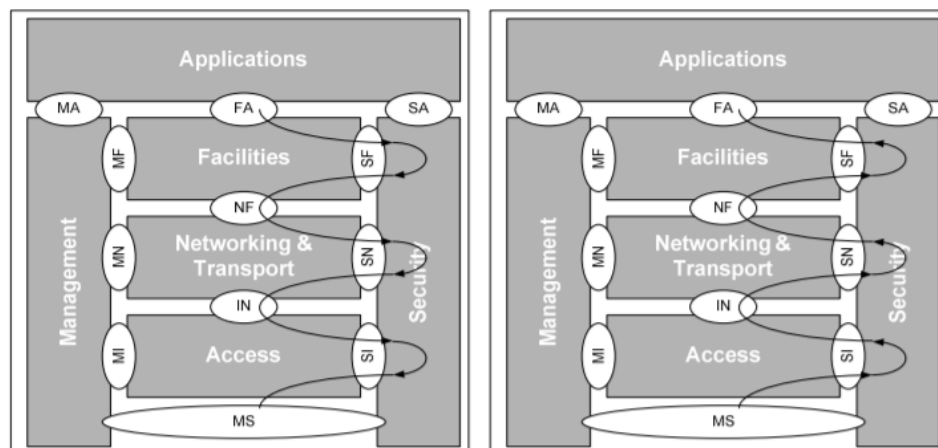


Ilustración 29 - Flujo de comunicación entre transmisor (izq.) y receptor (dcha.)[44].

3.5 Ejemplo Barcelona

En este apartado se describe una propuesta de aplicación del proyecto definido en los apartados anteriores, sobre un caso de uso real en la ciudad de Barcelona, concretamente en la Avenida Diagonal, la cual es un foco de atascos en horas punta y dispone de una configuración perfecta para el ejemplo, ya que se trata de una zona con varios carriles de los cuales los centrales pueden estar cerrados o abiertos en cada una de las direcciones gracias a los paneles situados a lo largo de la vía que dan información en tiempo real sobre la dirección de uso de cada carril y sobre su estado.

3.5.1 Despliegue de la infraestructura

El primer paso para la implementación de este proyecto, será el despliegue de la infraestructura. Para esto, como se explica en el apartado 3.2.2 relativo a la infraestructura, para el despliegue de las diferentes RSUs necesarias para permitir la cobertura en toda la zona de interés, se implementará una topología de red de estrella con cada una de las RSUs separadas a una distancia de 600m entre cada una.

Como se ha explicado en el estado del arte, según la RSU que utilizemos tendrá una potencia transmitida determinada. En este caso, se propone el uso de RSUs que tienen una ganancia de 7dBis y se espera que los vehículos que dispongan de esta tecnología tengan antenas con ganancia aproximada de -2.9 dBis, lo que permitirá alcanzar una cobertura aproximada de 900m. Este valor marca la distancia a la que se tendrán que situar las RSUs para garantizar cobertura total. Por lo tanto, para garantizar la cobertura, situaremos las diferentes RSUs a 600 metros, distancia mucho más restrictiva, para tener una zona de solape y garantizar la cobertura en toda la zona.

Cada una de estas RSUs proporcionará la información relevante a su zona de cobertura suscribiéndose a los diferentes *topics* correspondientes.

En la ilustración 30 se ve una propuesta de donde situar las diferentes RSUs, separadas a una distancia de 600m. El círculo representa el rango de cobertura ideal de cada una de las RSUs.

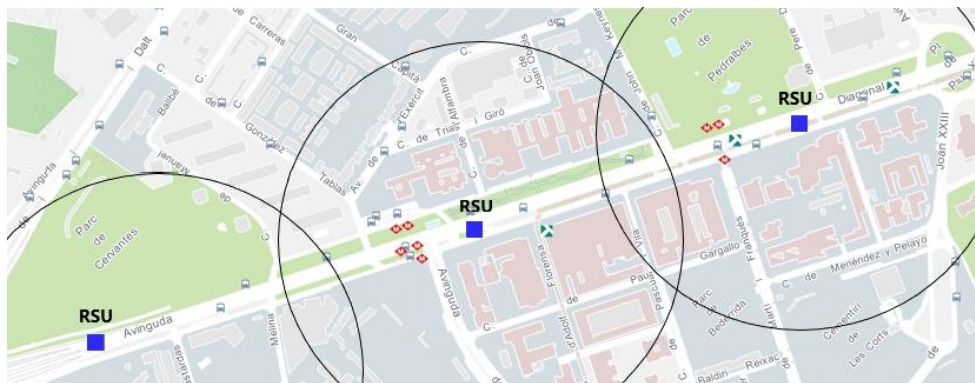


Ilustración 30 - Distribución RSUs en Diagonal

Además, el vehículo de emergencias, en este caso sería una ambulancia equipada con una OBU y una interfaz de usuario sencilla que permita seleccionar un modo de emergencia en el que el vehículo estaría emitiendo los mensajes correspondientes y que permita informar al centro de gestión de tráfico de la emergencia concreta que está atendiendo.

El centro de gestión de tráfico será el centro que gestiona las incidencias de la zona, en este caso concretamente será el centro de gestión de tráfico de Cataluña ubicado en Barcelona, el Servei Català de Transít.

3.5.2 Funcionamiento

El desencadenante de este ejemplo es un accidente en la Avenida Diagonal que es notificado al centro de gestión de tráfico. Para atender esta emergencia, es necesario que diferentes servicios, entre ellos una ambulancia se desplace hasta el punto del accidente.

A continuación, se explica cada uno de los pasos que se siguen una vez que se detecta una emergencia. En la ilustración 31 se describe el flujo del funcionamiento desde que se conoce la emergencia hasta que todos los sistemas realizan sus acciones y se establecen las diferentes comunicaciones.

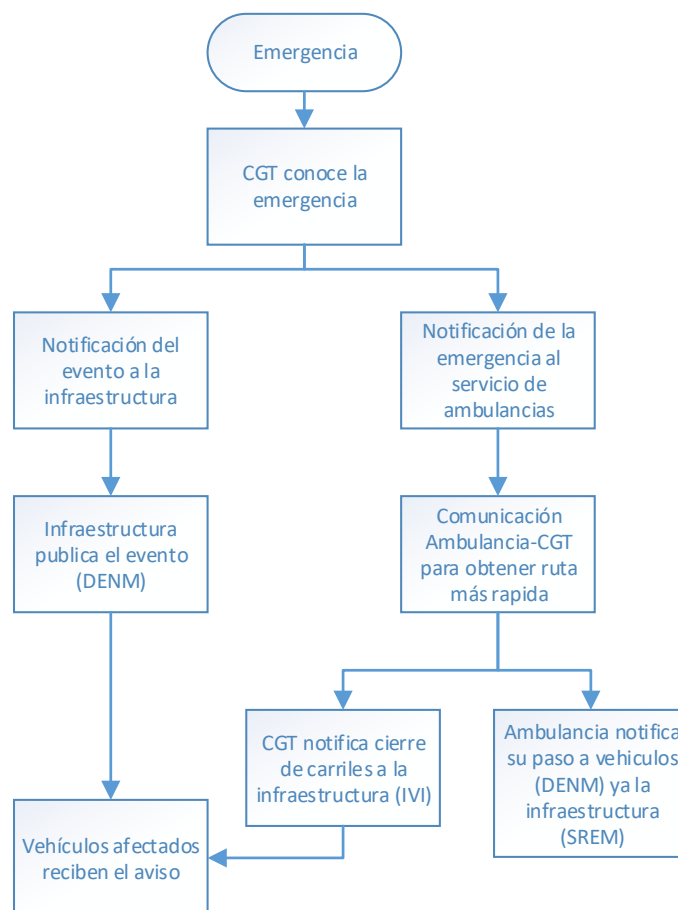


Ilustración 31 - Esquema del funcionamiento

El primer paso, es la notificación por parte del Centro de Gestión de tráfico de esta necesidad a los servicios de gestión de ambulancias el

cual notifica a la ambulancia más cercana de que tiene que atender este evento.

A la vez, el Centro de Gestión de tráfico notifica a la infraestructura de que ha habido un accidente en la posición concreta, este aviso se notifica mediante la creación de un evento por parte de un operario a través de una interfaz de usuario en la que indica la posición del evento y el tipo, en este caso, un accidente. Este mensaje se transforma en un mensaje DENM que se notifica a la infraestructura.

En cuanto las RSUs de la zona afectada reciben el evento, empiezan a notificar este accidente. Esta comunicación se lleva a cabo con un mensaje DENM que les llegará a todos los vehículos equipados con esta tecnología y que estén afectados.

Mientras esto se lleva a cabo, la ambulancia también se pondrá en marcha y mediante una interfaz de usuario seleccionará la emergencia a la que atenderá y le enviará esta información al Centro de Gestión de tráfico en forma de mensaje DENM y con el método de comunicación *GeoUnicast*.

El centro de Gestión de tráfico, procesará este mensaje, y calculará la ruta más rápida hasta la emergencia teniendo en cuenta la posición actual de la ambulancia, la cual recibe gracias a los mensajes CAM que está enviando la propia ambulancia. Una vez haya calculado la mejor ruta, el centro de gestión de tráfico responderá a la ambulancia con este mismo mensaje DENM y con el contenido de la ruta más rápida en el contenedor *À la carte*, concretamente en el campo *pathrecommended*. En el navegador de la ambulancia se podrá ver esta ruta para seguirla.

Mientras la ambulancia está en marcha dirección a la emergencia, enviará el mensaje DENM definido como *emergency vehicle approaching* a todos los vehículos de la vía, utilizando una comunicación *GeoBroadcast* y con una frecuencia de 10Hz para que, de esta forma, los usuarios de la vía tengan el conocimiento de que se está acercando una ambulancia antes incluso de verla.

Además del envío de este mensaje, al tratarse de una zona con diferentes intersecciones y semáforos, la ambulancia estará recibiendo los diferentes mensajes SPATEM relativos a los diferentes semáforos a lo largo de la Diagonal. Con el objetivo de priorizar su paso, la ambulancia enviará de forma continua mensajes SREM solicitando prioridad para todas las intersecciones por las que pasa. La ambulancia recibirá la respuesta a cada uno de esos mensajes de solicitud de prioridad en forma de mensajes SSEM y verá como todos los semáforos de su ruta se abren para priorizar su paso.

Además, al tratarse de una zona con varios carriles, el Centro de Gestión de tráfico decidirá si es necesario o no bloquear uno de los

carriles para el uso exclusivo y temporal de la ambulancia. Para eso, el centro de gestión de tráfico emite un mensaje IVI en el que se informa de que un carril concreto está cerrado. Este mensaje llegará a todos los usuarios que dispongan de este tipo de comunicación en su vehículo y, además, la propia infraestructura de la vía, como los paneles de mensajería variable instalados en la Avenida Diagonal, lo notificará. En la ilustración 32 se ve cómo se indicaría en los paneles variables de Diagonal que un carril está bloqueado.



Ilustración 32 - Ejemplo de un panel de la Diagonal indicando un carril bloqueado. Imagen de Google Maps.

En la ilustración 33 se muestra un ejemplo de cómo se vería en un vehículo de usuario la información recibida por la infraestructura relativa a mensajes IVI con información de estado de las vías. En la ilustración se trata de paneles variables con velocidad, en nuestro caso no aplicaría la velocidad si no que se trataría de carriles cerrados o abiertos.



Ilustración 33 - Ejemplo de mensaje IVI recibido en vehículo[45].

4 Análisis de la propuesta de TFM

La propuesta definida en este TFM es viable para implementarla en cualquier gran ciudad ya que la infraestructura necesaria para llevar a cabo su implementación no supone grandes obras que se tendrían que valorar de forma específica en cada caso.

Para llevarla a cabo, sería necesario un estudio de cobertura en las zonas de interés para definir el número de RSUs necesarias de cara a dar cobertura a la zona. En cuanto a la alimentación de estas RSUs, se podría aprovechar el propio cableado de la ciudad tanto a nivel eléctrico como a nivel de fibra óptica para tener comunicación con el centro de gestión de tráfico. A día de hoy, esto no debería ser ningún problema ya que todas las grandes ciudades tienen despliegue de fibra. En el caso de zonas rurales, sería necesario estudiar cada una de las casuísticas ya que muchos pueblos todavía no tienen acceso a fibra. Para estos casos, podría valorarse implementar un sistema de comunicación inalámbrico como el 3G o el 4G para solventar el problema.

En cuanto a la implementación de este sistema en vehículos de emergencias, habría dos posibles soluciones. La primera opción sería incluir en los vehículos una OBU externa y una Tablet o cualquier dispositivo que permitiese comunicarse con la OBU para de esta forma poder gestionar la comunicación con el centro de gestión de tráfico sobre la emergencia que se atenderá. La segunda opción y la más recomendable será disponer de vehículos con esta tecnología incluida.

El resto de desarrollos necesarios para llevar a cabo esta implementación son desarrollos de software por lo que no supondría un problema técnico a la hora de implementarlo en cualquier ciudad o pueblo.

El siguiente paso necesario para que este trabajo final de master pueda llegar a implementarse en un entorno real será la prueba piloto en un escenario lo más real posible como podría ser la propia Avenida Diagonal, y en base a los resultados que se obtengan, se aplicarán las modificaciones necesarias para mejorar el producto hasta tener una primera versión viable. Una vez desarrollada esa primera versión se iniciaría el despliegue progresivo en distintas zonas de diferentes ciudades para de esta forma analizar con datos reales las mejoras que se obtienen y si el sistema supone una mejora significativa.

5 Conclusiones

El proyecto se ha desarrollado de forma completa desde la propuesta inicial, la definición de alcance, la definición funcional, el diseño final y hasta las conclusiones.

El resultado del proyecto ha sido satisfactorio, se ha realizado una propuesta que cumple la funcionalidad definida. Los siguientes pasos a este trabajo final de master serían implementarla como una prueba piloto en una ciudad y seguir iterándola para mejorarla hasta conseguir un producto final que se pueda implementar en cualquier ciudad.

A continuación, se comentan los objetivos conseguidos, la planificación llevada a cabo y las futuras líneas de trabajo que se podrían llevar a cabo a partir de este proyecto.

5.1 Objetivos conseguidos

Los objetivos planteados al inicio de este proyecto y recogidos en el apartado 1.2 de esta memoria, se han conseguido.

Se han analizado tanto los diferentes estándares relativos a los sistemas cooperativos como los relacionados con la gestión de tráfico necesarios para el TFM planteado en este proyecto.

Se ha diseñado una propuesta de valor viable que se puede implementar en diferentes ciudades además de proponer un ejemplo concreto en la ciudad de Barcelona.

Se ha diseñado una solución técnica especificando el funcionamiento detallado, los protocolos de comunicación necesarios y se han definido los diferentes mensajes que se utilizarán en la comunicación.

Por último, se han analizado los posibles riesgos del TFM definido y la viabilidad de su implementación.

5.2 Planificación y metodología adoptada

La planificación llevada a cabo al inicio del proyecto y que se muestra en el apartado 1.4 de esta memoria, se ha llevado a cabo cumpliendo las fechas marcadas para cada hito.

Aun así, al tratarse de un proyecto teórico en el que la búsqueda de información ha sido clave, el tiempo destinado para la PEC2 en la que se trata el estado del arte no ha sido suficiente, teniendo que continuar profundizando en el estado del arte durante la PEC3 para completar la implementación del proyecto y mejorar el estado del arte.

En cuanto a la metodología utilizada ha sido la adecuada para llevar a cabo este proyecto en el tiempo previsto ya que ha permitido cumplir los plazos y terminar el proyecto en el tiempo previsto.

5.3 Líneas de trabajo futuras

Para terminar, se proponen unas posibles líneas de investigación que podrían llevarse a cabo para seguir mejorando en la eficiencia del tráfico vial, no solo en lo relativo a emergencias sino también en el día a día de los usuarios de la vía. Las comunicaciones V2X, y los sistemas cooperativos en general, son un campo de estudio reciente en el que todavía quedan muchas líneas de estudio por investigar.

Como primera propuesta de línea de trabajo, se podría variar la solución propuesta en este TFM para poder distribuir la densidad de tráfico por diferentes vías, utilizando el mismo sistema propuesto, podría bloquearse la entrada una calle, proponiendo una ruta alternativa más rápida a los posibles usuarios de la vía. Para esto sería necesario conocer la ruta de los usuarios y para esto será necesario un análisis legal ya que se trata de información sensible relativa a los usuarios.

Otra propuesta interesante, sería analizar la posibilidad de introducir esta tecnología en autobuses y tranvías para poder priorizar su paso y evitar de esta forma posibles retrasos. Además de esto, este tipo de vehículos podrían enviar otro tipo de mensajes como alertas de subida y bajada de usuarios a autobuses y tranvías para aumentar la seguridad de los usuarios, al igual que propone Audi en su piloto[30].

6 Glosario

5GAA	5G Automotive Association
AA	Authorization Authority. Autoridad de Autorización
ADAS	Advanced Driver Assistance System. Sistemas avanzados de asistencia a la conducción.
C-ACC	Cooperative – Adaptive Cruise Control. Control de crucero adaptativo - Cooperativo
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems. Sistemas Inteligentes de Transporte Cooperativos.
C-V2X	Cellular – Vehicle to X
C2C-CC	Car 2 Car Communication Consortium
CA	Certification Authority
CAM	Cooperative Awareness Message
CAN	Controller Area Network
CAR2X	Car to X
CGT	Centro de Gestión de Tráfico
CONCORDA	Connected Corridor for Driving Automation
DENM	Decentralized Environmental Notification Basic Service Messages
DGT	Dirección General de Tráfico
EA	Enrolment Authority
ECU	Electronic Control Unit. Unidad de control Electrónico
ERTICO	European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organisation (ITS Europe). Organización para la Coordinación e Implementación de Sistemas Telemáticos en Transporte por Carretera.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GPS	Global Positioning System. Sistema de posicionamiento global
HSM	Hardware Security Module. Módulos de seguridad de hardware.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IOT	Internet of Things
ITS	Intelligent Transport Systems. Sistemas Inteligentes de transporte
IVI	Infrastructure to Vehicle Information
IVIM	Infrastructure to Vehicle Information Message
LTE	Long Term Evolution
MAPEM	MAP (topology) Extended Message
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport

MS	Nombre de la interfaz entre las capas de Management y Security
OBU	On Board Unit
OSI	Open Systems Interconnection
PDU	Protocol Data Unit
PEC	Práctica de Evaluación Continua
PKI	Public Key Infraestructure
PTW	Powered Two-Wheeler
RHW	Road Hazard Warning
RSU	Road Side Unit
SA	Nombre de la interfaz entre las capas de Security y Application
SF	Nombre de la interfaz entre las capas de Security y Facilities
SI	Nombre de la interfaz entre las capas de Security y Access
SIB	Security Information Base
SN	Nombre de la interfaz entre las capas de Security y Network
SPATEM	Signal Phase And Timming Extended Message
SREM	Signal Request Extended Message
SSEM	Signal request Status Extended Message
SSL	Secure Sockets Layer
TCP	Transmission Control Protocol
TFM	Trabajo Final de Master
TLC	Traffic Light Control
TLS	Transport Layer Security
UDP	User Datagram Protocol
V2I	Vehicle to Infrastructure Communication. Comunicación de vehículos a infraestructura.
V2P	Vehicle to Pedestrian Communication. Comunicación de vehículos a peatón.
V2X	Vehicle to X Communication. Comunicación de vehículos a x.
V2V	Vehicle to vehicle Communication. Comunicación de vehículos a vehículo.
VRU	Vulnerable Road User
WLAN	Wireless Local Area Network

7 Bibliografía

- [1]. Artículo de la Comisión Europea de Movilidad y transporte sobre los C-ITS.
https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en
- [2]. C-ROADS Europe
<https://www.c-roads.eu/platform.html>
- [3]. ERTICO ITS Europe
<https://ertico.com/>
- [4]. CAR 2 CAR Communication Consortium – C2C-CC
<https://www.car-2-car.org/>
- [5]. Guidance for day 2 and beyond roadmap CAR 2 CAR Communication Consortium
https://www.car-2-car.org/fileadmin/documents/General_Documents/C2CCC_WP_2072_RoadmapDay2AndBeyond.pdf
- [6]. 2020 Roadmap: Objectives & Organisational Structure
https://www.car-2-car.org/fileadmin/downloads/PDFs/roadmap/Roadmap_2020_figure.pdf
- [7]. Artículo de BMW sobre coches conectados.
<https://www.bmw.es/es/footer/footer-section/glosario-bmw/comunicacion-entre-vehiculos.html>
- [8]. ETSI EN 302 663: Intelligent Transport Systems (ITS); ITS-G5 Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.03.01_30/en_302663v010301v.pdf
- [9]. Artículo de Ford sobre sus pruebas de 5G-V2X en China.
https://media.ford.com/content/fordmedia/fap/cn/en/news/2019/03/26/Ford_Accelerates_Connectivity_Strategy_in_China_And_Targets_Production_of_First_C-V2X-Equipped_Vehicle_in_2021.html
- [10]. Web de Qualcomm sobre sus productos.
<https://www.qualcomm.com/products/automotive/c-v2x>
- [11]. OBU (*On-Board Unit*) desarrollada por Ficosa.
https://www.ficosa.com/wp-content/uploads/2018/12/Ficosa_On_Board_Unit_C_V2X.pdf
- [12]. RSU (*Road Side Unit*) desarrollada por Commsignia.
https://shop.commsignia.com/index.php?route=product/product&path=60&product_id=57

[13]. ETSI TR 102 638: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102600_102699/102638/01.01.01_60/tr_102638v010101p.pdf

[14]. ETSI EN 300 674-2-1: Transport and Traffic Telematics (TTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5 795 MHz to 5 815 MHz frequency band; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU; Sub-part 1: Road Side Units (RSU)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300600_300699/3006740201/02.01.01_60/en_3006740201v020101p.pdf

[15]. ETSI EN 300 674-2-2: Transport and Traffic Telematics (TTT); Dedicated Short Range Communication (DSRC) transmission equipment (500 kbit/s / 250 kbit/s) operating in the 5 795 MHz to 5 815 MHz frequency band; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU; Sub-part 2: On-Board Units (OBU)
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300600_300699/3006740202/02.01.01_60/en_3006740202v020101p.pdf

[16]. Artículo sobre el coche autonomo desarrollado por el Grupo PSA y la empresa CTAG.
<https://www.autobild.es/noticias/coche-autonomo-psa-164952>

[17]. Artículo explicativo sobre el bus CAN.
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-can-bus-y-como-funciona/>

[18]. Web de Here
<https://www.here.com/>

[19]. Web de TomTom
https://www.tomtom.com/es_es/drive/maps-services/shop/real-time-traffic/europe/

[20]. ETSI EN 302 665: Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf

[21]. 802.11p-2010 - IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)

Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments.

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5514475>

[22]. ETSI TS 103 723: Intelligent Transport Systems (ITS); Profile for LTE-V2X Direct Communication

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103723/01.01.01_60/ts_103723v010101p.pdf

[23]. 5G Automotive Association – 5GAA

<https://5gaa.org/>

[24]. Cyber Security Standards and Issues in V2X Communications for Internet of Vehicles

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8379733>

[25]. ETSI TS 102 940: Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102940/01.03.01_60/ts_102940v010301p.pdf

[26]. ETSI TS 102 637-2: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263702/01.02.01_60/ts_10263702v010201p.pdf

[27]. ETSI TS 102 637-3: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263703/01.01.01_60/ts_10263703v010101p.pdf

[28]. ETSI TS 103 301: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services.

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.01.01_60/ts_103301v010101p.pdf

[29]. Artículo de C-ROADS Spain sobre sus pilotos

<https://www.c-roads.es/c-roads-spain>

[30]. Artículo de Audi sobre Proyecto piloto V2X & C-V2X

<https://www.audi.com/en/experience-audi/mobility-and-trends/digitalization/car-to-x.html>

[31]. Artículo de ERTICO sobre piloto CONCORDA

<https://ertico.com/concorda/>

- [32]. Centro de gestión de tráfico. DGT.
<https://revista.dgt.es/es/reportajes/2018/06JUNIO/0626centros-de-gestion-del-trafico.shtml>
- [33]. DATEX II
<https://datex2.eu/datex2/about>
- [34]. Design of V2X Vehicle Antenna.
https://www.ieice.org/~isap/ISAP_Archives/2018/pdf/ThP-06.pdf
- [35]. ETSI EN 302 637-3: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service.
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.02.01_30/en_30263703v010201v.pdf
- [36]. EN 302 636-1 - V1.2.1 - Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 1: Requirements
https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263601/01.02.01_60/en_30263601v010201p.pdf
- [37]. IJS: An Intelligent Junction Selection Based Routing Protocol for VANET to Support ITS Services
<https://downloads.hindawi.com/archive/2014/653131.pdf>
- [38]. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks.
<https://personal.utdallas.edu/~jjue/cs6390/papers/DSR.pdf>
- [39]. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks.
<https://www.eecs.harvard.edu/~htk/publication/2000-mobi-karp-kung.pdf>
- [40]. MQTT: The Standard for IoT Messaging
<https://mqtt.org/>
- [41]. ISO/TS 19321 Intelligent transport system – Cooperative ITS – Dictionary of in-vehicle information (IVI) data structures.
<https://www.sis.se/api/document/preview/918793/>
- [42]. ETSI TS 102 731 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; Security Services and Architecture
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102731/01.01.01_60/ts_102731v010101p.pdf
- [43]. ETSI TS 102 940 Intelligent Transport Systems (ITS); Security; ITS communications security architecture and security management
https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102940/01.02.01_60/ts_102940v010201p.pdf
- [44]. ETSI TS 102 723-9: Intelligent Transport Systems (ITS); OSI cross-layer topics; Part 9: Interface between security entity and facilities layer

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/10272309/01.01.01_60/ts_10272309v010101p.pdf

[45]. Artículo sobre pruebas de la plataforma V2X en la nube en Reino Unido.

<https://www.automotivetestingtechnologyinternational.com/news/v2xv2v/vodafone-and-partners-trial-cloud-v2x-platform-on-uk-roads.html#prettyPhoto>