

# Redes 5G V2X Multi-modo y Escalables

## Scalable Multimode 5G V2X Networks

---

**Daniel Sempere García**

Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales y de Telecomunicación  
Universidad Miguel Hernández de Elche

**Correspondencia/ Correspondence:**

daniel.sempere02@goumh.umh.es

**Recibido/ Received:**

23.01.2018

**Aceptado/ Accepted:**

15.11.2018

---

### **Cómo citar este trabajo | How to cite this paper**

D. Sempere García, "Redes 5G V2X Multi-modo y Escalables," Revista Doctorado UMH, vol. 4,no. 2, p2, 2018 [Online].

## RESUMEN

Dentro de la tecnología 5G, las comunicaciones vehiculares V2X (*Vehicle to Everything*) han experimentado una importante evolución durante los últimos años. La tecnología planteada como punto de partida es la basada en el estándar IEEE 802.11p. Sin embargo, recientemente el 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) ha estado trabajando en el desarrollo de la tecnología LTE-V2X o 5G V2X, planteada como un estándar basado en LTE para comunicaciones V2X. Este estándar, cuya primera versión ya se encuentra cerrada (Release 14), define los mecanismos necesarios para llevar a cabo comunicaciones vehiculares como V2V (*Vehicle to Vehicle*) y V2I (*Vehicle to Infrastructure*). No obstante, ante el futuro despliegue de la tecnología del vehículo autónomo, que marca unos requisitos muy elevados en cuanto a factores como la latencia o la fiabilidad de las comunicaciones, el 3GPP se encuentra actualmente en fase de estudio y estandarización del Release 15, con el objetivo de dar soporte a los requisitos y servicios críticos de las comunicaciones del vehículo conectado y autónomo. En este trabajo se pretende revisar el estado del arte actual de las comunicaciones 5G V2X, así como de las mejoras que actualmente se encuentran en fase de investigación.

**Palabras clave:** LTE-V2X, 5G V2X, V2X Celular, LTE, V2X, V2V, redes vehiculares, gestión de recursos radio.

## ABSTRACT

Within the 5G technology, V2X (*Vehicle to Everything*) vehicular communications have experienced an important evolution during the last years. The technology proposed as a starting point is the one based on the IEEE 802.11p standard. However, the 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) has been working recently on the development of LTE-V2X or 5G V2X technology, proposed as an LTE-based standard for V2X communications. This standard, whose first version is already closed (Release 14), defines the mechanisms to carry out vehicular communications such as V2V (*Vehicle to Vehicle*) and V2I (*Vehicle to Infrastructure*). Nevertheless, taking into account the future deployment of autonomous vehicle technology, which sets very high requirements in terms of factors such as latency or reliability of the communications, 3GPP is currently in the study and standardization phase of Release 15, with the objective of supporting the critical requirements and services of the connected and autonomous vehicle communications. This paper aims to review the state of the art of 5G V2X communications, as well as the improvements that are currently under investigation.

**Key words:** LTE-V2X, 5G V2X, Cellular V2X, LTE, V2X, V2V, vehicular networks, radio resource management.

## INTRODUCCIÓN

La tecnología de comunicaciones móviles 5G ofrecerá un rendimiento y capacidades muy superiores a la tecnología 4G, facilitando una sociedad completamente móvil y conectada. La Comisión Europea y la industria (mediante la plataforma europea 5G-PPP de colaboración público-privada) han identificado la automoción como uno de los sectores impulsores para el desarrollo de la tecnología 5G.

La tecnología 5G será clave para el desarrollo del vehículo conectado y autónomo. El potencial del vehículo conectado es de hecho ya una realidad. Por ejemplo, en EEUU el operador celular AT&T tiene ya más de 14 millones de vehículos conectados con tecnología celular. Hasta la fecha, la integración de la tecnología celular en los vehículos ha estado principalmente motivada por los servicios de entretenimiento a bordo, navegación y servicios telemáticos. Sin embargo, el desarrollo de las comunicaciones V2X (*Vehicle to Everything*, incluidas comunicaciones Vehículo a Vehículo V2V, y Vehículo a Infraestructura V2I) está siendo principalmente impulsado por los servicios de seguridad vial y gestión del tráfico rodado. Este tipo de servicios empleará como punto de partida la tecnología IEEE 802.11p, que permite unas comunicaciones de corto alcance sin la necesidad de soporte por parte de la infraestructura. Esta tecnología, estandarizada a nivel europeo por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) bajo el acrónimo ITS-G5, puede ser adecuada para los primeros despliegues de sistemas V2X, pero puede tener dificultades a la hora de mantener un comportamiento estable de la red debido a su acceso al medio basado en CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) en escenarios con una alta densidad de vehículos.

Es por ello que el grupo de normalización 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) está desarrollando una evolución de la tecnología de comunicaciones móviles 4G LTE (*Long Term Evolution*) para dar soporte a las aplicaciones vehiculares que requieran de comunicaciones V2X. Esta evolución se conoce generalmente como Cellular V2X, 5G V2X o LTE-V2X.

Sin embargo, tanto ITS-G5 como 5G V2X presentarán dificultades técnicas a medida que la tecnología sea masivamente integrada en los vehículos, y que estos aumenten sus niveles de automatización. Las aplicaciones de vehículo autónomo (*cooperative sensing* y *cooperative manoeuvring*) requieren comunicaciones V2X altamente fiables, con bajos niveles de latencia y mayores necesidades de ancho de banda (incluso para las comunicaciones V2V) que las aplicaciones de vehículo conectado. El vehículo autónomo necesitará también conexiones V2I con importante ancho de banda para la descarga y subida de mapas HD, y para dar soporte a la actualización mediante software de sus aplicaciones y firmware (*software over the air updates*, OTA).

En el presente artículo se incluye un estudio del estado del arte de las soluciones 5G V2X para dar soporte a las comunicaciones de vehículo conectado y autónomo, garantizando comunicaciones altamente fiables y con las necesidades de ancho de banda y latencia que la conducción autónoma (en sus diferentes niveles) y los servicios críticos del vehículo conectado requieran. El artículo se compone de dos apartados principales. El primero incluye la descripción del estado del arte de las comunicaciones 5G V2X estandarizadas, mientras que en el segundo se analizan las últimas mejoras actualmente bajo investigación por parte de los organismos de estandarización del 3GPP.

## COMUNICACIONES 5G V2X ESTANDARIZADAS

Los vehículos conectados y autónomos harán uso de las comunicaciones V2X para implementar aplicaciones de seguridad vial y gestión del tráfico. Las comunicaciones V2V se basan fundamentalmente en la transmisión de pequeños paquetes, generalmente conocidos como *beacons* o paquetes CAM (*Cooperative Awareness Message*), que requieren una alta fiabilidad y baja latencia de las comunicaciones. Hasta la fecha, se han dedicado importantes esfuerzos en el desarrollo de comunicaciones V2X utilizando los estándares IEEE 802.11p/WAVE (EEUU) e ITS-G5 (Europa). Sin embargo, algunos estudios como [1] han demostrado la dificultad de los estándares basados en la tecnología IEEE 802.11p para garantizar los niveles de calidad de servicio y la escalabilidad de las redes al aumentar la densidad de nodos vehiculares.

Como alternativa, el 3GPP publicó en septiembre de 2016 la primera versión del estándar Release 14 incluyendo la posibilidad de llevar a cabo comunicaciones V2X utilizando modificaciones de la tecnología móvil 4G LTE, y actualmente el Release 14 se encuentra cerrado desde marzo de 2017 [2]. En concreto, el estándar define el interfaz PC5 para las comunicaciones V2V (también denominadas comunicaciones V2X sidelink) y el interfaz Uu para las comunicaciones V2I. El estudio recogido en [3] ha demostrado que el interfaz PC5 puede obtener mejor rendimiento para comunicaciones V2V que IEEE 802.11p cuando ambas tecnologías utilizan la misma tasa de transmisión de datos.

### Descripción de la capa física de 5G V2X sidelink

5G V2X sidelink se caracteriza por emplear SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division*

*Multiple Access*), y tiene soporte para canales de 10 y 20MHz, donde cada canal se divide en tiempo y frecuencia. Concretamente, en tiempo la división se efectúa en sub-tramas de 1ms de duración, coincidiendo con el TTI (*Transmission Time Interval*), y en frecuencia el canal se fragmenta en sub-canales, definidos como un conjunto de RBs (*Resource Blocks*). El número de RBs por sub-canal puede variar, donde un RB se corresponde con un conjunto de 12 sub-portadoras de 15kHz, caracterizándolo con un ancho total de 180kHz [4].

Los datos correspondientes a las comunicaciones V2X se transmiten en TBs (*Transport Blocks*) empleando el canal PSSCH (*Physical Sidelink Shared Channel*), mientras que la información de control se transmite en mensajes SCI (*Sidelink Control Information*) a través del canal PSCCH (*Physical Sidelink Control Channel*). Cuando un vehículo desea transmitir un paquete (*beacon* o CAM), este se incluye en un TB, que debe ser transmitido con un SCI asociado, ambos siempre en la misma sub-trama. Los mensajes SCI, también conocidos como SA (*Scheduling Assignment*), contienen información referente al esquema de modulación y codificación utilizado para transmitir el TB (MCS, *Modulation and Coding Scheme*), a los RBs que el TB usa, y al intervalo de reserva de recursos cuando se utiliza SPS (*Semi-Persistent Scheduling*). Esta información es fundamental para que el resto de nodos reciban y decodifiquen el TB transmitido, por lo que el SCI debe recibirse correctamente [4].

El 3GPP define dos esquemas de sub-canalización (Figura 1): PSCCH y PSSCH adyacentes o no adyacentes. En el caso de que los canales PSCCH y PSSCH sean adyacentes, el SCI y el TB se transmiten en RBs adyacentes. Para ello, el SCI se transmite en los dos primeros RBs del primer sub-canal empleado para la trans-

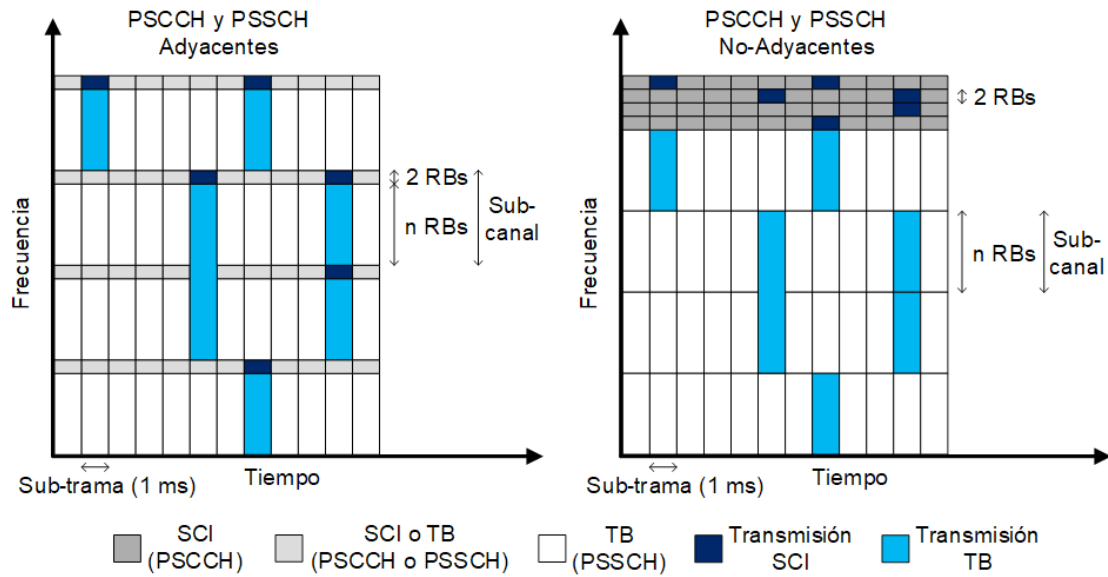


Figura 1. Esquemas de sub-canalización y ejemplo de utilización de recursos.

misión, y el TB en los RBs que siguen al SCI, pudiendo ocupar varios sub-canales dependiendo de su tamaño. En caso de que esto ocurra, el TB también ocuparía los dos primeros RBs de los sub-canales siguientes. En el segundo caso, donde los canales PSCCH y PSSCH no son adyacentes, se establece un conjunto de RBs (pool) dedicado a la transmisión exclusiva de SCIs, donde cada uno de ellos ocupa 2 RBs. Se reserva un segundo pool para la transmisión los TBs, dividido en sub-canales [4].

La transmisión de los SCIs se realiza usan-

do siempre QPSK, mientras que para transmitir los TBs se puede emplear QPSK o 16-QAM. 5G V2X emplea codificación turbo y un prefijo cíclico normal. Las sub-portadoras contienen un total de 14 símbolos por sub-trama, cuatro de los cuales se dedican a la transmisión de DMRS (*Demodulation Reference Signals*), con el objetivo de combatir el efecto Doppler asociado a las velocidades elevadas. Concretamente, estas señales de referencia se transmiten en los símbolos 3º, 6º, 9º y 12º de cada sub-portadora por sub-trama [2], [5].

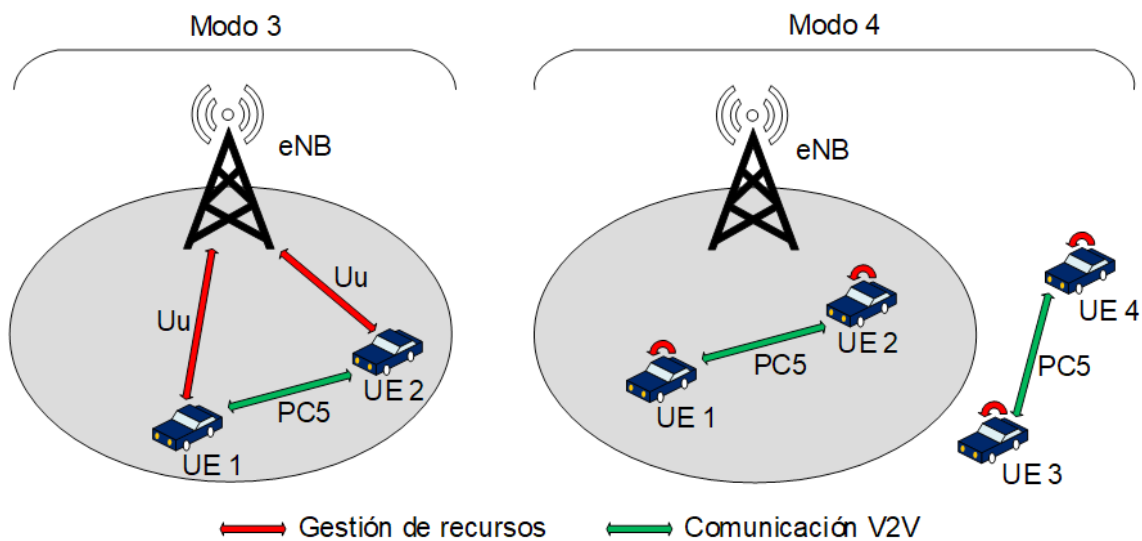


Figura 2. Modos de comunicación V2V sidelink.

## Gestión de recursos radio en 5G V2X

En el estándar Release 14 se definen dos modos de comunicación para las comunicaciones V2V sidelink, denominados Modo 3 y Modo 4, que se diferencian en función del método utilizado para seleccionar y gestionar los recursos radio para cada transmisión V2V. En el Modo 3 la estación base (nodo eNB) es la que se encarga de la gestión y asignación de los recursos de un modo centralizado, mientras que en el Modo 4 son los propios UEs (*User Equipment*) o vehículos los que seleccionan de un modo autónomo y distribuido los recursos necesarios para sus transmisiones V2V (sin la intervención de la estación base). Por tanto, LTE sidelink está diseñado para operar tanto con cobertura de red como sin ella, es decir, que LTE sidelink es totalmente operativo en cualquier zona o región, por remota que esta sea, pero además permite la explotación de la infraestructura cuando esta esté disponible con el objetivo de incrementar la eficiencia del sistema [7].

### Modo 3

El Modo 3 se define como un modo de operación asistido por la red en el cual la estación base o eNB juega el papel de *scheduler* central, encargado de ejecutar los algoritmos de asignación de recursos pertinentes y de enviar a cada vehículo información referente a los recursos que le han sido asignados, para lo cual cada vehículo debe haber solicitado previamente recursos a la red ante la necesidad de realizar una transmisión V2V [7]. Además, la estación base puede requerir a los vehículos implicados el envío de reportes puntuales o periódicos con información determinada que le sirva de apoyo a la hora de asignar los recursos. Este modo de comunicación es el más adecuado para comunicaciones V2V de latencia extremadamente baja y alta confiabilidad, ya que la estación base actúa como coordinadora y garantiza que los recursos estarán disponibles cuando sea necesari-

rio [8].

Al contrario de lo que sucede con el Modo 4, para el Modo 3 los estándares del 3GPP no especifican ningún algoritmo de asignación de recursos, por lo que cada operador de red puede implementar el algoritmo que considere más pertinente dentro de una de las dos categorías siguientes. En la primera, denominada *Dynamic Scheduling*, los vehículos solicitan recursos a la estación base para la transmisión de cada paquete, incrementando con ello tanto la cantidad de señalización necesaria (*overhead*) como el retardo en la transmisión del paquete. La segunda opción se conoce como SPS (*Semi-Persistent Scheduling*), en la cual la estación base reserva recursos de forma semi-persistente para las transmisiones periódicas de un vehículo, decidiendo durante cuánto tiempo se mantiene la reserva en base a la información proporcionada por el vehículo sobre el tamaño, la prioridad y la frecuencia de transmisión de sus paquetes [9].

Por tanto, la tarea de asignación de recursos para el Modo 3 se plantea como un problema de optimización que tiene como objetivo la maximización del ratio de recepción de paquetes (PRR, *Packet Reception Ratio*), garantizando que el paquete emitido por cada vehículo pueda alcanzar tantos vehículos como sea posible. No obstante, de modo general la búsqueda de una solución global óptima para este problema (si existe) es computacionalmente compleja, y dicha complejidad aumenta cuando el número de dispositivos o vehículos es considerable. Además, para alcanzar la solución también se puede requerir información diversa sobre el estado del canal entre todos los vehículos, lo cual conduce a una enorme cantidad de carga de señalización en la red [7].

Aunque se trata de un campo relativamente reciente, ya existen algunas investigaciones que comienzan a proponer soluciones para la problemática planteada sobre la asignación de recursos

centralizada. Por ejemplo, en [7] se propone una solución heurística al problema con la cual se logra una ganancia significativa con respecto a los esquemas de asignación de Modo 4. El algoritmo propuesto busca la minimización de las interferencias debidas al uso de los mismos recursos en tiempo y frecuencia, y emplea para ello información reportada por los vehículos sobre su localización geográfica. En [10] se propone otro algoritmo de asignación de recursos centralizado basado en el concepto de distancia de reutilización, definida como la distancia mínima a la cual deben estar dos vehículos para que estos puedan compartir un mismo recurso sin los efectos negativos asociados. Para ello se emplea también la posición geográfica de cada vehículo, y se evalúa el impacto en los resultados de posibles imprecisiones en la obtención de dicha posición.

Otro aspecto a destacar del Modo 3 es que cada vehículo puede que esté siendo servido por diferentes operadores celulares o PLMNs (*Public Land Mobile Networks*), y por lo tanto ha sido necesario definir una arquitectura inter-operador o inter-PLMN [11] que permite la comunicación directa entre vehículos en los dos siguientes escenarios. En el primero, los vehículos conectados a diferentes PLMNs realizan sus transmisiones V2V en diferentes portadoras, por lo que deberán ser capaces de recibir en múltiples portadoras para poder recibir las transmisiones de vehículos conectados a otras PLMNs. Para ello, cada PLMN emite en modo broadcast la información necesaria para que sus vehículos conozcan cómo y en qué portadoras podrán recibir las transmisiones de vehículos conectados a otras PLMNs. El segundo escenario plantea que los vehículos conectados a diferentes PLMNs compartan la misma portadora para sus transmisiones V2V, asignando parte de los recursos de dicha portadora a cada PLMN. El estándar no especifica cómo se deben repartir los recursos de una misma portadora en-

tre las PLMNs, pero sí que define un mecanismo de coordinación entre PLMNs empleando la función *V2X Control Function* [3].

#### Modo 4

El Modo 4 se corresponde con el modo de comunicación V2V sidelink en el que son los propios vehículos los que de forma autónoma e independiente seleccionan los recursos radio para sus transmisiones. Al tratarse de una gestión autónoma de los recursos, el proceso puede realizarse tanto dentro de cobertura como sin ella.

Cuando el vehículo dispone de cobertura, la estación base decide cómo configurar el canal V2X, informando al vehículo mediante una serie de parámetros configurables. Esta configuración incluye, entre otros aspectos, información sobre la frecuencia de la portadora del canal V2X, el pool de recursos V2X, el esquema de sub-canalización, el número de sub-canales por sub-trama, el número de RBs por sub-canal, etc. En caso de que el vehículo esté fuera de cobertura, este utiliza un conjunto de parámetros pre-configurados en lugar de los indicados por la estación base, aunque el estándar no especifica valores concretos para cada parámetro. El estándar define también la posibilidad de configurar el pool de recursos V2X en base a áreas geográficas (*Zoning*), de modo que los vehículos situados en una determinada zona solamente puedan emplear el pool de recursos asignado a dicha zona [2].

Cuando los vehículos emplean Modo 4, estos seleccionan los recursos (sub-canales) haciendo uso del esquema SPS basado en *sensing* (S-SPS) incluido en el Release 14 [4], [12]. Los sub-canales seleccionados se reservan durante un número de transmisiones consecutivas (contador *Reservation Counter*, con un valor aleatorio entre 5 y 15). Tras cada transmisión el contador se reduce en uno, de forma que, al alcanzar el valor igual a cero (o cuando el paquete a transmitir no encaje en los recursos reservados), deben seleccionarse

y reservarse nuevos recursos con una probabilidad  $(1-P)$  (el valor de  $P$  se toma entre 0 y 0.8). La transmisión de los paquetes se efectúa cada 100 sub-tramas (es decir, 10 paquetes por segundo) o en múltiplos de 100 sub-tramas (hasta un mínimo de 1 paquete por segundo).

Gracias a la reserva semi-persistente de recursos y a la incorporación en el SCI del *Reselection Counter* y del intervalo de transmisión de paquetes, otros vehículos pueden estimar en base a su proceso de *sensing* qué recursos se encuentran libres, reduciendo así las colisiones entre paquetes.

## EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES 5G V2X

En este apartado se resumen las características que se siguen estudiando en los grupos de trabajo del 3GPP en el proceso de estandarización de 5G V2X, así como características adicionales que podrían ser abordadas en relación con la evolución de dicha tecnología.

### 5G V2X Release 15

Tras la finalización del Release 14 en marzo de 2017, el 3GPP está trabajando actualmente dentro del Release 15 en las nuevas mejoras para las comunicaciones y servicios V2X (3GPP V2X Phase 2), incluidas las derivadas de la introducción de la conducción autónoma. Para ello, el SA1 (SA WG1, *Service and System Aspects Working Group 1*) ha identificado un total de 25 casos de uso para servicios avanzados V2X, que a su vez se han clasificado en cuatro grupos principales: *vehicles platooning* (formación dinámica de *platoons* de vehículos), *extended sensors* (intercambio de datos entre vehículos, RSUs, dispositivos V2X y peatonales), *advanced driving* (conducción semi-automática o automática)

y *remote driving* (para pasajeros que no pueden conducir solos o vehículos en entornos peligrosos). Se destaca además que todos los casos de uso y requisitos planteados, así como las soluciones que finalmente se adopten, deben ser complementarias y retro compatibles con el Release 14 [13], [14].

Las aplicaciones asociadas a los distintos casos de uso pueden requerir en algunos casos transmisiones de hasta 50 paquetes por segundo, una latencia máxima con valores entre 3 y 10 ms, y hasta un 99.99% de fiabilidad [14]. Para cubrir estos requisitos, en el Release 15 se están discutiendo distintas mejoras, entre las cuales se encuentran: *Carrier Aggregation* (LTE soporta la agregación de hasta 32 portadoras, y se está considerando la agregación de hasta 8 portadoras para LTE-V2X sidelink); modulación 64-QAM (Release 14 soporta QPSK y 16-QAM. 64-QAM incrementaría la tasa de datos y permitiría reducir la ocupación de canal); reducción del tiempo máximo entre la llegada de un paquete a la capa 1 y el comienzo de sub-canal seleccionado para transmitir (Release 15 busca reducir de los 20 ms del Release 14 a menos de 10 ms); *Transmit Diversity* (se está estudiando la viabilidad y ganancias que pueden obtenerse utilizando esquemas de transmisión con diversidad); *Short TTI (Transmission Time Interval)* (se analiza la posibilidad de reducir el TTI de 1 ms a 0.5 ms o 2 símbolos, teniendo en cuenta que los vehículos con diferente TTI - Release 14 y 15 - deben coexistir en el mismo pool de recursos radio. Aunque los vehículos Release 14 no podrán escuchar a los de Release 15 que utilicen TTIs más cortos, las transmisiones de estos últimos no deberán interferir con las de Release 14); recursos compartidos entre Modo 3 y Modo 4 (en Release 14 estos dos modos operan independientemente utilizando pools de recursos diferentes) [13].



## Recursos compartidos entre Modo 3 y Modo 4

Dentro de las mejoras consideradas en el Release 15, una de ellas consiste en la compartición de recursos entre el Modo 3 y Modo 4 [13]. En el Release 14 se definían ambos modos de operación como modos independientes en cuanto a los recursos empleados por cada uno de ellos, de forma que se asumía el uso de un pool de recursos independiente y diferente para cada modo. En concreto, es interés de la industria la posibilidad de que ambos modos coexistan en un mismo pool, con el fin de optimizar la eficiencia espectral. Dicha coexistencia requerirá modificaciones en ambos modos que deberán realizarse considerando la compatibilidad de operación con los Modos 3 y 4 del Release 14, y las posibles mejoras que están analizándose en el Release 15 (*Carrier Aggregation*, 64-QAM, etc.).

Actualmente, la compartición de recursos entre Modo 3 y Modo 4 es uno de los temas abiertos en los últimos meetings del 3GPP, donde no se han desarrollado todavía soluciones concretas, por lo que son necesarias contribuciones de la comunidad investigadora. Empresas como Huawei/HiSilicon [15], [16], Samsung [17], [18], Ericsson [19], [20] o Qualcomm Inc. [21], [22] han aportado en documentos de trabajo del 3GPP posibles vías de trabajo que incluyen: la utilización de los bits reservados en el SCI (*Sidelink Control Information*) para diferenciar el modo utilizado; la utilización del campo *resource reservation* con Modo 3 para señalar el periodo de reserva semi-persistente; la realización de *sensing* y *reporting* a la estación base por parte de los vehículos en Modo 3 sobre qué recursos se encuentran ocupados por vehículos en Modo 4; la reducción de los tiempos de reserva semi-persistente para Modo 3 y 4; o el envío de informes de restricción de recursos a los vehículos en Modo 4 por parte de la estación base.

## Control de congestión y percepción

Un aspecto crítico para las redes vehiculares es su escalabilidad, la cual puede ser comprometida al aumentar la carga en el canal de comunicaciones, ya sea por un incremento en la densidad de vehículos o en la frecuencia de transmisión de cada vehículo. La transmisión periódica de CAMs ocupa una gran parte del canal de comunicaciones, y por ello han sido propuestos diferentes protocolos de congestión que controlan la carga del canal modificando los parámetros de transmisión de dichos paquetes, como por ejemplo los protocolos LIMERIC [23] y PULSAR [24]. Ambos protocolos fueron desarrollados para sistemas basados en la tecnología IEEE 802.11p. El estándar DCC (*Decentralized Congestion Control*) desarrollado por el ETSI propone la combinación de ambos protocolos para el sistema de comunicaciones V2X europeo ITS-G5 [25]. Otros autores han propuesto, por ejemplo, algoritmos de control de congestión que reducen la potencia de transmisión (y por lo tanto el rango de comunicación) en base a la carga del canal de comunicaciones [26]. Sin embargo, un estudio reciente [27] ha demostrado que los algoritmos de control de congestión son insuficientes cuando vehículos autónomos intercambian información de sus sensores para crear un conocimiento más preciso de su entorno (proceso denominado *collective perception* o *cooperative sensing*). Las comunicaciones V2X permitirán intercambiar información entre vehículos para, por ejemplo, anticipar un riesgo de colisión entre dos vehículos, requiriendo que los vehículos puedan recibir continuamente información actualizada de sus vecinos. Este tipo de protocolos, denominados control de percepción, fueron propuestos por el grupo de investigación UWICORE, demostrando además recientemente los beneficios de integrar los protocolos de control de congestión y control de percepción [1].

Toda la investigación hasta la fecha en materia

de protocolos de control de congestión y percepción en redes vehiculares ha sido realizada para sistemas basados en la tecnología IEEE 802.11p. Por lo tanto, sería necesario evolucionar dichos protocolos o crear nuevos para los sistemas basados en tecnologías 5G V2X, tal y como ha sido puesto de manifiesto en [28]. De hecho, el estándar Release 14 del 3GPP indica que los vehículos deben adaptar sus parámetros de transmisión (por ejemplo, potencia de transmisión, número de retransmisiones, o esquema de modulación y codificación de canal) en base al parámetro CBR (*Channel Busy Ratio*) para así poder controlar la carga en el canal de comunicaciones. Sin embargo, el 3GPP no ha definido en sus estándares hasta la fecha ningún protocolo de control de congestión y percepción, si bien ha creado una línea de trabajo relacionada bajo el grupo de trabajo que está definiendo la siguiente versión de los estándares en Release 15.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo recoge el estado del arte de las comunicaciones V2X basadas en LTE, desarrolladas por el 3GPP y denominadas 5G V2X. Con dicho objetivo, se han resumido las características principales incluidas en los estándares actuales de esta tecnología, describiendo el principio de funcionamiento de la misma en relación con la gestión de los recursos radio. Además, se han estudiado las mejoras y propuestas de evolución de la tecnología 5G V2X actualmente en curso, centrándose tanto en los aspectos tratados por los grupos de trabajo del 3GPP en su proceso de estandarización, como en algunas características que deberán ser estudiadas y consideradas en un futuro, con el objetivo de dotar finalmente a las comunicaciones V2X de las capacidades necesarias para dar soporte a los exigentes requisitos y

servicios de la comunicación entre vehículos conectados y autónomos.

## REFERENCIAS

- [1] M. Sepulcre, J. Gozalvez, O. Altintas, and H. Kremo, "Integration of congestion and awareness control in vehicular networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 37, part 1, pp. 29–43, Feb. 2016.
- [2] 3GPP, "TS 36.300 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (v14.5.0, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Dec. 2017.
- [3] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, "LTE-V for Sidelink 5G V2X Vehicular Communications," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 12, no. 4, pp. 30–39, Dec. 2017.
- [4] 3GPP, "TS 36.213 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (v14.5.0, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Dec. 2017.
- [5] 3GPP, "TS 36.211 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (v14.5.0, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Dec. 2017.
- [6] 3GPP, "TS 36.101 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (v14.5.0, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Sept. 2017.
- [7] R. Blasco, H. Do, S. Shalmashi, S. Sorrentino, and Y. Zang, "3GPP LTE Enhancements for V2V and comparison to IEEE 802.11p," in *Proc. 11th ITS European Congress, Glasgow, Scotland, Jun. 2016*.
- [8] M. Boban, A. Kousaridas, K. Manolakis, J. Eichinger, and W. Xu, "Use Cases, Requirements, and Design Considerations for 5G V2X," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, Jan. 2018.
- [9] 3GPP, "TS 36.331 Evolved Universal Terrestrial

- Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (v14.5.1, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Jan. 2018.
- [10] G. Cecchini, A. Bazzi, B. M. Masini, and A. Zanella, "Localization-Based Resource Selection Schemes for Network-Controlled LTE-V2V," in *14th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS 2017), Bologna (Italy), Aug. 2017*.
- [11] 3GPP, "TS 23.285 Architecture enhancements for V2X services (v14.5.0, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Dec. 2017.
- [12] 3GPP, "TS 36.321 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (v14.5.0, Release 14)," 3GPP, Tech. Spec., Dec. 2017.
- [13] Huawei, CATT, LG Electronics, HiSilicon, China Unicom, "RP-170798. New WID on 3GPP V2X Phase 2," in *3GPP TSG RAN Meeting #75, Dubrovnik, Croatia, Mar. 2017*.
- [14] 3GPP, "TR 22.886 Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services (v15.1.0, Release 15)," 3GPP, Tech. Rep., Mar. 2017.
- [15] Huawei, HiSilicon, "R1-1717005. Discussion on resource pool sharing for eV2X," 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #90bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017.
- [16] Huawei, HiSilicon, "R2-1710088. On resource pool sharing between R15 UEs and R14 UEs," 3GPP TSG RAN WG2 Meeting #99bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017.
- [17] Samsung, "R1-1717562. Resource pool sharing among mode 3/4 UEs," 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #90bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017.
- [18] Samsung Electronics, "R2-1710787. Discussion on resource pool sharing between mode 3 and mode 4 UEs," 3GPP TSG RAN WG2 Meeting #99bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017.
- [19] Ericsson, "R1-1717737. Resource pool sharing between mode 3 and mode 4 UEs," in *3GPP TSG RAN WG1 Meeting #90bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017*.
- [20] Ericsson, "R2-1711497. Pool sharing between mode 3 and mode 4," in *3GPP TSG RAN WG2 Meeting #99bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017*.
- [21] Qualcomm Incorporated, "R1-1718130. Resource pool sharing between Mode 3 and Mode 4," in *3GPP TSG RAN WG1 Meeting #90bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017*.
- [22] Qualcomm Incorporated, "R2-1710682. Resource pool sharing between Mode 3 and Mode 4," in *3GPP TSG RAN WG2 Meeting #99bis, Prague, Czech Republic, Oct. 2017*.
- [23] J. B. Kenney, G. Bansal, and C. E. Rohrs, "LIME-RIC: a linear message rate control algorithm for vehicular DSRC systems," in *Proc. ACM Workshop VANET, Sept. 2011*.
- [24] T. Tielert, D. Jiang, Q. Chen, L. Delgrossi, and H. Hartenstein, "Design Methodology and Evaluation of Rate Adaptation Based Congestion Control for Vehicle Safety Communications," in *Proc. IEEE VNC, Nov. 2011*.
- [25] ETSI, "TS 102 687 Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part (V1.1.1)," ETSI, Tech. Spec., July 2011.
- [26] Y. Zang, L. Stibor, X. Cheng, H. J. Reumerman, A. Paruzel, and A. Barroso, "Congestion Control in Wireless Networks for Vehicular Safety Applications," in *Proc. European Wireless Conference, Apr. 2007*.
- [27] H. J. Günther, R. Riebl, L. Wolf, and C. Facchi, "Collective perception and decentralized congestion control in vehicular ad-hoc networks," in *Proc. IEEE VNC, Dec. 2016*.
- [28] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, "System Level Evaluation of LTE-V2V Mode 4 Communications and its Distributed Scheduling," in *Proc. IEEE VTC-Spring, Jun. 2017*.