



# Comunicaciones 5G: retos y soluciones en el vehículo conectado

Mónica Navarro

Responsable de la División de Sistemas de Comunicaciones  
Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya

**Jornada del coche conectado al coche autónomo.**

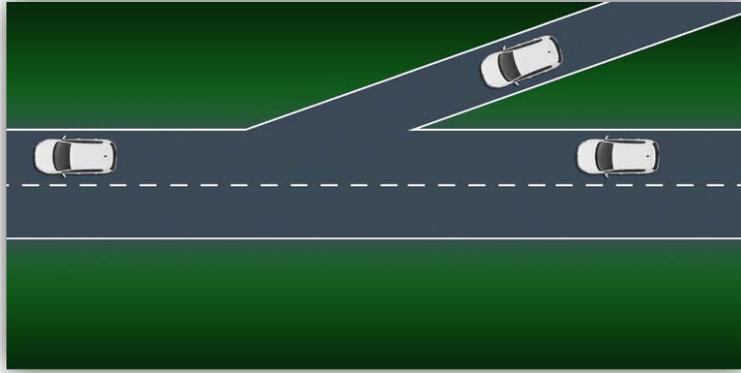
Nuevos retos sociales y tecnológicos

13 de febrero de 2019, Universidad de Zaragoza

# Índice

- Contexto y Casos de Uso del Vehículo Conectado
- Requerimientos
- Red de Comunicaciones: Retos y Soluciones
- Proyectos Ilustrativos

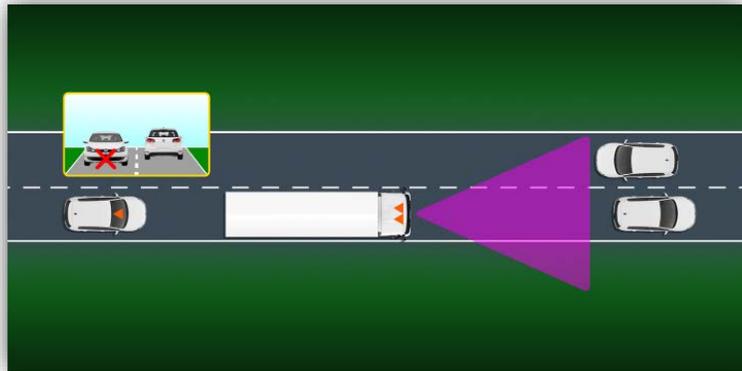
# Contexto – Vehículo Conectado



Incorporación carril



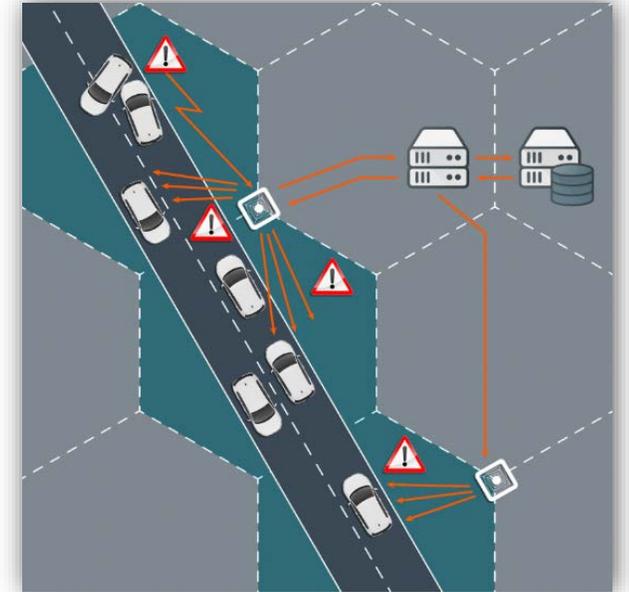
Protección asistida por la red de usuarios vulnerables (VRU)



See-through



Conducción remota para aparcamiento automático



Adquisición Mapa local de alta definición

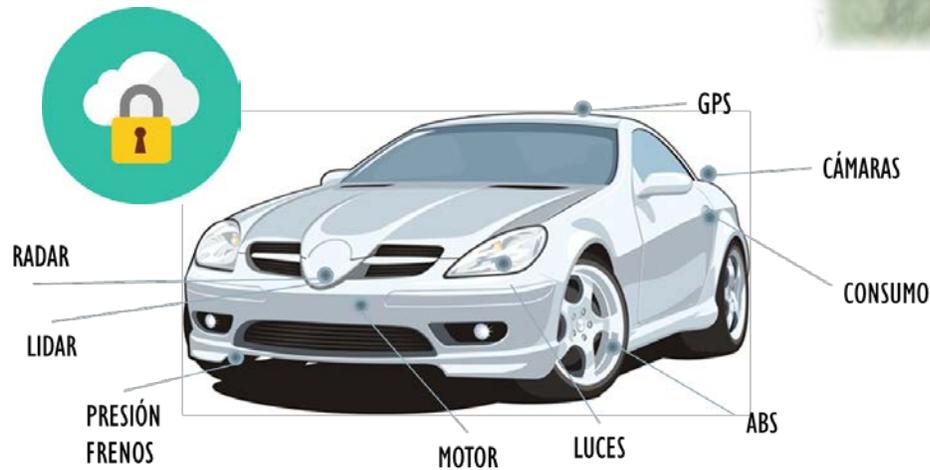
# Contexto – Vehículo Conectado



Infotainment



Transporte Intermodal  
Optimización de rutas VRUs



Gestión/Diagnóstico vehículos o flotas

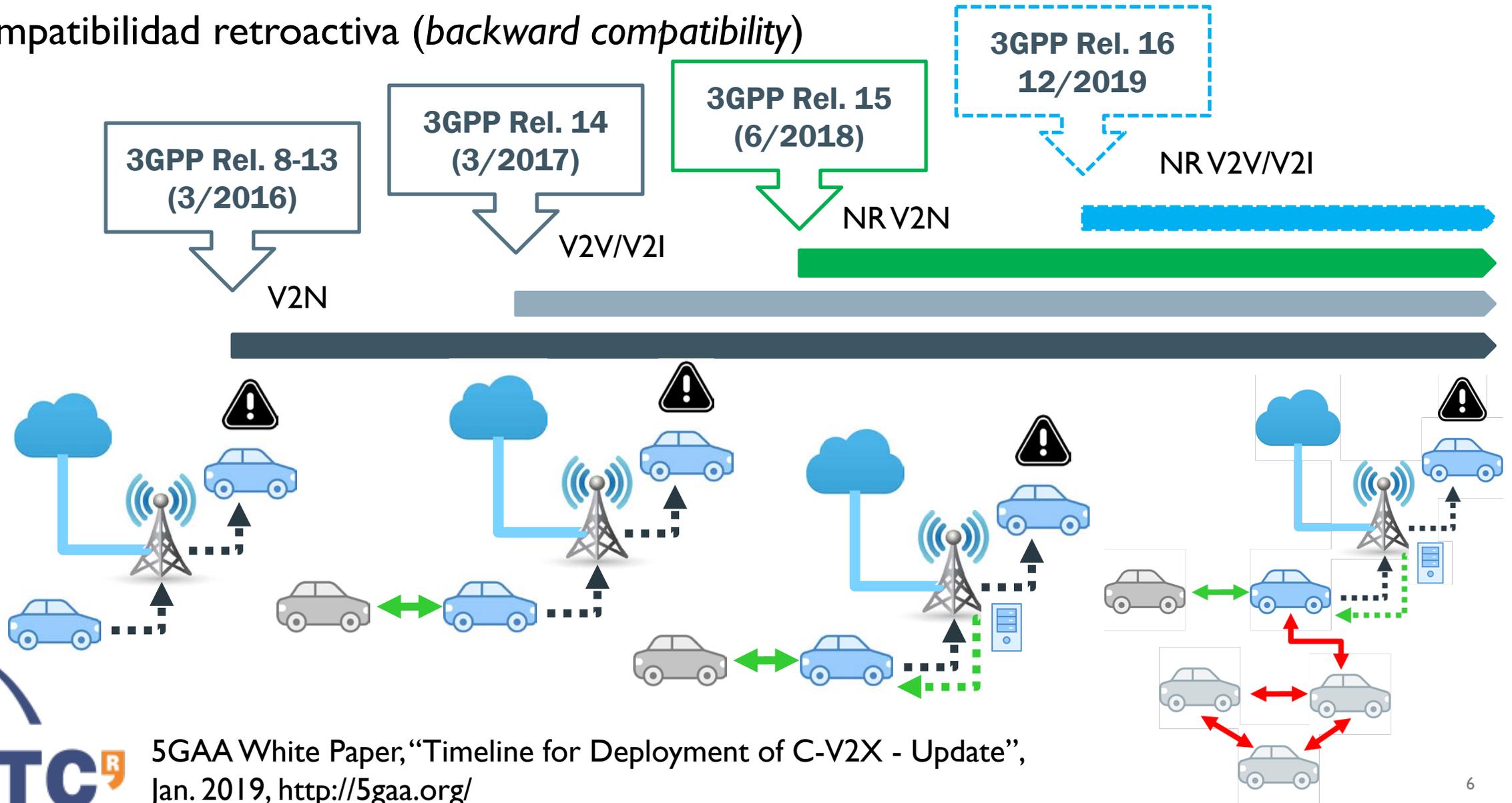
# Requerimientos

## Objetivo para sistemas de transporte inteligente/conducción futura

- Muy baja latencia  $< 5\text{ms}$
- Muy alta fiabilidad  $> 99.999\%$   $\rightarrow$  BLER/PER =  $10^{-5}$
- Para velocidades altas: velocidad media hasta 150 km/h
- Elevada densidad de vehículos
- Posicionamiento  $< 30\text{ cm}$  (vehículos),  $< 10\text{ cm}$  para usuarios vulnerables

# Planificación según la industria

Compatibilidad retroactiva (*backward compatibility*)



# Requerimientos: 5G – 3GPP SAI

- 3GPP SAI Grupo de trabajo: Servicios  
(TS22.186): eV2X dividido en 5 categorías

## Requerimientos genéricos

- Precisión posicionamiento lateral 10 cm entre UEs
- Densidad de conexión: 4300 vehículos / km<sup>2</sup>
- Soportar gestión de grupos
- Acceso via relays
- RSU comunicación multiusuario, hasta 200 UEs

# Requerimientos: 5G – 3GPP SA I

## Requerimientos según categoría

	<b>Platooning (≤ 5, ≤ 20)</b>	<b>Conducción Avanzada</b>	<b>Sensórica Extendida</b>	<b>Conducción Remota</b>
Tasa de transmisión	50 mensajes/s	10 mensajes/s	10 mensajes/s	
Latencia (E2E)	10 ms	3-100 ms	3-100 ms	5 ms
Payload	50-6500 bytes	300-12000 bytes	1600 bytes	
Velocidad de tx de datos	65 Mbps	0.25-53 Mbps	10 Mbps- 1 Gbps	1 Mbps 25 Mbps
Fiabilidad	90-99.99%	90-99.99%	90-99.99%	99.999% BLER < 10 <sup>-5</sup>
Cobertura	80-350 m	360-700 m	50-1000 m	
Velocidad	130 km/h	130 km/h		250 km/h

# Retos – Objetivos IMT 2020

<b>Velocidad de datos</b>	Pico	20 Gbps (DL); 10 Gbps (UL)
	Usuario	100 Mbps (DL); 50 Mbps (UL)
<b>Eficiencia espectral</b>	Pico	30 b/s/Hz (DL); 15 b/s/Hz (UL)
	Media ( <i>Hotspot</i> )	9 b/s/Hz/TRxP (DL); 6.75 b/s/Hz/TRxP (UL)
	(Rural)	3.3 b/s/Hz/TRxP (DL); 1.6 b/s/Hz/TRxP (UL)
<b>Capacidad por área</b>		10 Mbps/m <sup>2</sup>
<b>Latencia</b>	Plano de usuario	4 ms (eMBB); 1 ms (URLLC)
	Plano de control	≤ 20 ms, target 10 ms
<b>Densidad de conexión</b>		1 Millón/m <sup>2</sup> (mMTC)
<b>Fiabilidad</b>		10 <sup>-5</sup>
<b>Movilidad</b>		500 km/h
<b>Eficiencia energética</b>		No se han especificado valores

# Retos – Tecnologías Facilitadoras

- Interfaz radio: 3GPP *New Radio* (NR)
- *Software Defined Networking* (SDN), *Network Slicing*
- *Network Function Virtualization* (NFV), Funciones Virtuales de Red (VNF)
- MEC (*Multi-Access (Mobile) Edge Computing*), *Distributed Cloud Computing*, *Fog Computing*
- Calidad de Servicio Predictiva (Predictive Quality of Service)
- Inteligencia Artificial, Algoritmos predictivos , *Machine Learning*
- Seguridad y Gestión de Datos



- **ITS-G5 (ETSI EN 302 663)** tecnología basada en IEEE 802.11-2012 y IEEE/ISO/IEC 8802-2-1998

▶ Comunicaciones D2D (V2V, V2I)  
▶ Tecnología madura

- **LTE C-V2X Rel.14 (@2017)**: extensión servicio celular; establece fundamentos para la seguridad & evolución a conducción autónoma.

Tecnología en auge (apoyo 5GAA)



5G NR Rel. 16 (@2019) URLLC

# Red de Comunicación – Armonización del espectro

**ITS @5.9 GHz Banda no-licenciada:** 5875-5905 MHz aplicaciones relacionadas con la seguridad en ITS (30 MHz)

- 5GAA (5G Automotive Association) propone **dividir la banda ITS (5.9 GHz)** y asignar **exclusividad** de uso a **LTE-V2X/5G**
- ACEA (European Automobile Manufacturers' Association) propone utilizar la banda de **3.4-3.8 GHz para LTE-V2X**
- Car 2 Car Communication Consortium

**pero** ETSI requiere respetar los principios de uso

- En caso de **coexistencia de multiples** tecnologías, garantizar que la seguridad de todos los usuarios no se ve comprometida
- Uso **neutral** del espectro con respecto la tecnología
- Uso **eficiente** del espectro
- **Evolución 5G CCAM** (Cooperative Connected and Automated Mobility).



# Red de Comunicación – Estado del Arte

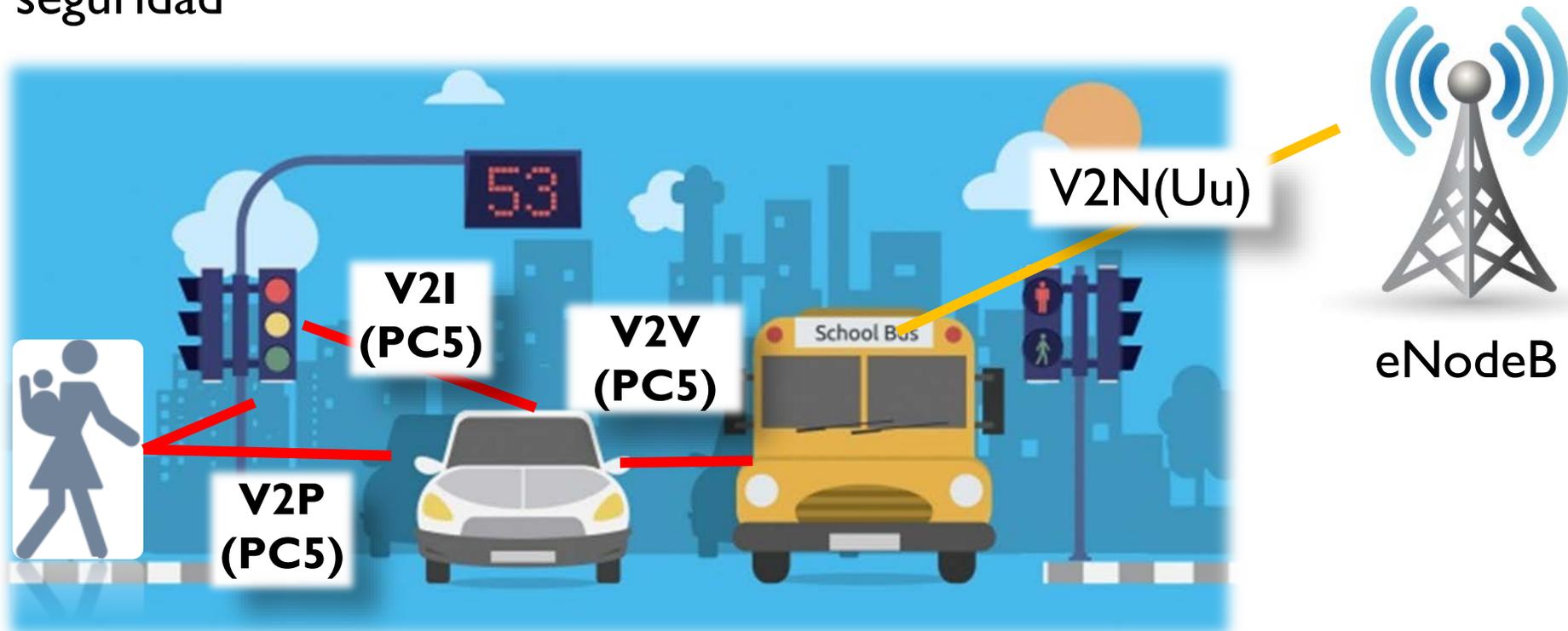
## LTE C-V2X

### Comunicación directa

indep. red celular, banda freq. no licenciada (ITS e.g. 5.9 GHz); servicios básicos de seguridad

### Comunicación celular

banda licenciada operador; servicios complementarios



## Qué novedades aporta 5G : 3GPP NR Release 15

- Forma de onda: sin cambios significativos, OFDM
- Códigos de canal: más potentes (LDPC), específicos para **paquetes cortos** (Polar Codes)
- Trama (**Numerology**) mayor flexibilidad, unidades de menor duración
- Retransmisiones: más ágiles, tráfico prioritario
- Tecnología multi-antena: de MIMO a conformación de haz en ondas mm

# Soluciones 5G – Interfaz Radio

- Que novedades aporta 5G? 3GPP NR Release 15 (junio 2018)

## Formas de Onda

OFDM escalable

(espaciado sub-  
portadoras variable)

CP-OFDM, DFT-s-OFDM

Flexibilidad y Eficiencia en  
diversidad de espectro,  
despliegue y servicios

**Espaciado**  
**Subportadora**      **Prefijo Cíclico**

$$\Delta f_{SC} = 2^n \cdot 15 \text{ kHz}$$

<b>0</b>	15 kHz	Normal
<b>1</b>	30 kHz	Normal
<b>2</b>	60 kHz	Normal, Extendido
<b>3</b>	120 kHz	Normal
<b>4</b>	240 kHz	Normal
<b>5</b>	480 kHz	Normal

# Soluciones 5G – Interfaz Radio

- Que novedades aporta 5G? 3GPP NR Release 15 (junio 2018)

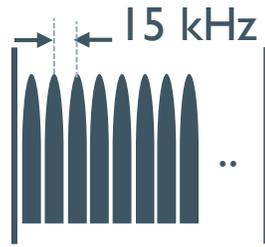
## Formas de Onda

OFDM escalable

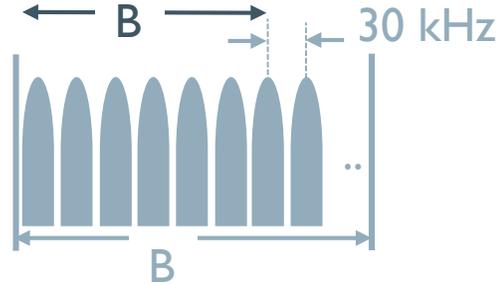
(espaciado sub-portadoras variable)

CP-OFDM, DFT-s-OFDM

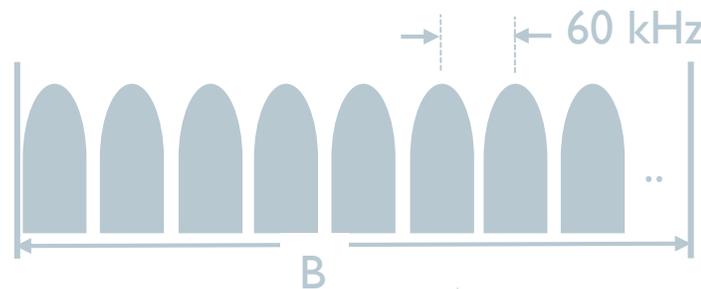
Flexibilidad y Eficiencia en diversidad de espectro, despliegue y servicios



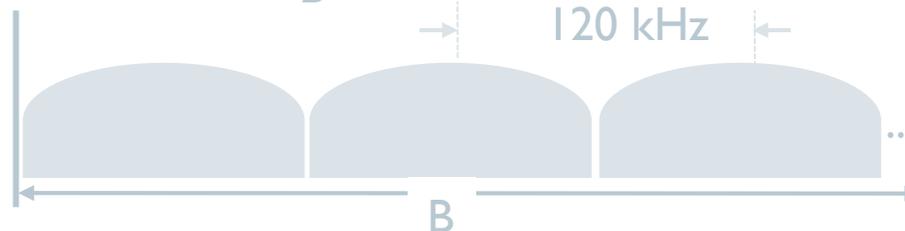
Exterior/macro (< 6GHz)  
FDD/TDD, B=1,5, 10, 20 MHz



Exterior/small cell (< 6GHz)  
TDD, B=80, 100 MHz



Interior/hotspot (< 6GHz)  
TDD no-licenciada 5GHz  
B=160 MHz



Exterior/mmWave  
TDD 28 GHz  
B=500 MHz

# Soluciones 5G – Interfaz Radio

- Que novedades aporta 5G? 3GPP NR Release 15 (junio 2018)

## Estructura de trama

## Numerología escalable

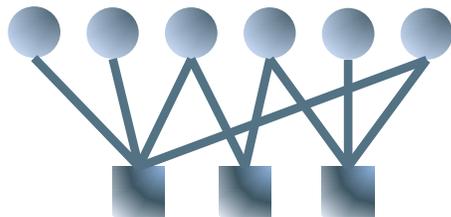
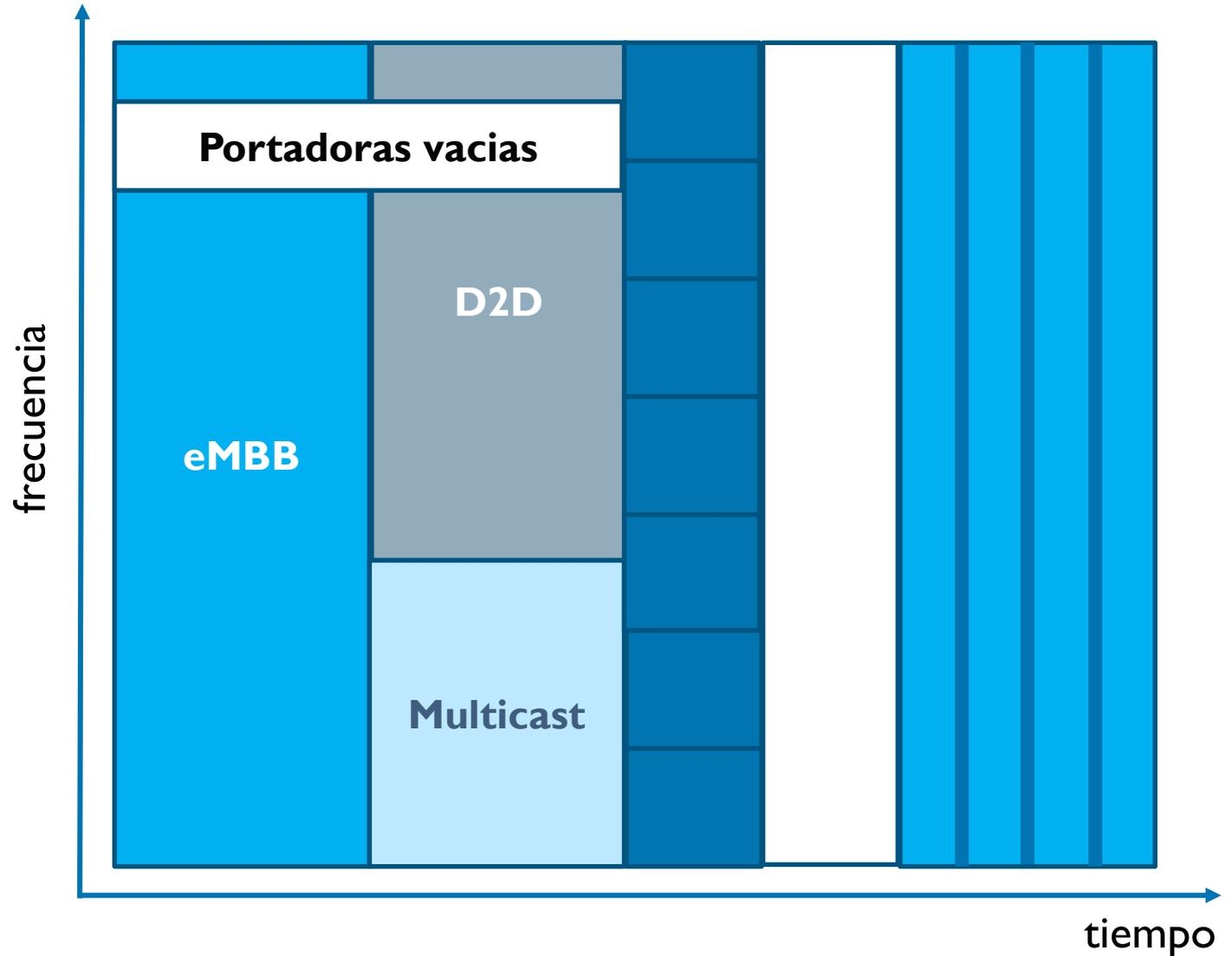
Multiplexado

*Mini-Slots*

TDD dinámico

## Códigos de canal

LDPC, *Polar Codes*



# Soluciones 5G – Interfaz Radio

- Que novedades aporta 5G? 3GPP NR Release 15 (junio 2018)

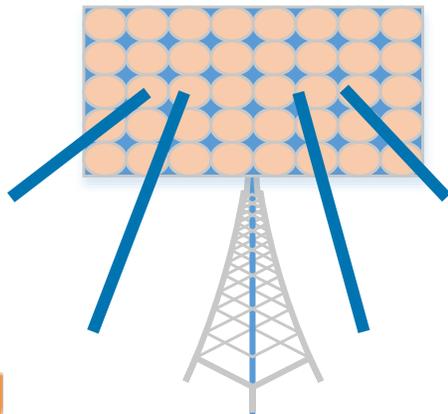
## MIMO masivo

### MU-MIMO

Reciprocidad de canal

Mayor cobertura

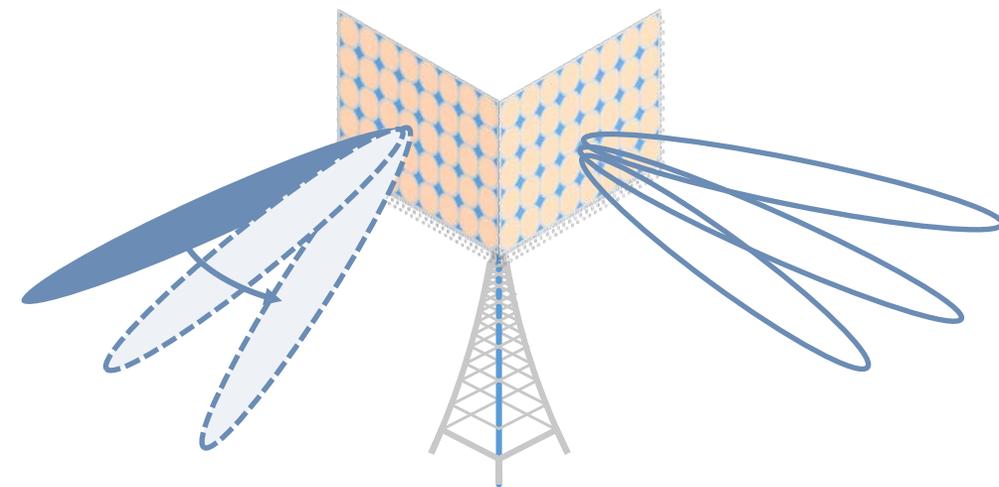
Mayor tasa de transmisión



## Ondas milimétricas

Conformación de haz, barrido de haz (también al canal de control), Gran ancho de banda

Nuevo marco de adquisición CSI (+flexible, escalable) y gestión de haces



# Soluciones 5G – Interfaz Radio

Elemento/Característica	 LTE	 5G NR Rel.15
Ancho de banda máx.	20 MHz	50 MHz (@15kHz), 100 MHz (@30kHz), 200 MHz (@60kHz), 400 MHz (@120kHz)
Espaciado subportadora	15 kHz	$\Delta f_{sc} = 2^n \cdot 15 \text{ kHz}$
Máx. No. Portadoras	1200	3300
Forma de onda	CP-OFDM; SC-FDMA	CP-OFDM; DFT-s-OFDM
Longitud subtrama	1 ms	1 ms
Latencia (Interfaz Radio)	10 ms	1 ms
Longitud Slot	7 símbolos OFDM	14 símbolos OFDM 2, 4 y 7 símbolos para mini-slots
Acceso inicial	Sin Conformación de haz	Conformación de haz (Beamforming)
MIMO	16 TX (Rel. 13)	MIMO masivo (> 32 TX)
Duplexado	FDD, TDD (estático)	FDD, TDD (estático y dinámico)

## **3GPP Release 16** (finales 2019). Temas de estudio

- Servicios Multimedia prioritarios
- Servicios V2X, capa de aplicación
- Acceso satélite 5G
- Soporte LAN en 5G
- Convergencia inalámbrica/cable para 5G
- Posicionamiento y localización terminal de usuario
- Verticales: automatización de la red y *network slicing*
- Seguridad, codecs para servicios de *streaming*, interoperabilidad LAN, nuevas técnicas radio.

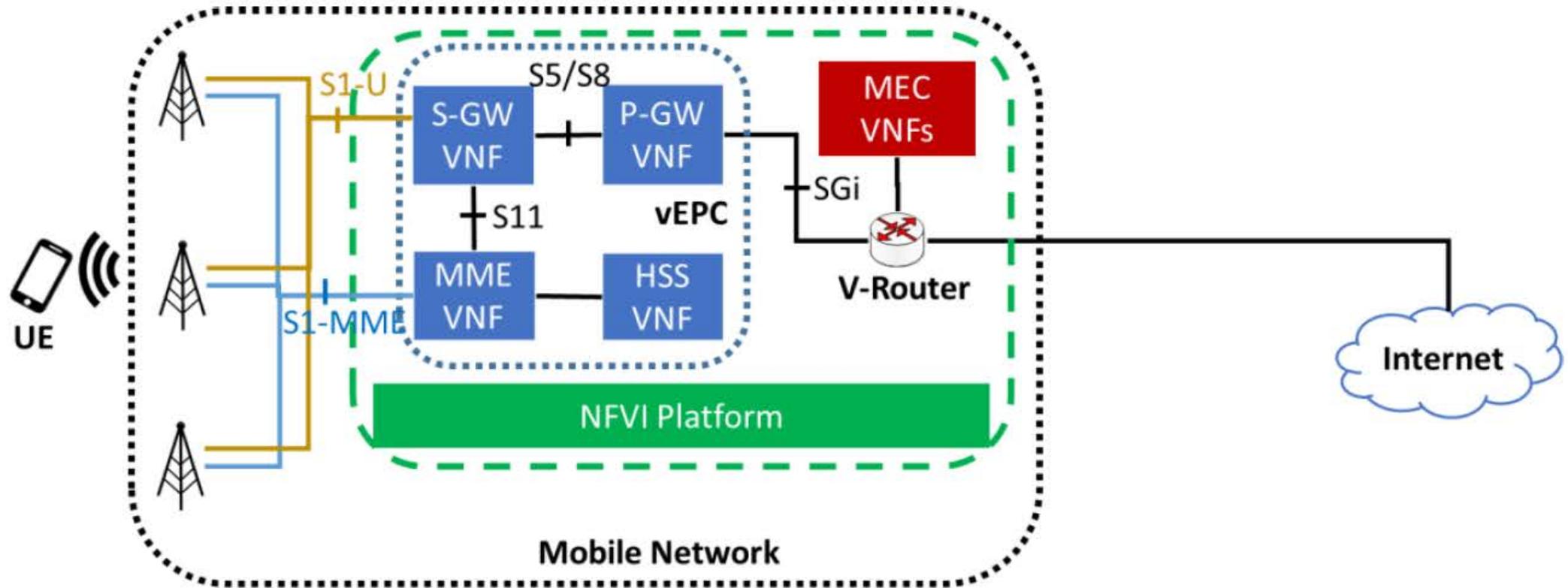
# Soluciones 5G – Arquitectura de Red

## Qué proporciona 5G?

- Arquitectura RAN flexible y modular
- Separación Funcional: *Fronthaul*, Plano de Control y Plano de Usuario
- Soporte punto a punto para *Network Slicing*<sup>1</sup>
- 5G no es solo NR
- Evolución red central: *Enhanced Packet Core (EPS)* → *Next Generation Core Network (NGCN)*

# Soluciones 5G – MEC

Ejemplo de despliegue MEC: EPC y MEC en la misma plataforma NFV



ETSI White Paper No. 24, “MEC Deployments in 4G and Evolution Towards 5G”, Feb. 2018, ISBN No. 979-10-92620-18-4

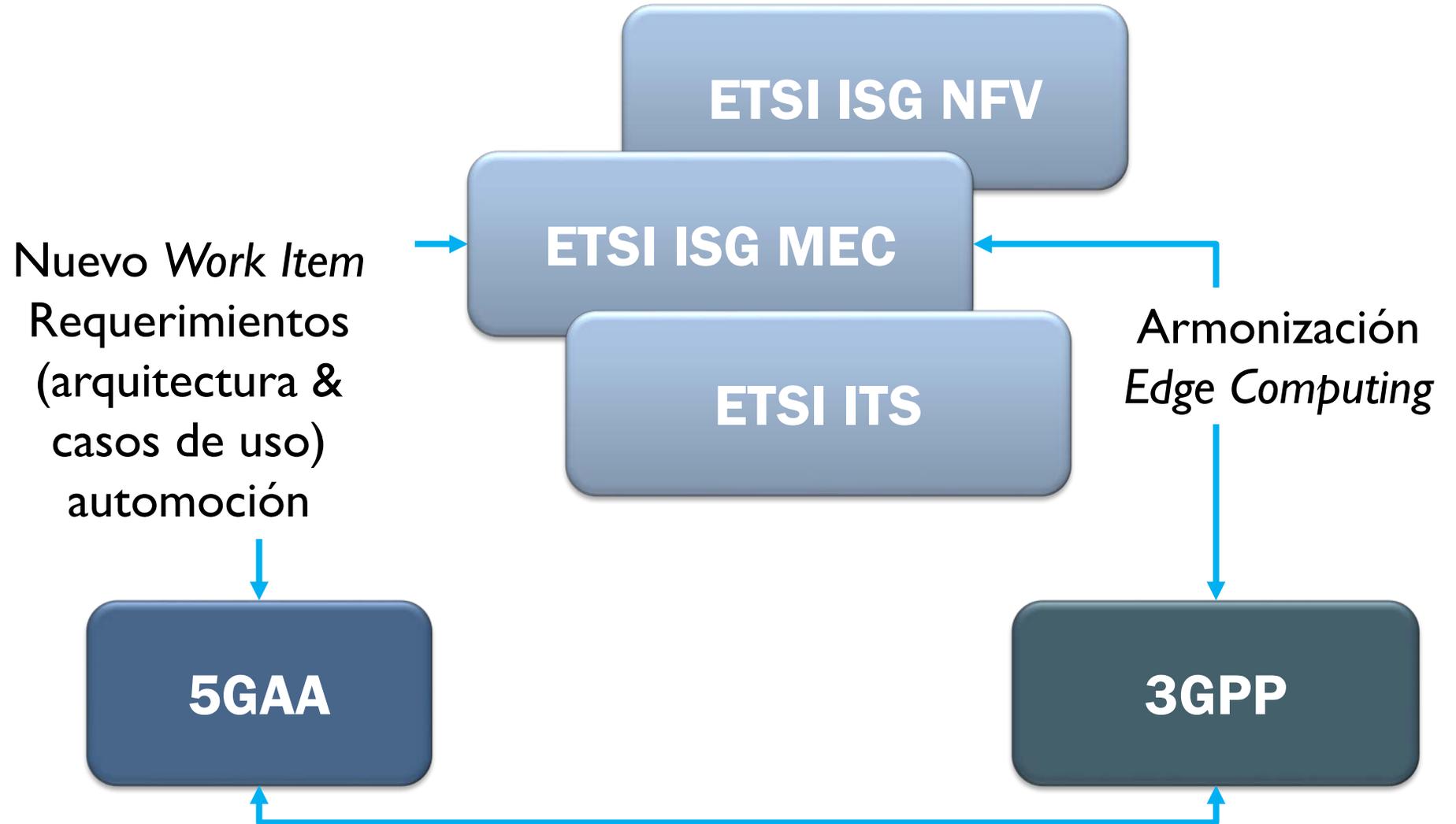
# Soluciones 5G – Organizaciones Activas

## Otros aspectos relevantes

### DATOS

Recolección, acceso y compartición

- Ciberseguridad
- Privacidad
- Competencia
- Elección del consumidor



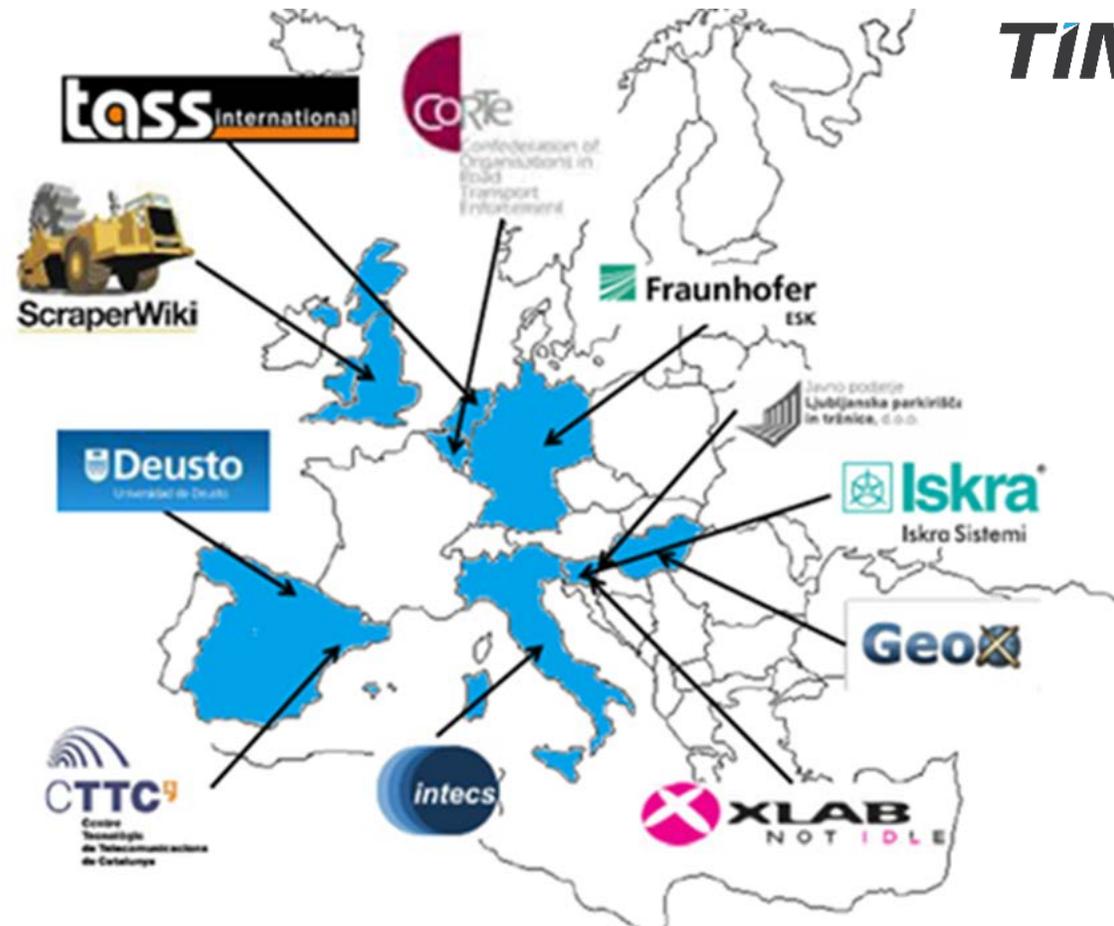
# PROYECTOS

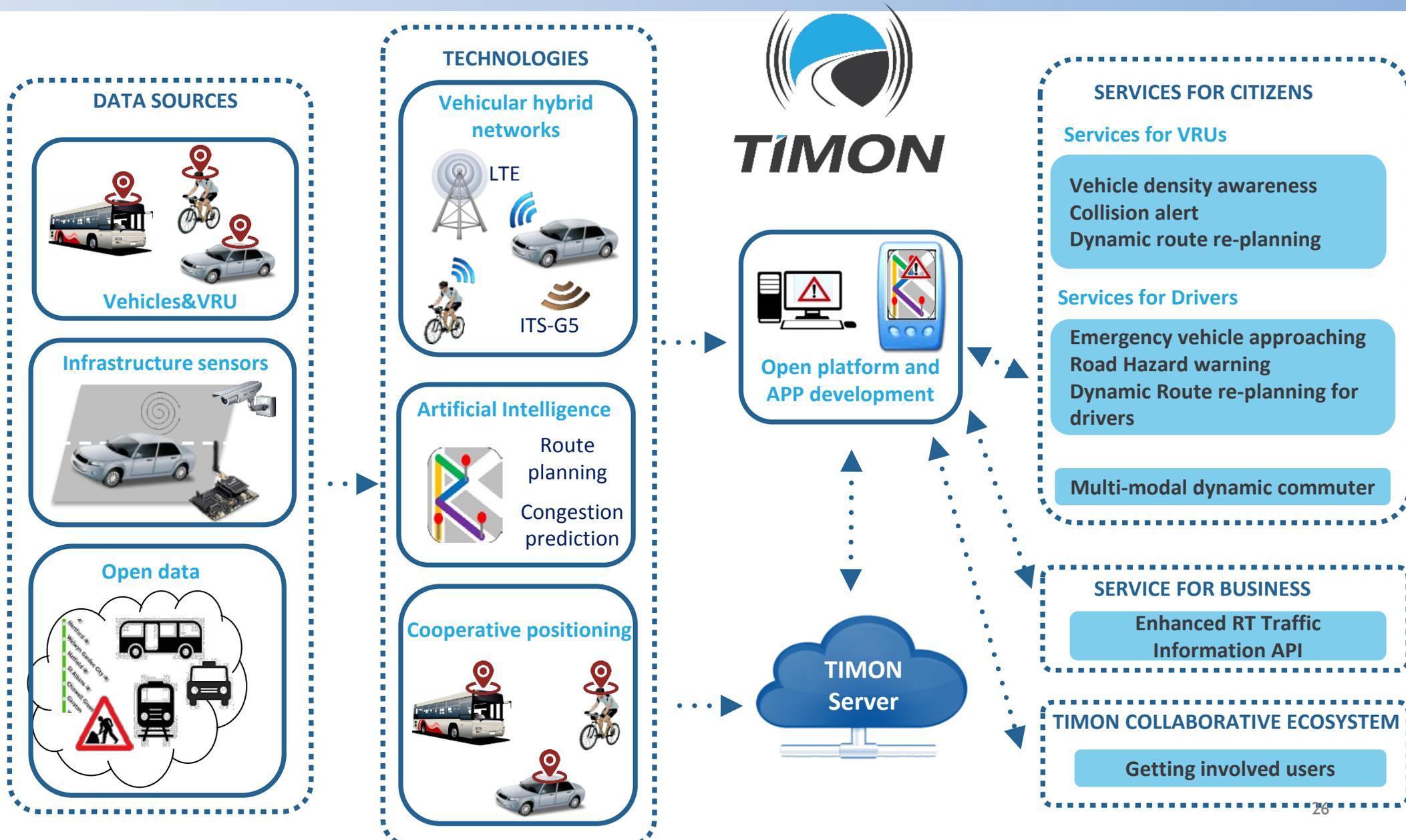


## Movilidad Multimodal Optimizada en tiempo real: Redes Cooperativas & Open Data

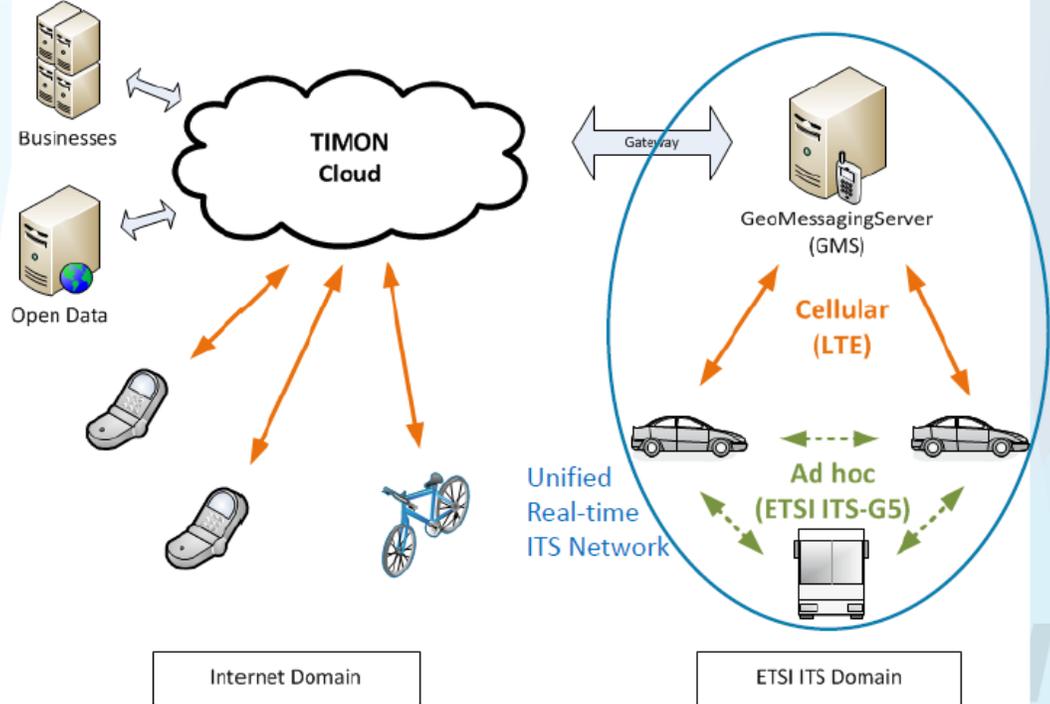
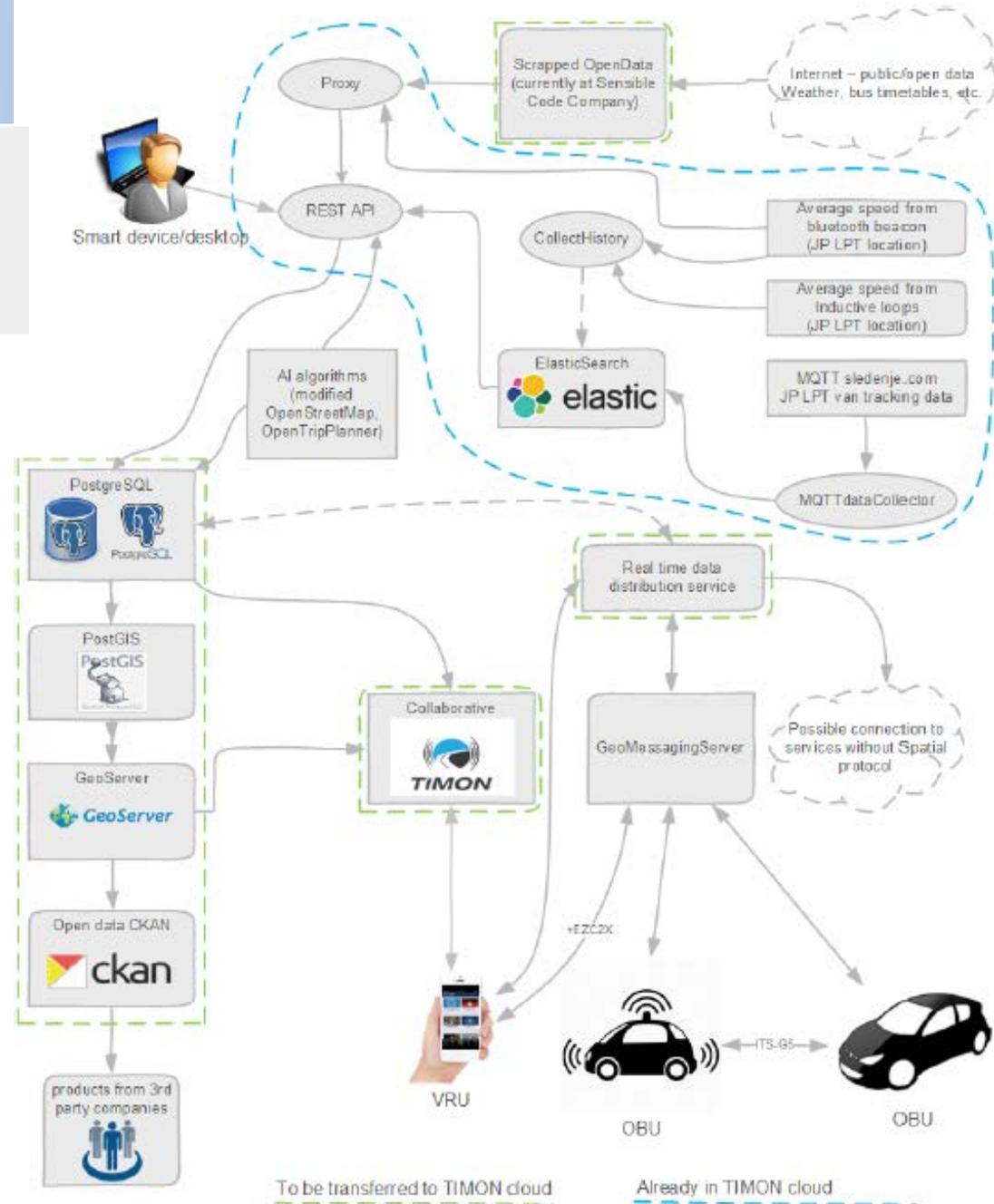
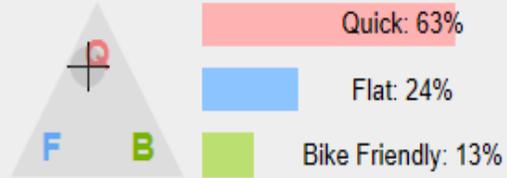
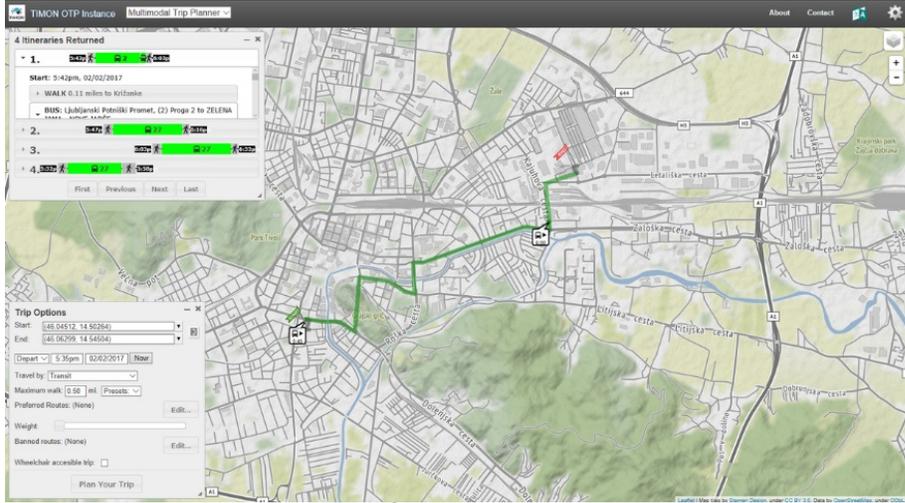
- Desarrollo plataforma web abierta y cooperativa + APP
- Proporcionar información y **servicios en tiempo real** a conductores, VRUS y empresa.
- Incrementar seguridad, mejorar sostenibilidad, flexibilidad y eficiencia del transporte (ciudad)

Contacto @CTTC  
monica.navarro@cttc.es





# TIMON



# 5G-T TRANSFORMER

Contacto @CTTC  
josep.mangues@cttc.es

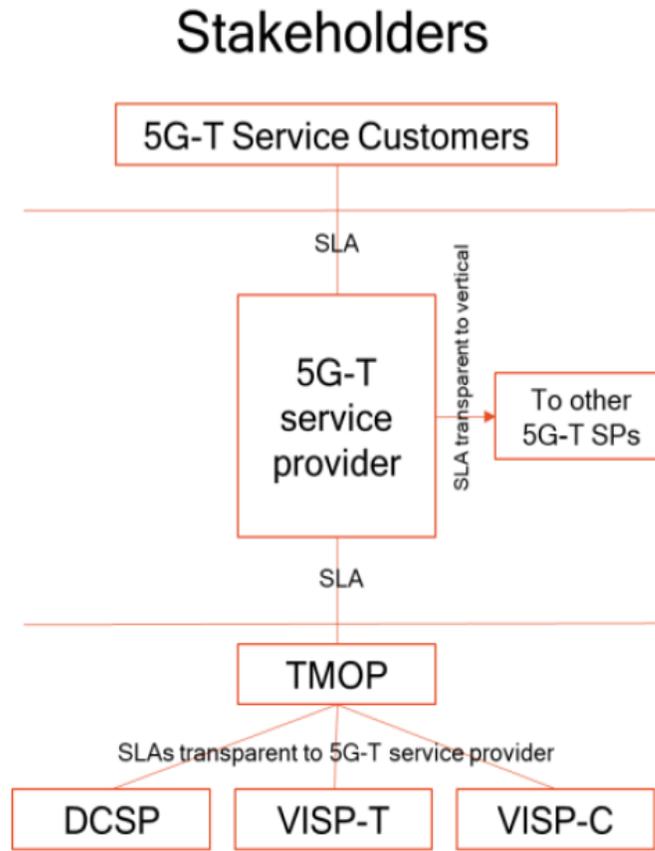
## 5G-T TRANSFORMER



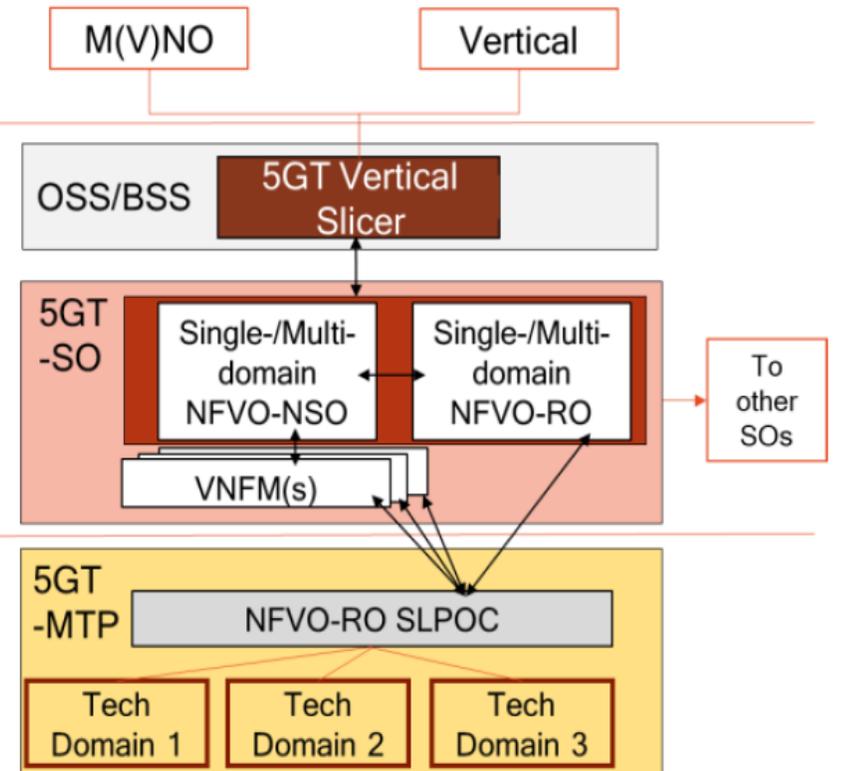
Service instance layer  
(consumes 5G-T services)

Network slice instance layer  
(provides e2e services to vertical)  
multi-domain vertical-oriented slices are created (transparent to the vertical)

Resource layer  
(provides virtual infrastructure to 5G-T service provider)  
Provides single admin domain resources to network slice instance layer



### Architecture components



**Relación Actores - Arquitectura de Sistema** (Fig.1 D2.1, "Initial System Design")



Funded by European Union's Horizon 2020 GA No. 761536

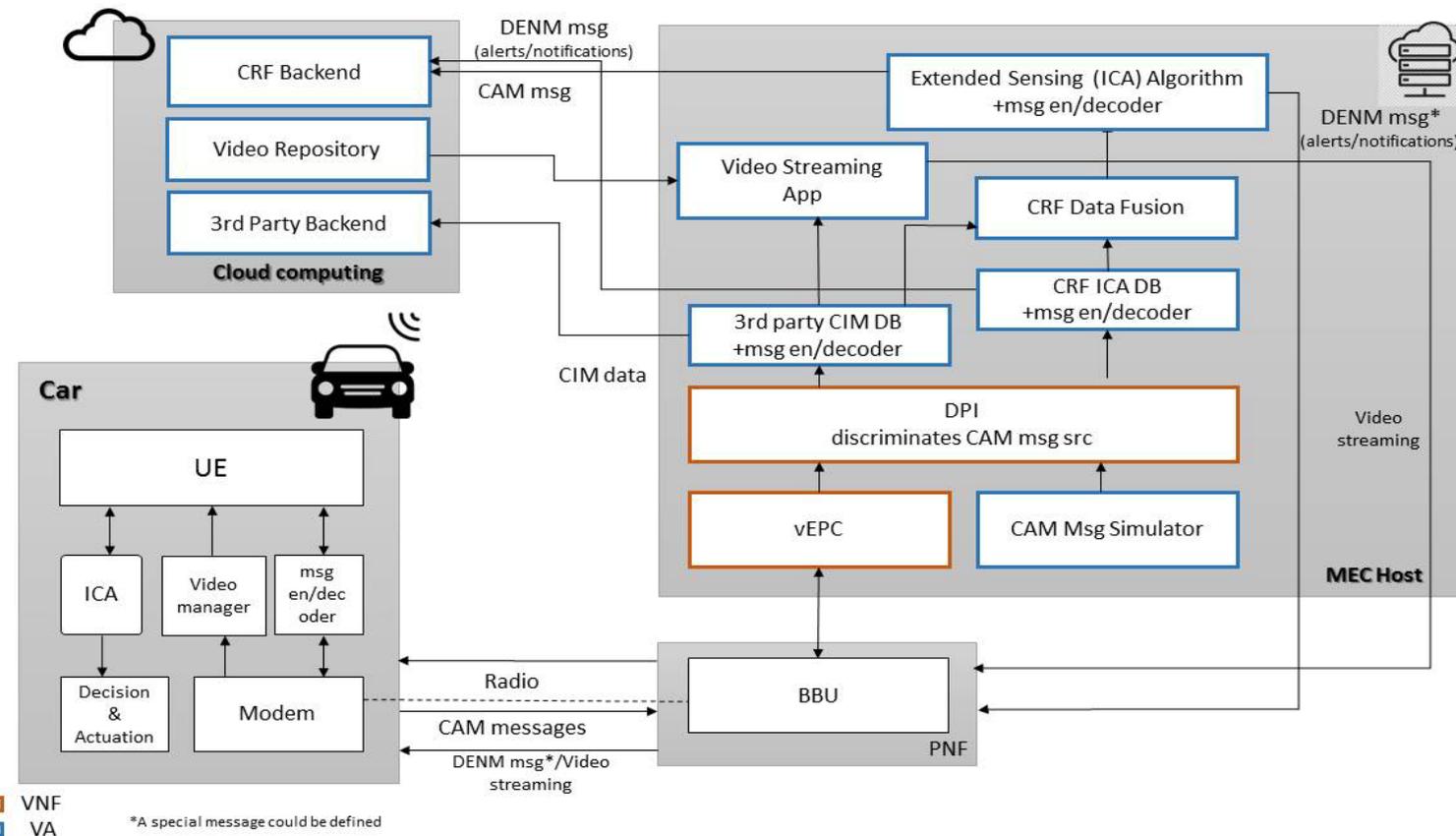
# 5G-TRANSFORMER

## Sensórica Virtual Extendida

- Aplicaciones de seguridad con soporte de red, V2V cooperativa
- Lógica *Collision Avoidance (CA)* con sensibilidad temporal, despliegue en el extremo de red: Virtual Network Function (VNF)
- Compatible con ETSI ITS *Cooperative Awareness (CAM)* and *Decentralized Environmental Notification (DENM)*



Contacto @CTTC  
josep.mangués@cttc.es



# 5G-CAR

## Desarrollo arquitectura de sistema basado en 5G

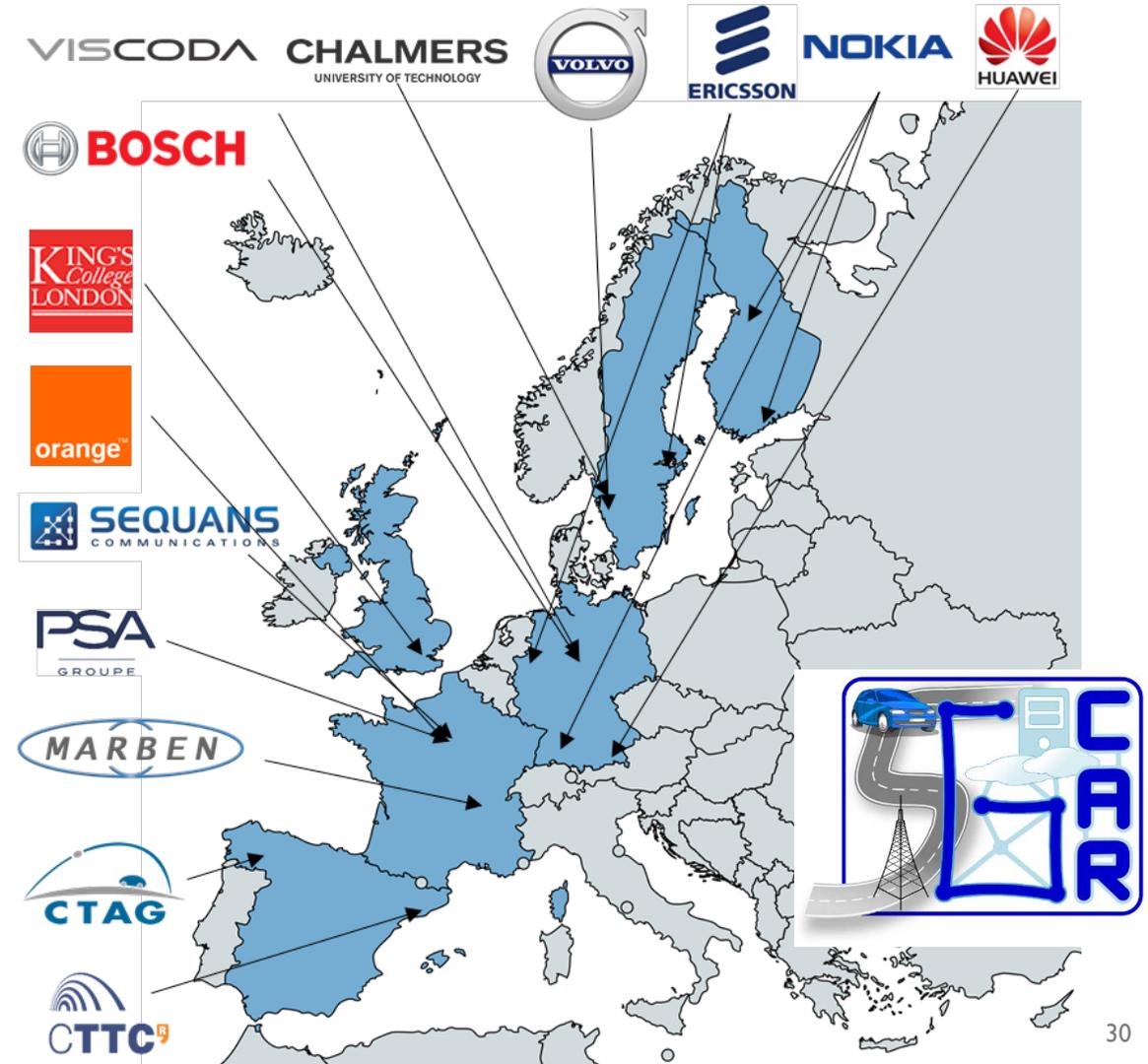
- Flexible en su configuración funcional y topológica
- Provea de amplios servicios V2X y modelos de negocio
- Demostración con equipos 5G

## Foco técnico CTTC

- Arquitectura Edge-Computing para la virtualización de servicios
- Algoritmos de descubrimiento del entorno para la red radio V2X.

Contacto @CTTC  
jesus.alonso@cttc.es

<https://5gcar.eu/>

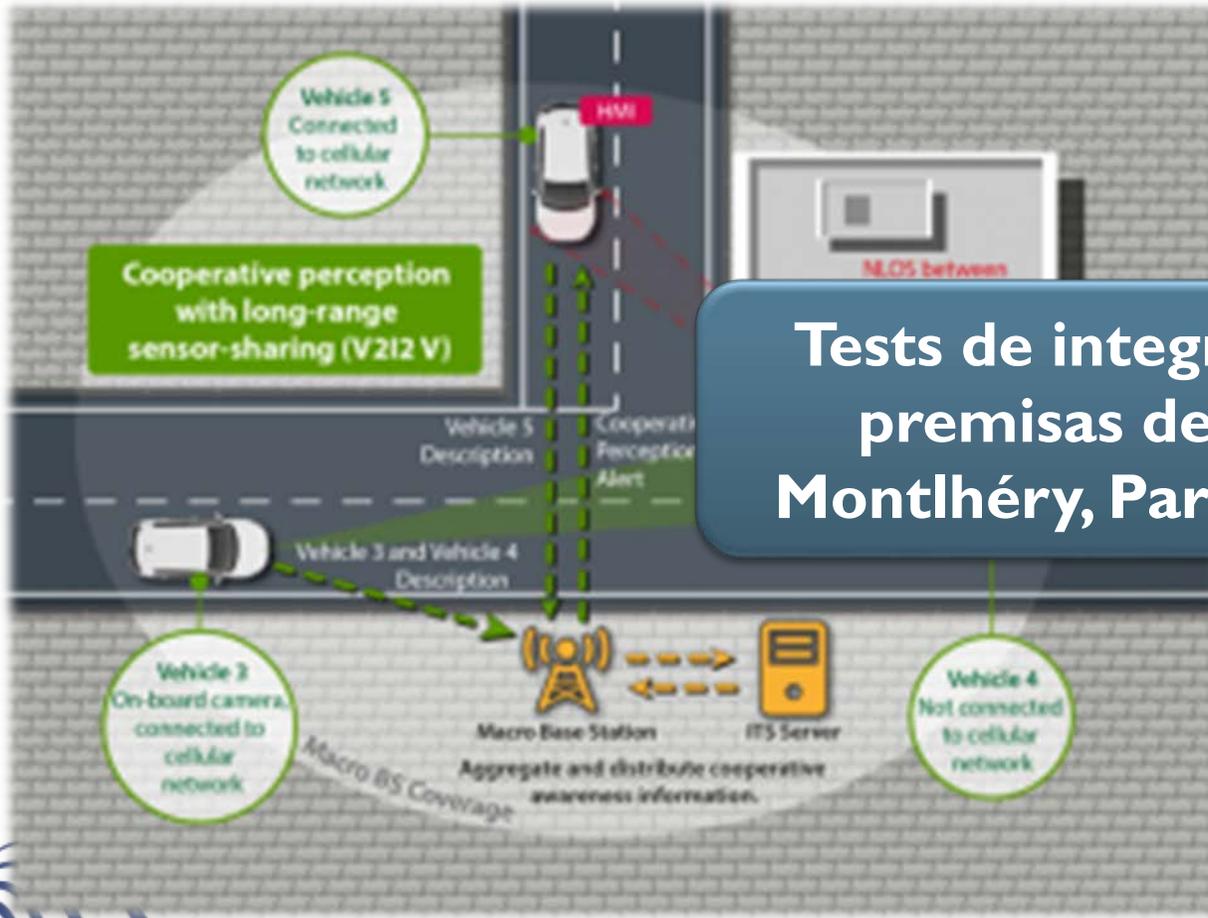


## Componentes técnicos

- **Infraestructura:** diseño de antenas (múltiples elementos de antena, ondas milimétricas), gestión de haces, etc.
- **Enlace directo** (*Sidelink*): sincronización, RRM, descubrimiento (dependiente de la distancia, geolocalización)
- **Posicionamiento:** predicción de trayectorias, posicionamiento relativo V2V, etc.

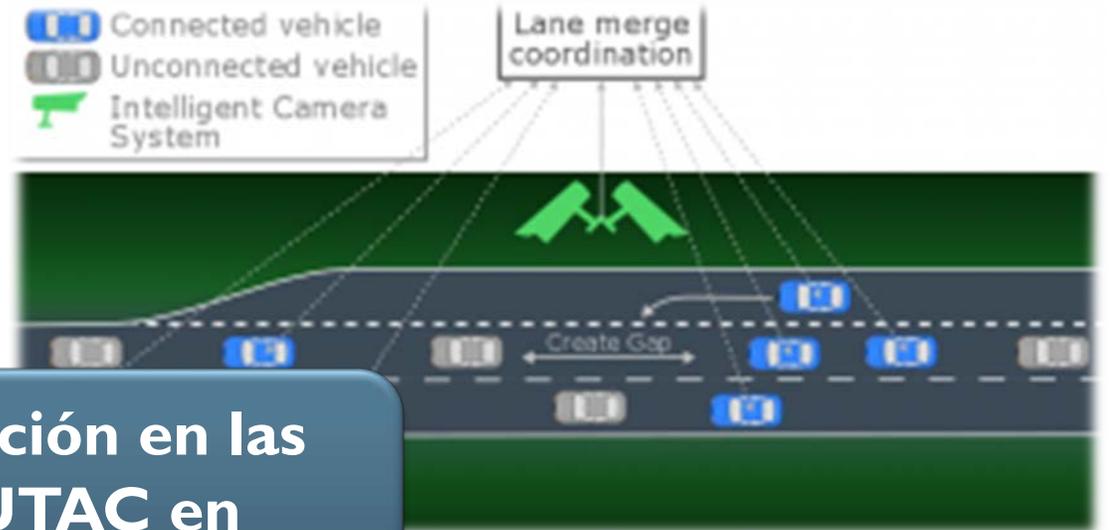
# 5GCAR Demostraciones y pilotos

## Percepción cooperativa para facilitar maniobras en vehículos conectados

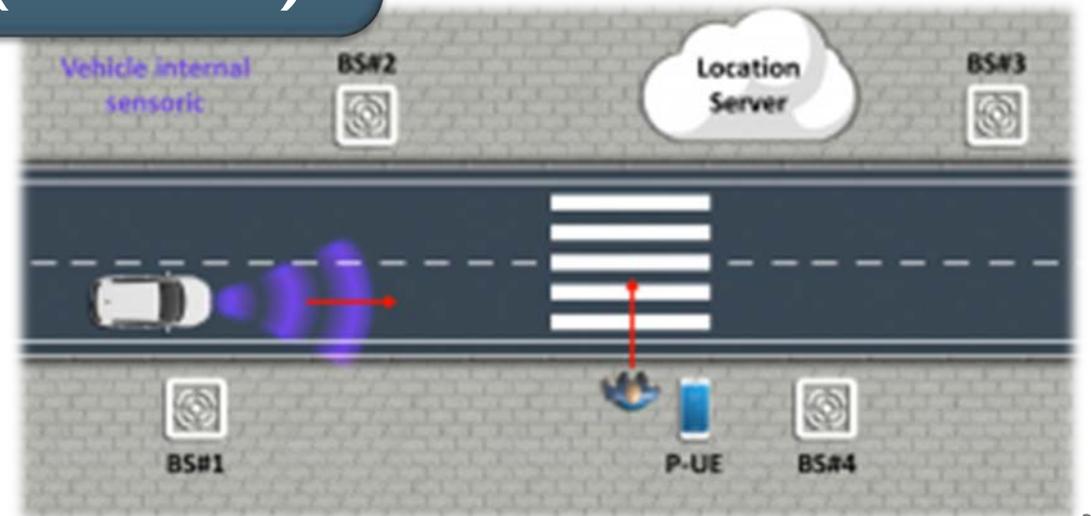


Tests de integración en las premisas de UTAC en Montlhéry, Paris (5 febrero)

## Coordinación incorporación en carril



de usuarios vulnerables

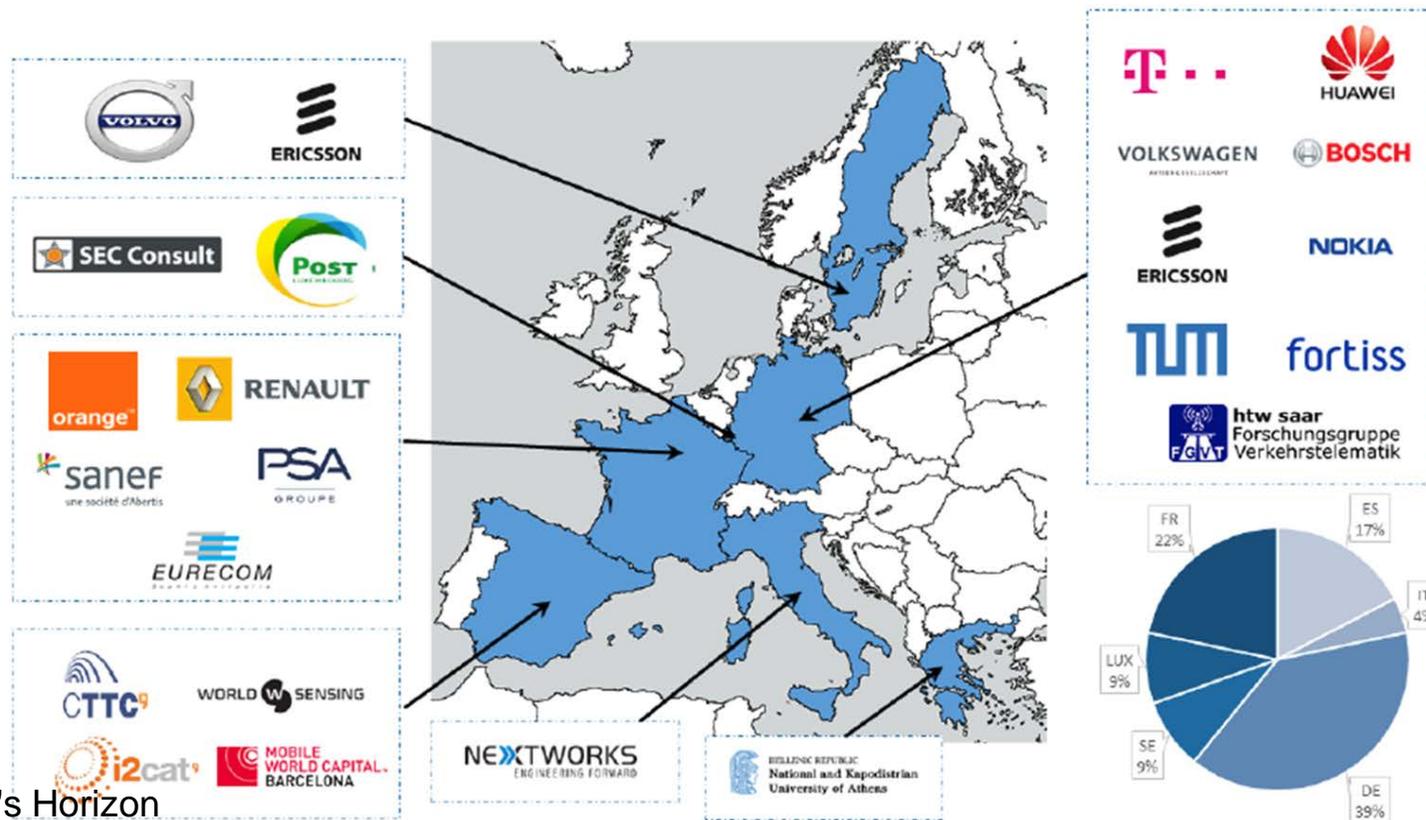
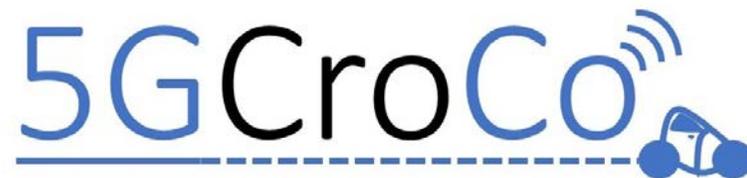


## Control Transfronterizo

Casos de uso (en pruebas de campo)

1. Conducción Tele-operada
2. Generación y distribución de mapas de alta definición
3. Evitar colisiones de forma cooperativa y anticipada

Contacto @CTTC  
jesus.alonso@cttc.es



Funded by European Union's Horizon  
2020 GA No. 825050

<https://5gcroco.eu/>



@5GCroCo

## Foco de la Innovación

- Operación trans-fronteriza/operador/fabricante/proveedor
- Computación distribuida a través de MEC
- Interfaz radio NR
- *Network Slicing* (partición de la red)
- QoS predictiva
- Posicionamiento mejorado



**Gracias por su atención**

# Referencias

- ETSI - EN 302 663 Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band, 01/07/2013
- ETSI TS 103 613 V1.1.1 (2018-11) Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems using LTE Vehicle to everything communication in the 5,9 GHz frequency band
- TIMON <https://www.timon-project.eu>
- J. Arribas, M. Navarro, et. al, 2A Technology-agnostic GNSS/INS Real-time Sensor Fusion Platform with Ultra Wide Band Cooperative Distance Measurements for Terrestrial Vehicle Navigation “, ION GNSS+ 2018, Sep. 2018.
- M. Cankar, S. Stanovnik, H. Landuce, “Transportation ecosystem framework in Fog to Cloud environment”, 11th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC), Zurich, 17-21.12.2018
- O. Oleinichenko, Y. Sevilmis, J. Jiru, “Time-controlled Neighborhood-driven Policy-based Network Selection Algorithm for Message Dissemination in Hybrid Vehicular Networks”, VEHITS, 2018, DOI 10.5220/0006705901410155
- 5GTransformer, D5.1, Definition of vertical testbeds and initial integration plan, 2018.
- 5GTransformer, D2.1, Definition of the Mobile Transport and Computing Platform, 2018.
- 5GCAR, “5GCAR Scenarios, Use Cases, Requirements and KPIs”, D2.1, 31/08/2017 <http://5gaa.org>
- L. Feng, “V2X White Paper”, NGMN Alliance, 17/06/2018
- 5GAA, V2X Technology Benchmark Testing, 09/2018
- COM(2016) 766 final, “A European strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility” 30/11/2016
- Car2Car Communication Consortium, TR 2047, “LTE-V2X & IEEE802.11p/ITS-G5 Spectrum Sharing at 5.9 GHz”, Position paper, 27/10/2017. <https://www.car-2-car.org>