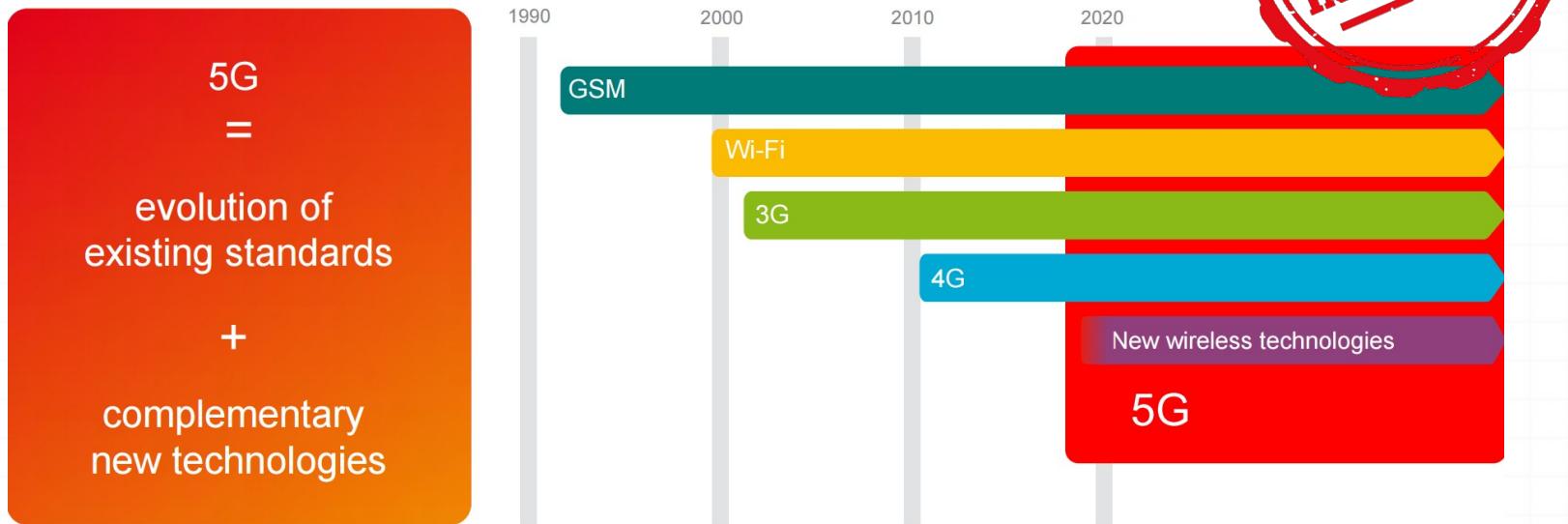


Tema 3

Redes Inalámbricas de Largo Alcance

5G

¿Qué es 5G?



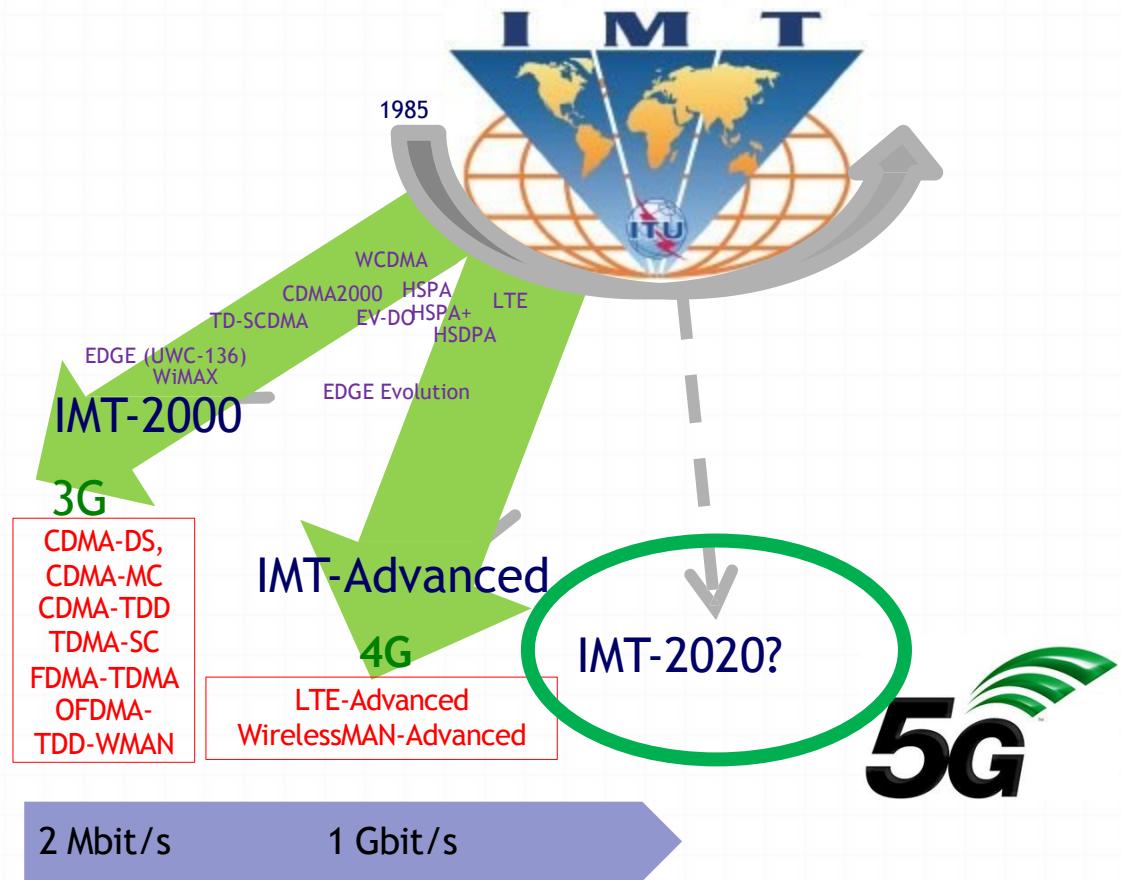
- En 2015 la ITU hizo pública la hoja de ruta general para el desarrollo de la tecnología móvil 5G (a cargo de 3GPP) y definió el estándar "IMT-2020" para designarla y definir sus objetivos

*(4G = IMT-Advanced)

Estándares IMT

○ **IMT:** Telecomunicaciones Móviles Internacionales

↓
Estándares para las distintas generaciones de redes de comunicación inalámbrica



¿Por qué surge la tecnología 5G?

- ▶ La evolución de las comunicaciones móviles ha estado impulsada por mejoras de la interfaz radio
 - ▶ La evolución de **1G a 2G** estuvo determinada por el paso de la tecnología analógica a la digital y el uso de **TDMA** (acceso múltiple por división en el tiempo)
 - ▶ En la evolución de **2G a 3G** fue determinante el uso de **CDMA** (acceso múltiple por división de código)
 - ▶ La evolución de **3G a 4G** vino marcada por la incorporación de la modulación **OFDM** que permitía utilizar anchos de banda más grandes para las portadoras.
- ▶ Y por la competencia entre distintas tecnologías
 - ▶ La evolución de 2G a 3G estuvo condicionada por la aparición de la tecnología cdmaOne impulsada por Qualcomm
 - ▶ La rápida evolución de 3G a 4G también estuvo impulsada por el desarrollo de WiMAX
- ▶ En el caso de 5G no hay una evolución tecnológica determinante ni una tecnología rival -> ha habido tiempo para su definición y especificación de objetivos

Objetivos del IMT-2020

- objetivo general: crear un mundo hiperconectado y ubicuo, Internet de las Cosas masivo

Altos picos de velocidad

Latencia ínfima

Capacidad y densidad de usuarios

Reducción de costes y energía

Conectividad masiva, movilidad

**Peak Data Rate
20Gbps**

**Area Traffic Capacity
10Mbps/m²**

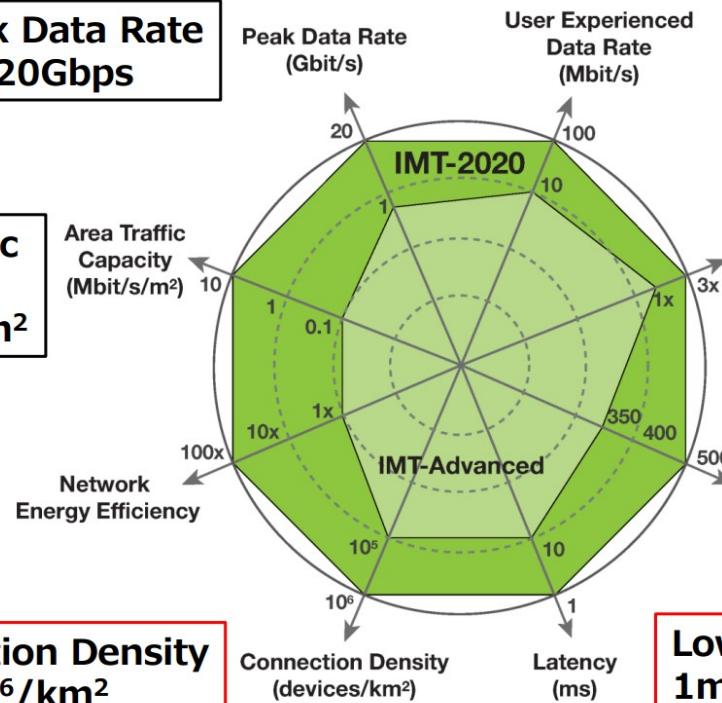
**Connection Density
 $10^6/\text{km}^2$**

User Experienced Data Rate (Mbit/s)

**User Experienced Data Rate
100Mbps**

Spectrum Efficiency

Source:IMT Vision – “Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond”, ITU-R, Document 5/199-E, 19 June 2015

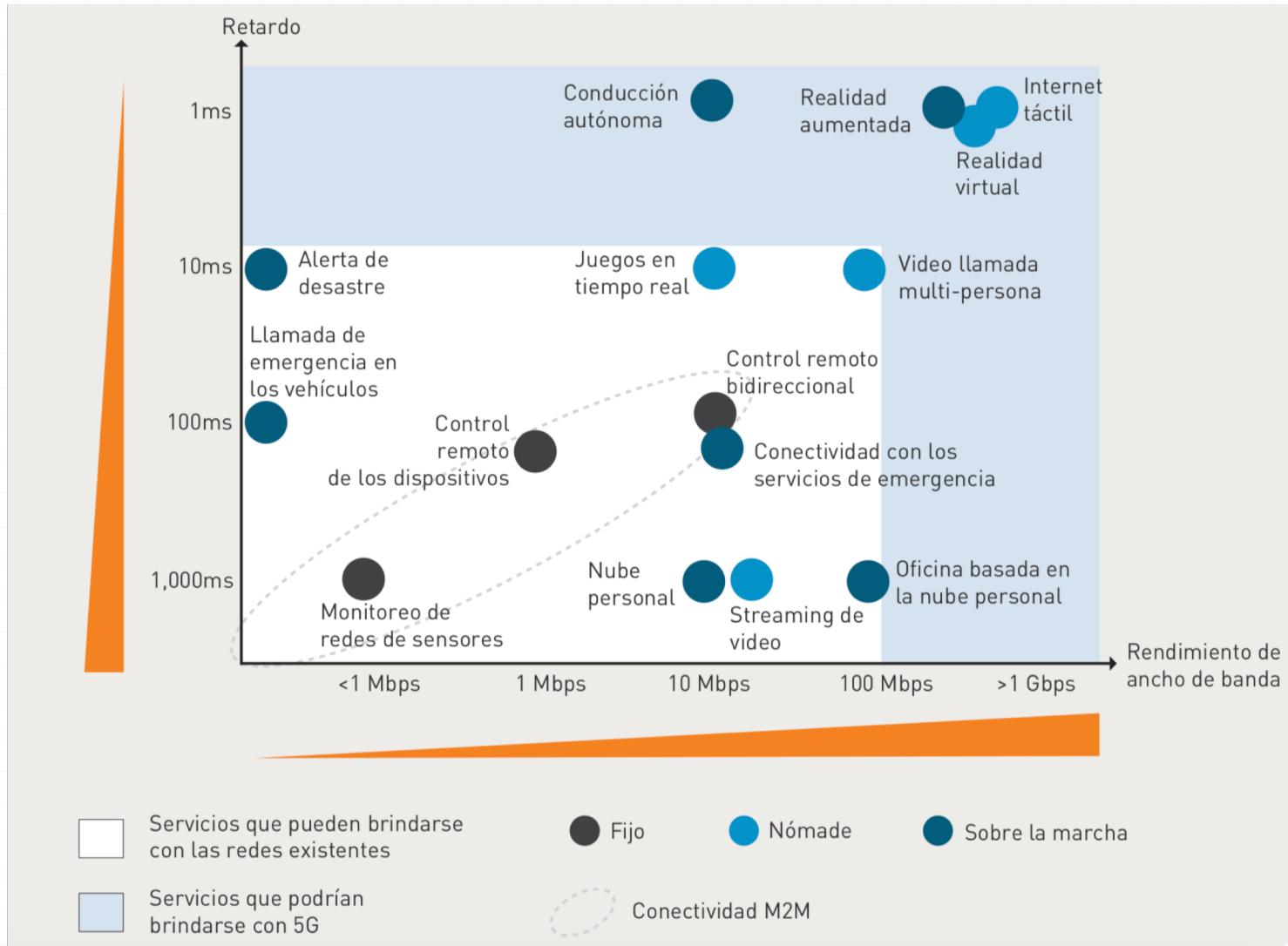


**Low Latency
1ms (Radio)**

IMT-Advanced (4G) vs IMT-2020 (5G)

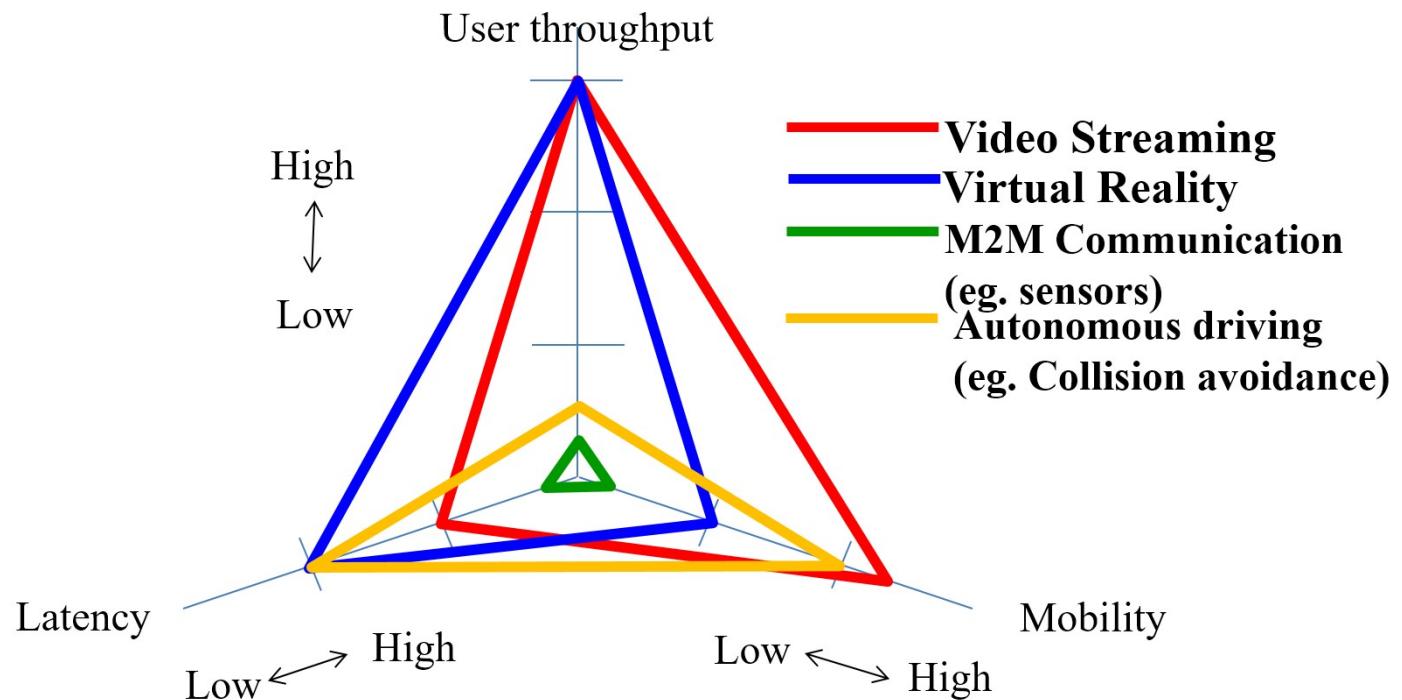
Key Performance Indicators	Value for 5G * from 21 th meeting	Reference value for IMT-Advanced
User Experienced Data Rate	100 Mbps – 1 Gbps [100 Mbps (urban/suburban), 1 Gbps (hotspots)?]	10 Mbps (urban/suburban)
Peak Data Rate	20 Gbps	1 Gbps
Mobility	500 Km/h	350 Km/h
Latency	1 ms (radio interface)	10 ms (radio interface)
Connection Density	10^6 per Km ² (scenario required)	10^5 per km ²
Energy Efficiency	100x greater than IMT-Advanced (for network)	
Spectrum Efficiency	2/3/5x greater than IMT-Advanced	
Area Traffic Capacity	10 Mbps/Km ²	0.1 Mbps/m ²

5G vs redes existentes

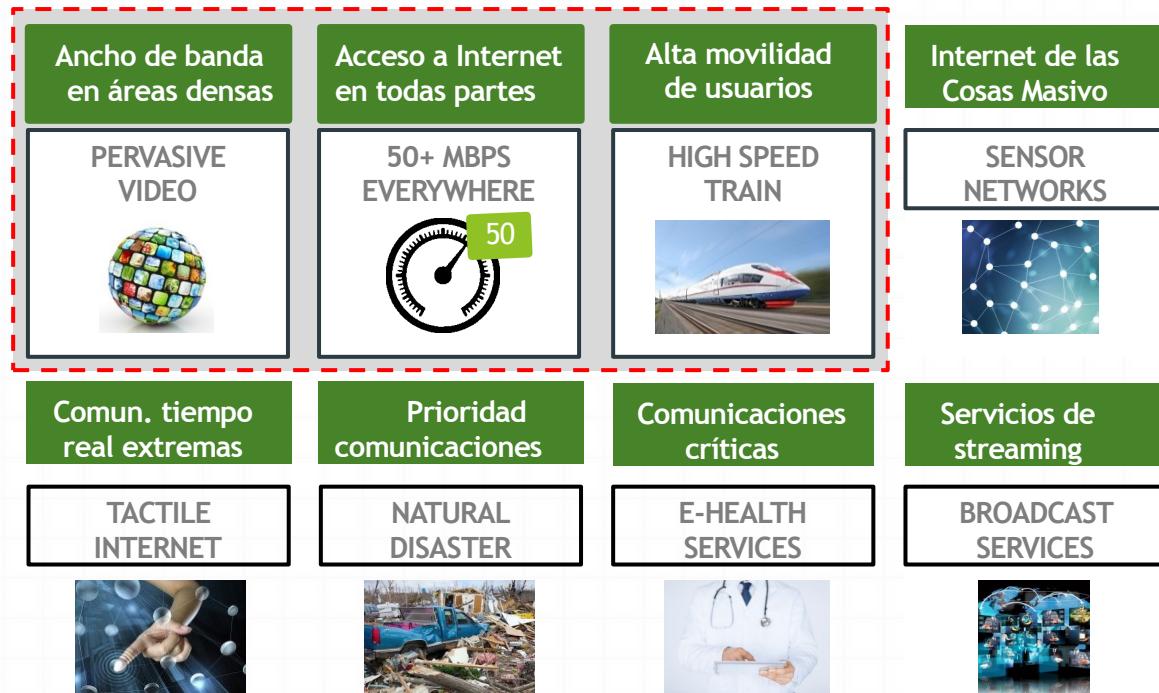


Fuente: GSMA

Distintos requisitos para distintos casos de uso



Funcionalidades definidas por el NGMN (Next Generation Mobile Networks) (1/2)



Photos: © iStockphoto.com

Escenarios de despliegue definidos por el NGMN (1/2)

Indoor hotspots	Dense urban	Urban coverage
		
<p>Despliegue</p> <ul style="list-style-type: none">*Depliegues de redes interiores con hotspots en oficinas, centros comerciales... <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none">*Indoor base stations*Indoor users*Very high data rate*Low mobility*Very high user density*Both low and high frequency	<p>Despliegue</p> <ul style="list-style-type: none">*HetNets, micro /macro celdas con small cells <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none">*Outdoor base stations (Possibility of indoor base stations is FFS)*Indoor and outdoor users*High data rate*Low mobility*High user density*High-rise/mid-rise buildings*Both low and high frequency	<p>Despliegue</p> <ul style="list-style-type: none">*Redes homogéneas con el despliegue de macro-celdas <p>Características</p> <ul style="list-style-type: none">*Outdoor base stations*Indoor and outdoor users*Medium to high data rate*Low to medium mobility*Medium user density*Low frequency

- Very high data rate:
≥1Gbps
- High: >100Mbps
- Medium: >50Mbps
- Low : >25Mbps

- Very high mobility: 250 km/h
-500 km/h
- High: 50 km/h -250 km/h
- Medium: 3 km/h -50 km/h
- Low: 0 km/h -3 km/h

- Very high user density:
≥100,000 / km²
- High: 10,000-100,000 / km²
- Medium: 1,000-10,000 / km²
- Low: <1,000 / km²

Photos: © iStockphoto.com

Escenarios de despliegues definidos por el NGMN (Next Generation Mobile Networks) (2/2)

Rural coverage	High speed	High density
		
Despliegue	Despliegue	Despliegue
*Redes homogéneas con el despliegue de macro-celdas	*Despliegue especializado para trenes de alta velocidad	* Despliegue especializado en estadios/recintos con gran aforo
Características	Características	Características
<ul style="list-style-type: none">*Outdoor base stations*Indoor, outdoor and vehicular users*Medium data rate*Low to high mobility*Low user density*Low frequency	<ul style="list-style-type: none">*Outdoor base stations (e.g., special railway sites with outdoor-indoor relay mounted on the train)*All users in trains*Medium data rate*Very high mobility*Very high end-user density in trains*Low frequency for outside link, low and high frequency for inside link	<ul style="list-style-type: none">*Indoor or outdoor base stations*Indoor or outdoor users*Low to Medium data rate*Low mobility*Very high user density*Both low and high frequency

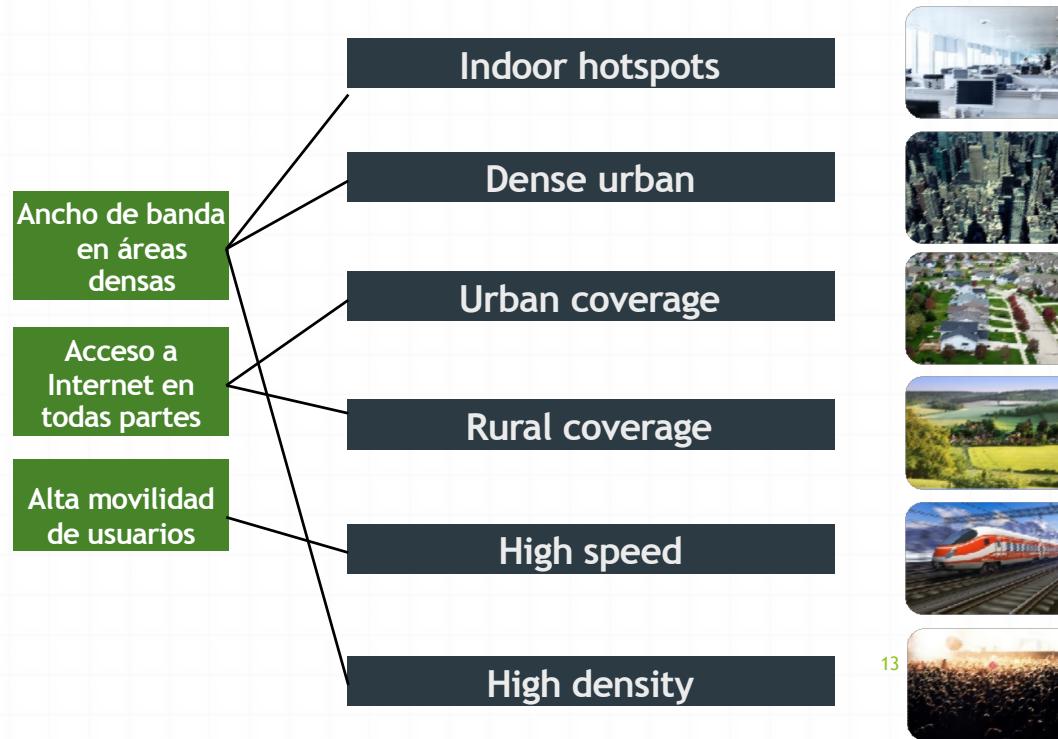
- Very high data rate: $\geq 1\text{Gbps}$
- High: $>100\text{Mbps}$
- Medium: $>50\text{Mbps}$
- Low : $>25\text{Mbps}$

- Very high mobility: $250 \text{ km/h} - 500 \text{ km/h}$
- High: $50 \text{ km/h} - 250 \text{ km/h}$
- Medium: $3 \text{ km/h} - 50 \text{ km/h}$
- Low: $0 \text{ km/h} - 3 \text{ km/h}$

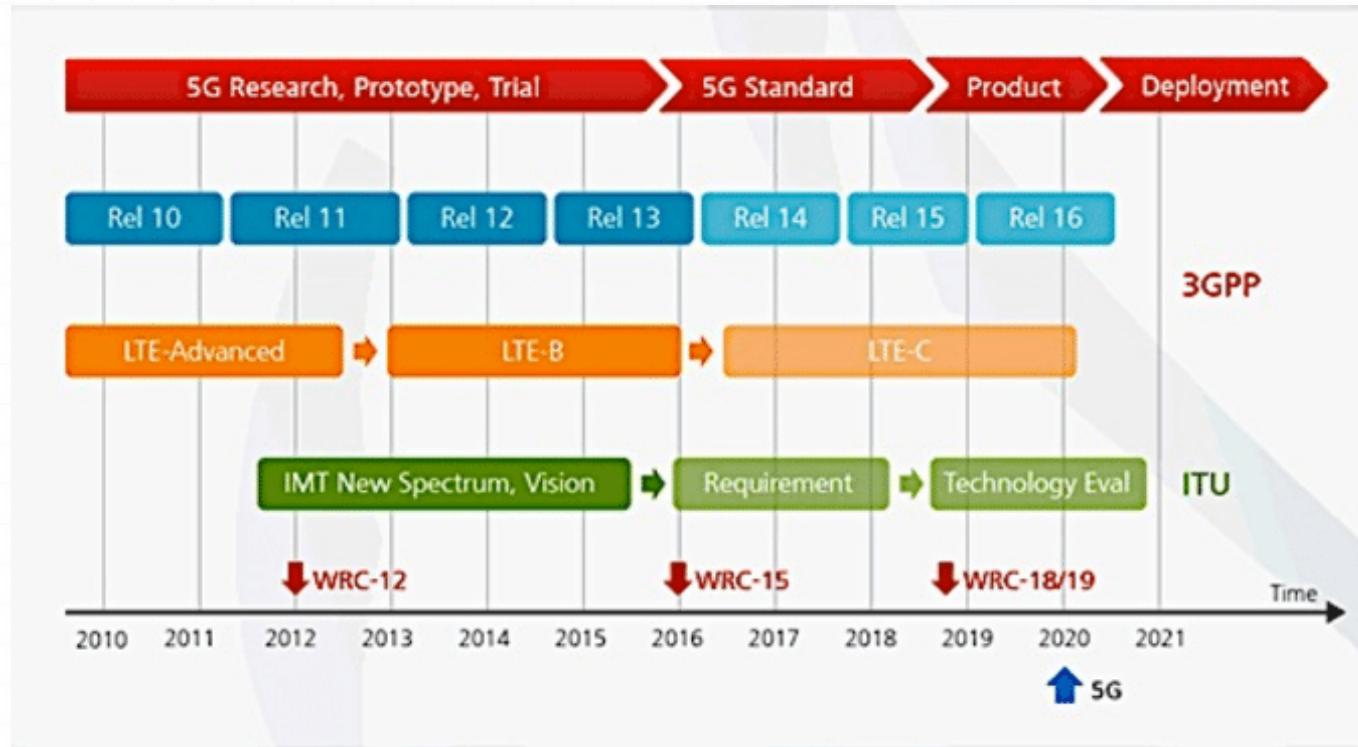
- Very high user density: $\geq 100,000 / \text{km}^2$
- High: $10,000 - 100,000 / \text{km}^2$
- Medium: $1,000 - 10,000 / \text{km}^2$
- Low: $< 1,000 / \text{km}^2$

Photos: © iStockphoto.com

Mapeo de funcionalidades con escenarios de despliegue



Temporización



- ▶ Primera fase de especificación (Release-15) a completar por 3GPP para Marzo de 2019 (primeros productos en fase de pruebas)
- ▶ Segunda fase (Release-16) a completar para Marzo de 2020 para la evaluación como tecnología candidata del IMT-2020 (y posterior despliegue comercial en masa)

¿Cuáles serán la mejoras que permitan alcanzar los objetivos establecidos para los sistemas 5G?

- ▶ Mejoras en la **capa física: nuevas formas de ondas** (ondas milimétricas con frecuencias muy altas), **nuevas técnicas de multiplexación** para la compartición del espectro
- ▶ Mejoras de las antenas: **Massive MIMO, Beamforming**
- ▶ Incrementar el espectro electromagnético sobre el que operan los sistemas 5G
- ▶ Nuevas arquitecturas de red
 - ▶ **Densificación de las redes**, comunicaciones entre dispositivos (D2D), conectividad dual/múltiple, SDN, **virtualización, VFN**, Cloud-RAN

¿Cuáles serán la mejoras que permitan alcanzar los objetivos establecidos para los sistemas 5G?

The image shows a YouTube video player interface. At the top, there are five circular icons with labels below them: 'Millimeter Waves' (pink wavy pattern), 'Small Cell' (yellow tower with signal waves), 'Massive MIMO' (blue circle with dots), 'Beamforming' (orange double-headed arrows pointing up), and 'Full Duplex' (green double-headed arrows). Below the video player, the title 'Everything You Need to Know About 5G' is visible, along with '1.103.000 visualizaciones' and a timestamp '1:11 / 6:14'. The bottom right corner of the video frame shows a small thumbnail of the video content.

Everything You Need to Know About 5G

1.103.000 visualizaciones

1:11 / 6:14

Millimeter Waves

Small Cell

Massive MIMO

Beamforming

Full Duplex

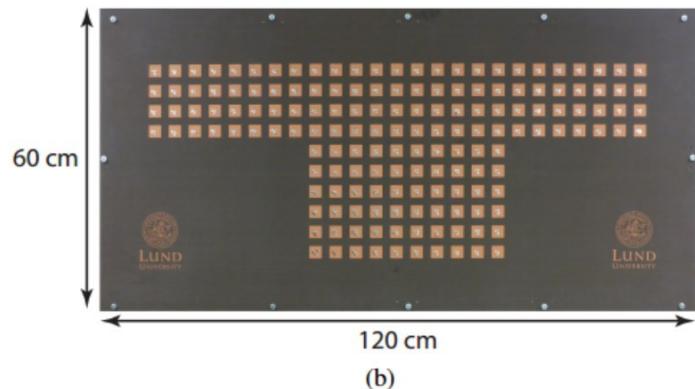
https://www.youtube.com/watch?v=GEx_d0SjvS0

Mejoras en la capa física

- ▶ Nuevas técnicas de multiplexacion
 - ▶ Se **renuncia a la ortogonalidad (OFDM)** de las frecuencias de las subportadoras para ganar en eficiencia espectral a costa de incrementar la **complejidad del receptor**
 - ▶ NOMA (Non Orthogonal Multiple Access), utiliza el dominio de la potencia para separar a los usuario
 - ▶ FBMS (Filter Bank Multi Carrier) emplea bancos de filtros para reducir las interferencias en canales adyacentes
 - ▶ Zero DFT-S-OFDMA, SCMA (Sparse Code Multiple Access), UF-OFDM (Universal Filtered OFDM), GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing), etc.
 - ▶ Técnicas de **transmisión simultánea del DL y el UL** en la misma frecuencia y en el mismo instante temporal

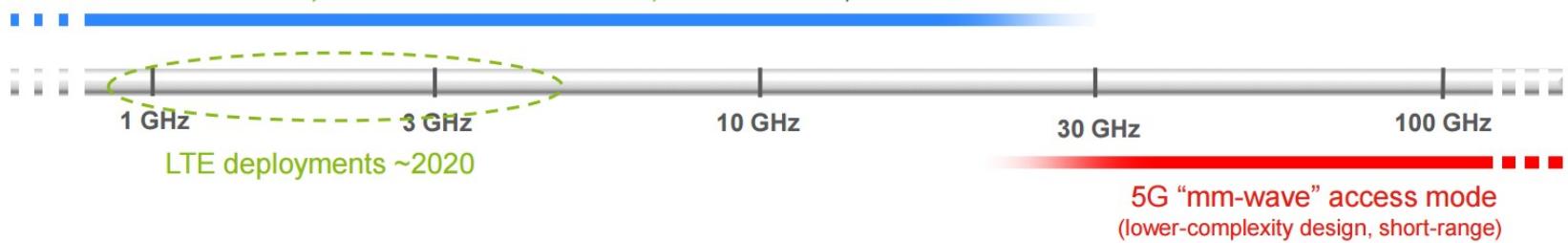
MIMO masivo

- ▶ Se basa en la utilización de un **número muy elevado de antenas en las estaciones base**, muy superior al de las disponibles en los terminales
 - ▶ Decenas o centenares de antenas en la estación base
- ▶ De esta forma, una estación puede servir a muchos usuarios simultáneamente utilizando los mismos recursos radio
- ▶ Con esta tecnología se espera conseguir **mayor capacidad, mayor fiabilidad y menor consumo de potencia**



Frecuencias altas, ondas milimétricas (>30 GHz)

- ▶ Para poder disponer de más ancho de banda es necesario moverse hacia **frecuencias más altas**
 - ▶ Hasta hace poco esto no se consideraba viable su empleo para comunicaciones móviles debido a las **mayores pérdidas de difracción y penetración, efecto Doppler, coste de los componentes**, etc.
- ▶ Pero el uso de antenas directivas mediante tecnologías de conformación de haces (beamforming) puede ayudar a resolver algunos de estos problemas
- ▶ Buena parte de los esfuerzos de investigación en 5G se están dedicando a determinar si, y cómo, son viables las comunicaciones móviles en esas altas frecuencias



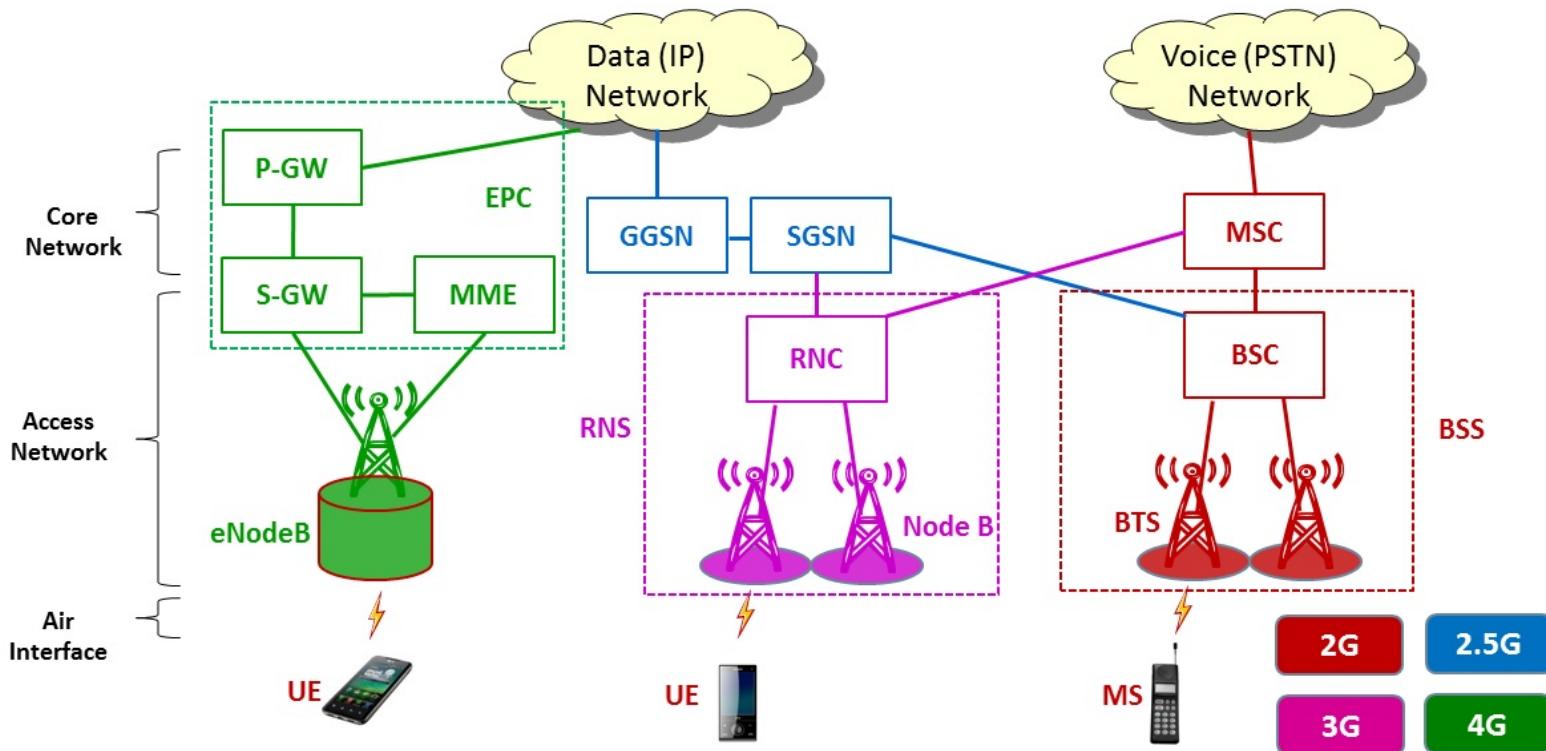
Consideraciones en la nueva interfaz radio para las ondas milimétricas

- ▶ Son necesarias nuevas técnicas de modulación y estructuras de tramas para explotar el ancho de banda disponible y la **baja latencia** de las bandas de alta frecuencia.
- ▶ Las características de la propagación en altas frecuencias hacen que su **fiabilidad a grandes distancias sea menor**
 - ▶ La pérdida de visión directa y el bloqueo por obstáculos tienen un impacto más alto que a frecuencias más bajas
 - ▶ Una posibilidad es implementar un sistema con conectividad múltiple, en el que cada usuario esté conectado simultáneamente a varias estaciones base (small cells, macro cells, etc.)

Altas frecuencias y MIMO masivo, técnicas complementarias

- ▶ El uso de altas frecuencias permitiría que los equipos que soportan MIMO masivo tengan **un tamaño razonable**
 - ▶ El tamaño de las antenas es proporcional a la longitud de onda, que a 30 GHz es de 10 mm y a 60 GHz de solo 5 mm, mientras que a 2 GHz es de 15 cm y a 800 MHz es de 37,5 cm
- ▶ El uso de conformación de haces (beamforming) **minimizaría los problemas de interferencia, multirayecto, etc., en las altas frecuencias**
 - ▶ Estas técnicas ya se están utilizando para altas frecuencias (p.e., en el estándar Wi-Fi a 60 GHz 802.11ad)

Arquitectura de red de 5G



- UE: User Equipment
- S-GW: Serving Gateway
- P-GW: Packet Data Network Gateway
- MME: Mobility Management Entity
- EPC: Evolved Packet Core

- RNC: Radio Network Controller
- SGSN: Serving GPRS Support Node
- GGSN: Gateway GPRS Support Node

- BSC: Base Station Controller
- MSC: Mobile switching centre

Arquitectura de red

- ▶ Para conseguir el grado de flexibilidad necesario para dar soporte a la gran variedad de escenarios contemplados en 5G se hace uso de las siguientes tecnologías:
 - ▶ Software-defined networking (**SDN**)
 - ▶ Network Functions Virtualization (**NFV**)
 - ▶ **Tecnologías Cloud**

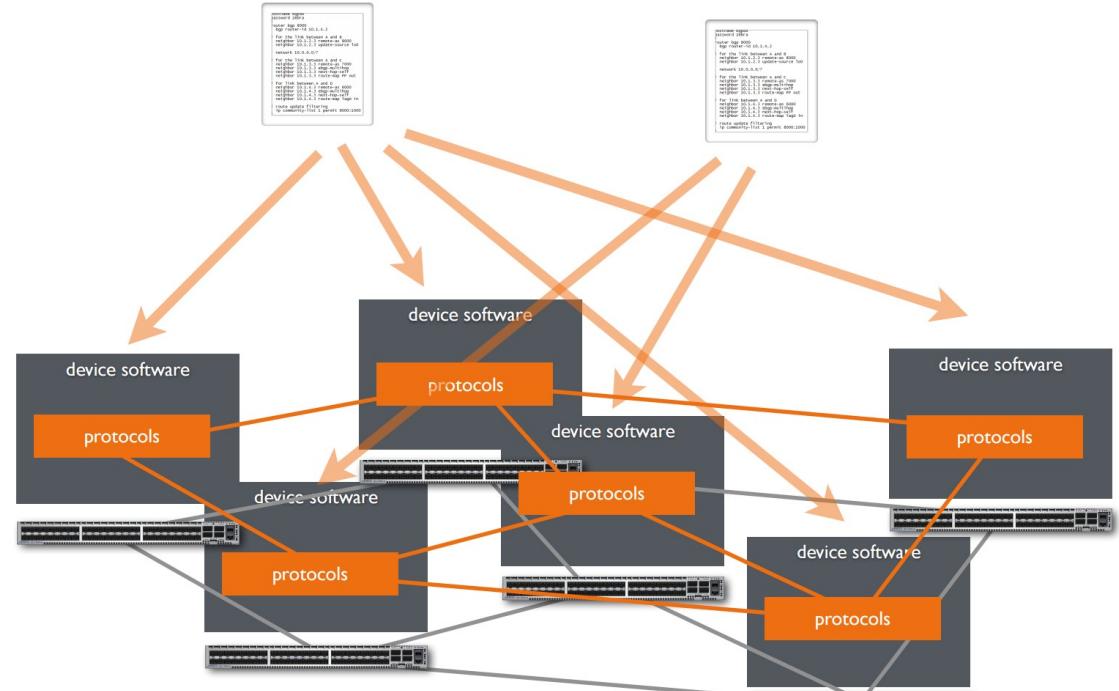


Concepto de virtualización

- ▶ **Desacoplar** el HW del SW
- ▶ **Abstraer** funcionalidades y organizarla en capas
- ▶ **Flexibilidad** en el despliegue y gestión reserva de recursos con bajo coste
- ▶ Introducción rápida de innovaciones y mejoras

Software Defined Network

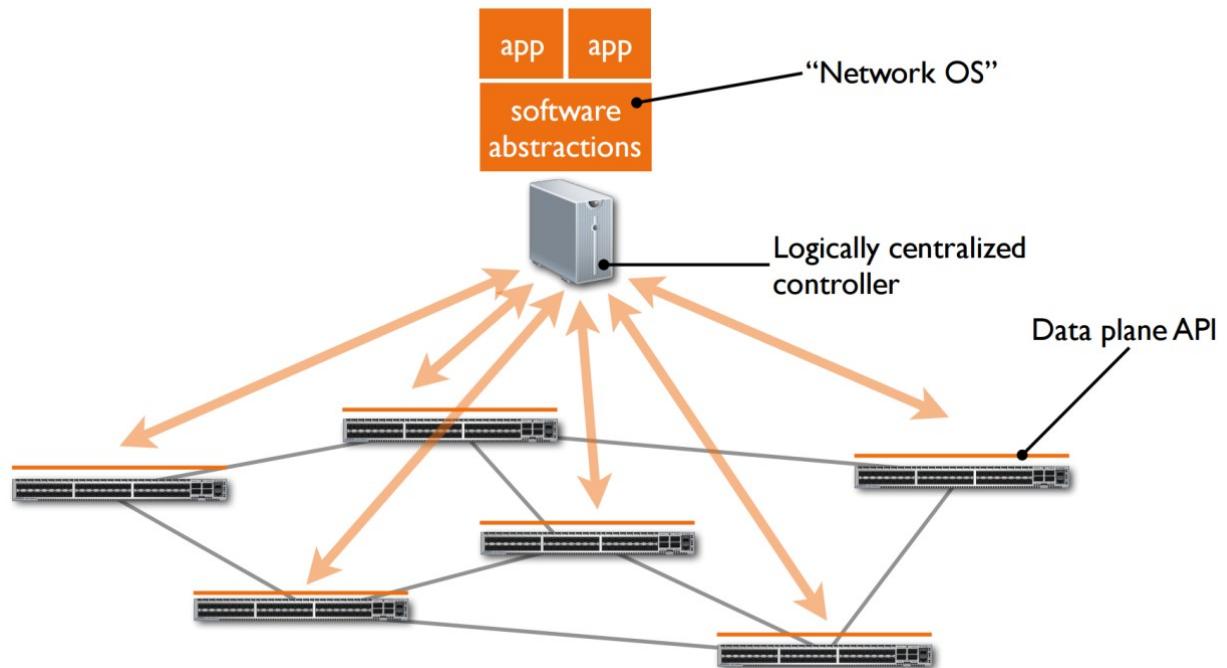
- ▶ Red tradicional
 - ▶ Componentes implementados en hardware
 - ▶ Arquitectura rígida y compleja de actualizar físicamente



Software Defined Network

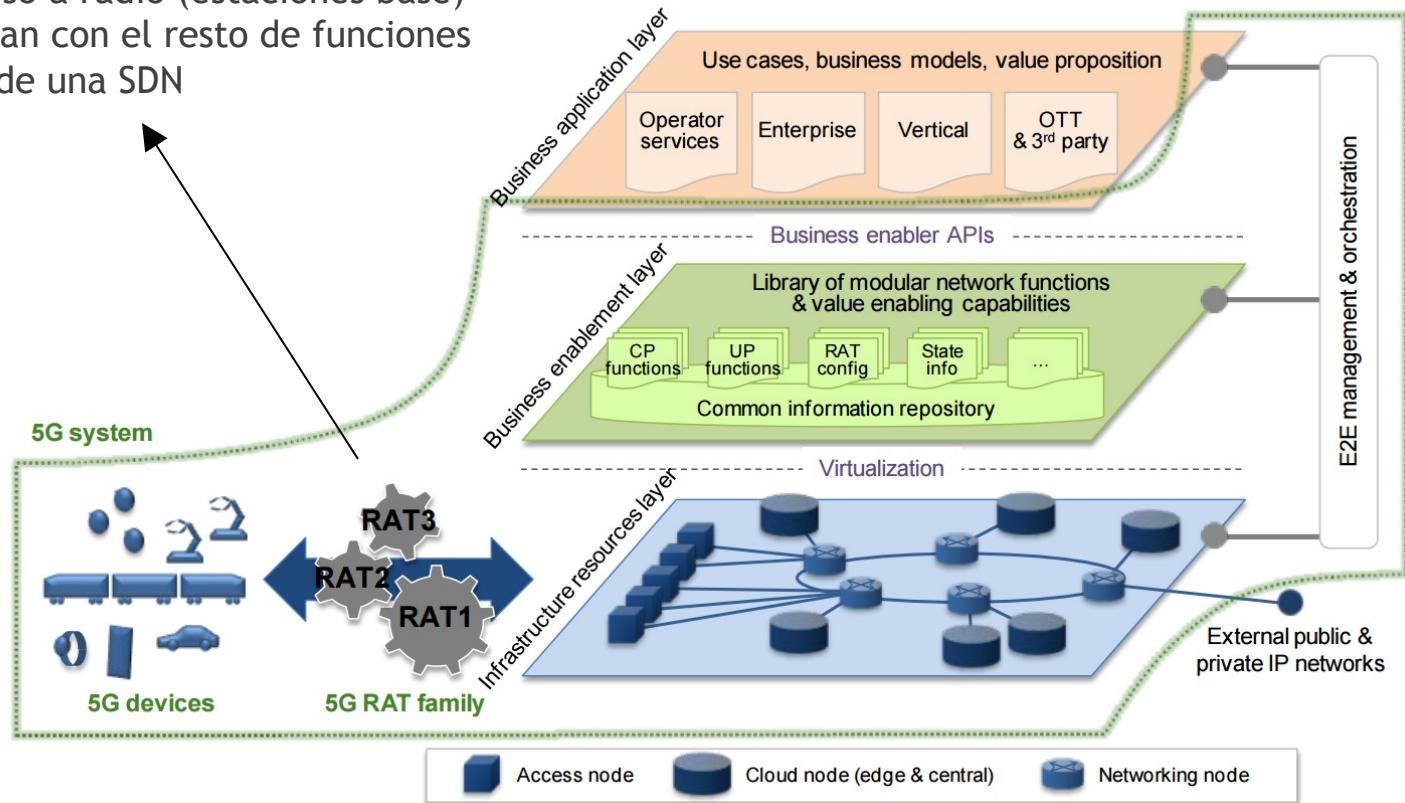
► Arquitectura de una red SDN

- Componentes definidos mediante software
- El controlador SDR identifica el flujo de datos y establece las conexiones flexiblemente
- Proporciona un entorno más eficiente y flexible, pudiendo actualizar el software



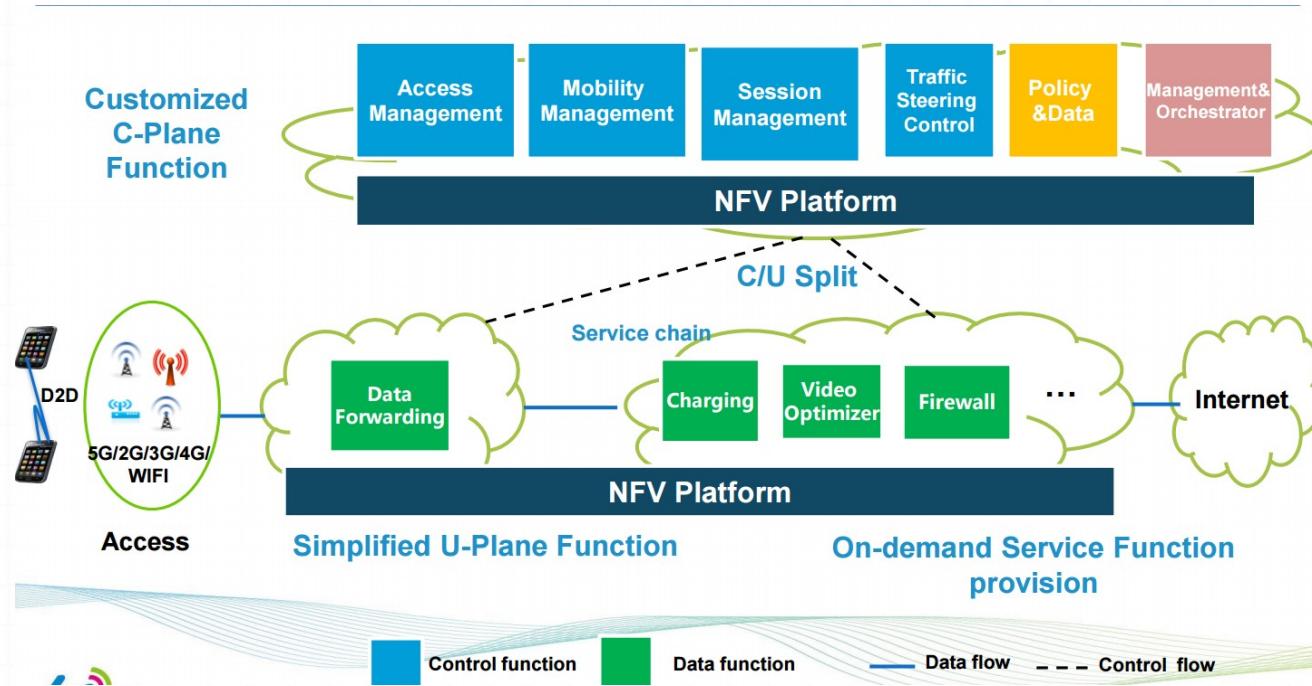
Arquitectura 5G (NGMN)

- ▶ RAT: Radio Access Technology
- ▶ El acceso a radio (estaciones base) se comunican con el resto de funciones por medio de una SDN



NFV en 5G

- ▶ NFV: virtualización de funciones de red (máquinas virtuales en vez de dispositivos hardware)
- ▶ **Separación del plano de control y del plano de datos**
 - ▶ Incrementa la flexibilidad de los despliegues y su escalabilidad
- ▶ Simplificación del plano de datos
- ▶ Las funciones del plano de control se modularizan y pueden ser customizadas bajo demanda
- ▶ Aparece el concepto de **network slicing** para dar soporte a varios escenarios



Bibliografía

- 3GPP, “3GPP TS 33.501: Security architecture and procedures for 5G system (Release 15)”, 03-2018.
- Matti Keskinen, “Mobile Network Evolution”. Nokia, 2017.
- Sander de Kievit, “Major changes in 5G security architecture and procedures”, TNO, 2017.
- Haiguang Wang, “5G Security: Standard and Technologies”, Huawei, 2017.
- Huawei. “5G Security Architecture White Paper”, 2017.
- Adrian Belmonte Martin et al., “Threat Landscape and Good Practice Guide for Software Defined Networks/5G”, ENISA, 12-2015.
- Z. Zaidi et al., “Will SDN be part of 5G?”,
<https://arxiv.org/abs/1708.05096v2>
- Shankar Lal, Tarik Taleb, and Ashutosh Dutta, “NFV: Security Threats and Best Practices”, IEEE Communications Magazine, 2017.