

# 5G: LA INMEDIATEZ DE LA TECNOLOGÍA

SANTIAGO TORRES ALEGRE

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño  
UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

El objetivo del artículo es responder a preguntas como qué supone la implantación de 5G o qué cambios aporta respecto a 4G u otras tecnologías inalámbricas. Para contestar a esta pregunta se exponen los aspectos técnicos básicos de 5G como el acceso OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), el network slicing, o la virtualización de funciones de red, así como su arquitectura de red.

Los objetivos principales de 5G asociados a los escenarios de uso definidos por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) consisten en el aumento de las velocidades de transmisión, la reducción de la latencia de las comunicaciones y la implantación masiva de conexiones tipo máquina para IoT.

Por otro lado, debe considerarse 5G como una tecnología transversal que gracias a la consecución de los objetivos expuestos anteriormente tendrá impacto en todo tipo de sectores. En concreto en el artículo se expone el impacto de 5G en los sectores de, salud, Industria 4.0, aplicaciones de transporte, el sector media o entertainment, gaming, smart cities y educación.

---

## PALABRAS CLAVE •

5G, 3GPP, OFDMA, 5G Privado, latencia, network slicing, edge computing, verticales

## CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO •

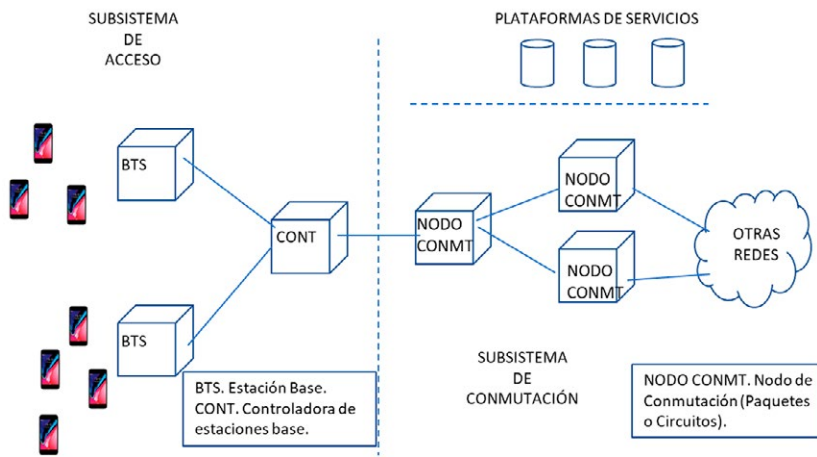
Torres Alegre, Santiago. 2022, "5G La inmediatez de la Tecnología" en: UEM STEAM Essentials

---

## 01 » INTRODUCCIÓN

5G es la quinta generación de tecnologías de comunicaciones móviles o tecnologías IMT (International Mobile Technologies) donde se progresa en los avances obtenidos en 4G y se abren nuevas posibilidades sobre todo a nivel de nuevos servicios y aplicaciones. Por otro lado, 5G junto con otro conjunto de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial, el Internet de las Cosas, o la ciberseguridad está transformando la forma en que vivimos, trabajamos, nos conectamos y nos comunicamos. A lo largo del artículo se describen los aspectos fundamentales de la tecnología 5G, así como sus principales casos de uso o aplicación.

Una red de comunicaciones móviles se enfrenta a dos grandes complejidades, por un lado, la comunicación vía radio o mediante ondas electromagnéticas no guiadas, lo cual siempre conlleva una dificultad superior frente a la transmisión de información mediante medios alámbricos o guiados. La segunda complejidad que deben afrontar las redes móviles es como su propio nombre indica la movilidad del terminal, esta no es una cuestión baladí pues gestionarla adecuadamente conlleva una carga de información de control y señalización en la red significativamente mayor frente a las redes de comunicaciones fijas.



**Figura 1 »** Arquitectura de una red de comunicaciones móviles (Elaboración Propia)

En la **Figura 1** puede verse la estructura de una red de comunicaciones móviles, tradicionalmente se ha separado la red en dos subsistemas, el subsistema de acceso que incluye el terminal móvil, las estaciones base y las controladoras de estaciones base, y el subsistema de conmutación que incluye los nodos que permiten que las señales a transmitir tomen los diferentes caminos de destino. También podemos decir que como en toda red de comunicaciones hay un plano de transporte de datos de usuario y un plano de señalización o control que permite el correcto funcionamiento de la red. Además aparece un plano de servicios donde están agrupadas las diferentes plataformas de servicios. Respecto a la capa de acceso hay que señalar que las redes de comunicaciones móviles dividen la zona a cubrir o dotar de servicio mediante una retícula celular o de celdas. El reto es conseguir que el usuario vaya desplazándose por esas celdas sin que su comunicación se interrumpa.

Un problema que se plantea en estos sistemas es cómo se puede gestionar el uso por múltiples dispositivos de un único punto de acceso, es decir en una de esas celdas donde conviven varios terminales móviles ¿Cómo son atendidos por la estación base que les da servicio? En la **Tabla 1** se presentan los diferentes métodos de acceso múltiple a una red de comunicaciones móviles.

Respecto a la evolución de las tecnologías de comunicaciones móviles cabe señalar que las dos primeras generaciones tenían como objetivo

únicamente prestar el servicio telefónico en movilidad. Para ello utilizan la técnica de conmutación de circuitos que consiste en reservar un recurso de capacidad o circuito a lo largo de la red para cada llamada. En el comienzo de la década de los 2000 aparece la tecnología 3G permitiendo la transmisión de datos mediante el protocolo IP. Para ello superpone al subsistema de conmutación tradicional basado en conmutación de circuitos un segundo subsistema de conmutación o core con nodos orientados a la conmutación de paquetes.

En torno a 2010 llegan las redes 4G o LTE cuya característica principal es que procesan todo el tráfico mediante conmutación de paquetes basándose en protocolo IP. Es decir, se elimina incluso para la voz la arquitectura de conmutación de circuitos. La clave para conseguir la convivencia de tráficos de datos con requisitos de tiempo real como llamadas telefónicas, video en tiempo real o gaming multijugador online con tráficos no tiempo real como mails o envío de ficheros es la implementación de mecanismos de calidad de servicio que priorizan cada tipo de tráfico según los requisitos de retardo, ancho de banda, o pérdida de paquetes que demanda.

**Tabla 1 »** Métodos de acceso múltiple a una red de comunicaciones móviles

MÉTODO DE ACCESO	DESCRIPCIÓN	GENERACIÓN EN QUE SE APLICA
<b>FDMA</b> (Frequency Division Multiple Access)	En este método la red asigna a cada móvil una frecuencia o canal para la transmisión de su información	1G
<b>TDMA</b> (Time Division Multiple Access)	En este método la red asigna a cada móvil un turno para su transmisión.	2G
<b>CDMA</b> (Code Division Multiple Access)	En este método se asigna a cada terminal un código con el que multiplicar la información a transmitir. La clave es que esos códigos cumplen la propiedad de ortogonalidad pudiéndose así transmitir varias comunicaciones en el mismo tiempo y frecuencia	3G
<b>OFDMA</b> (Orthogonal Frequency Multiple Access)	Este método es muy similar al primero, pero la "O" es clave. Se asignan a cada terminal una frecuencia o conjunto de frecuencias para su transmisión. Las frecuencias disponibles en el sistema cumplen la propiedad de ser ortogonales entre sí.	4G/5G

## 02 » REQUERIMIENTOS Y PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN DE 5G

Previo a la estandarización de la Tecnología 5G la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) estableció una serie de escenarios de uso y un conjunto de capacidades clave (Key capabilities) a cumplir para esos escenarios de uso. Como conseguir esos requerimientos es la tarea que se desarrolla en los organismos de estandarización. En estos organismos de estandarización participan los operadores de telecomunicaciones, los fabricantes de equipamiento, los reguladores de los diferentes países y en general diferentes empresas del sector. En el ámbito de las comunicaciones móviles el principal organismo de estandarización es el 3gpp (Third generation partnership Project).

Los objetivos para 5G han sido establecidos por la UIT que los denomina escenarios de uso, y al ser 3, se representan normalmente como los vértices del triángulo de la **Figura 2**.

### » 01 eMMB (Enhanced Mobile Broadband)

Este escenario de uso está centrado en el aumento de las velocidades de transmisión donde el requisito es multiplicar por 10 las capacidades de 4G. Para la capacidad de transmisión total de la celda el objetivo es alcanzar velocidades de descarga máxima de 20Gbps. Esta capacidad máxima debe repartirse entre los dispositivos conectados en la celda. En este sentido 5G define además acertadamente un objetivo de velocidad de transmisión media por usuario de 100Mbps. Para mejorar estas velocidades de transmisión el sistema 5G prevé el uso de modulaciones digitales 256QAM más potentes en términos de velocidad de transmisión que las 64QAM utilizadas en 4G. En *Haykin, 2001* puede consultarse información sobre como las técni-

cas QAM aumentan la velocidad de transmisión. Por último hay que comentar que a la hora de comparar tecnologías radio en términos de velocidades de transmisión es importante utilizar el valor de eficiencia espectral que se mide en [bps/Hz] y nos indica cuanto tráfico puede transmitirse por cada hercio de espectro radioeléctrico del que se dispone.

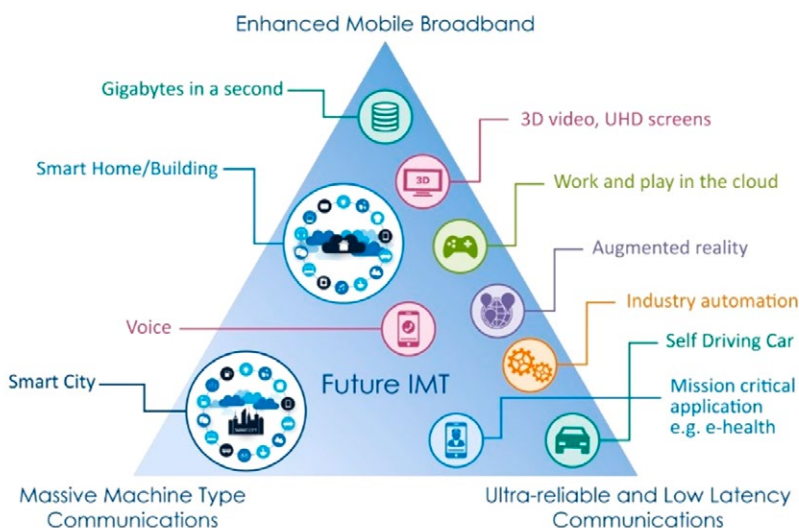
### » 02 mMTC (Massive Machine Type Communications)

Este escenario de uso es el que va a permitir el crecimiento exponencial de las tecnologías IoT y su aplicación a las smart cities, la Industria 4.0, o los dispositivos wearables. El objetivo consiste en conseguir que multitud de dispositivos que no van a transmitir una gran cantidad de información cada uno de ellos puedan estar conectados a la red. El reto es gestionar el volumen de dispositivos del orden de varias decenas de miles o algunos cientos de miles por estación base lo que suponen multiplicar por cien las capacidades de 4G.

### » 03 URLLC (Ultra Reliable and Low Latency)

Este escenario de uso consta de dos partes, por un lado, comunicaciones ultra fiables, es decir de alta disponibilidad y por otro con muy baja latencia. Este es un concepto fundamental para comprender los posibles servicios 5G. La latencia es el tiempo que tarda la red en responder la petición de un usuario. A veces es difícil separar este concepto del de velocidad o capacidad de transmisión del sistema. Una cuestión es que la red nos responda rápido (latencia baja) y otra es que una vez que comience a darnos servicio nos envíe la información a una alta velocidad de transmisión en términos de bits por segundo. Es decir, podemos tener sistemas que transmitan a muy alta velocidad pero que tarden un tiempo considerable en reaccionar y empezar a hacerlo. En 5G no sólo se exige que la red nos envíe información a alta velocidad, sino que también comience a hacerlo muy rápido. Los objetivos en términos de latencia están en conseguir una latencia de 1ms y en cuanto a confiabilidad de la red se está fijando el objetivo en una disponibilidad de red del 99,9% del tiempo. En términos de aplicaciones y aunque más adelante en el artículo se exponen las posibles aplicaciones o verticales podemos decir que este objetivo está muy relacionado con servicios como coches conectados, aplicaciones de Industria 4.0, cirugías a distancia, gaming online o aplicaciones para UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) entre otras.

En la **Tabla 2** se presentan estas capacidades clave, así como a que escenario de uso corresponden.



**Figura 2** » UIT. 2015. Casos de uso 5G

CAPACIDAD CLAVE	VALOR OBJETIVO	ESCENARIO DE USO
Velocidad media por usuario conectado	100 Mbps	eMBB
Velocidad máxima o de pico de la celda	20 Gbps en DL 10 Gbps en UL	eMBB
Eficiencia espectral	30 Mbps/Hz en DL 15 Mbps/Hz en UL	eMBB
Capacidad/m <sup>2</sup>	10 Mbps/m <sup>2</sup>	eMBB
Movilidad del terminal	Hasta 500 km/h	ULLC
Latencia	< 1 ms plano de datos < 10 ms plano de control (establecimiento de conexión)	ULLC/mMTC
Disponibilidad de red	99,9 % del tiempo	ULLC
Densidad de dispositivos	10 <sup>6</sup> /km <sup>2</sup>	mMTC
Eficiencia energética consumo	X100 la de 4G	mMTC

Tabla 2 » Capacidades Clave de 5G.

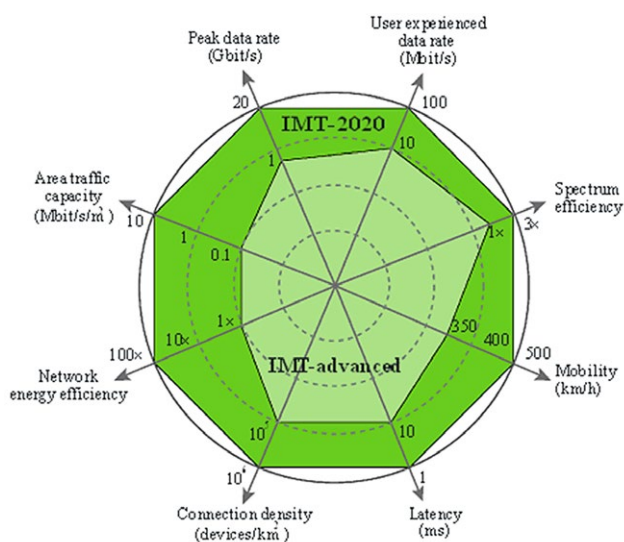


Figura 3 » Comparativa capacidades 5G/4G. UIT (2015)

En la Figura 3 puede verse una comparativa entre las capacidades de 5G (IMT2020) frente a las de 4G (IMT-Advanced) indicándose el factor de mejora para cada uno de ellos.

Una vez definidos los escenarios de uso y las capacidades clave a conseguir la tarea de estandarización del 5G se ha establecido en diferentes fases o Realeses. En este sentido la primera Realeses de 5G es la Realeses 15 que se centra fundamentalmente en el escenario de uso de rápidas comunicaciones de banda ancha (eMMB) mientras que las Realeses 16 y 17 se han centrado en los escenarios de uso de baja latencia (ULLC) y comunicaciones masivas tipo maquina (mMTC). Actualmente los equipos que se

están instalando son Realeses 15 mayoritariamente así que todavía queda un tiempo hasta que puedan verse todas las funcionalidades de 5G operativas. En la Figura 4 pueden verse el calendario de fases planteado por el 3gpp si bien se han producido retrasos por motivos del COVID y la Realeses 17 se cerrará lo largo de 2022

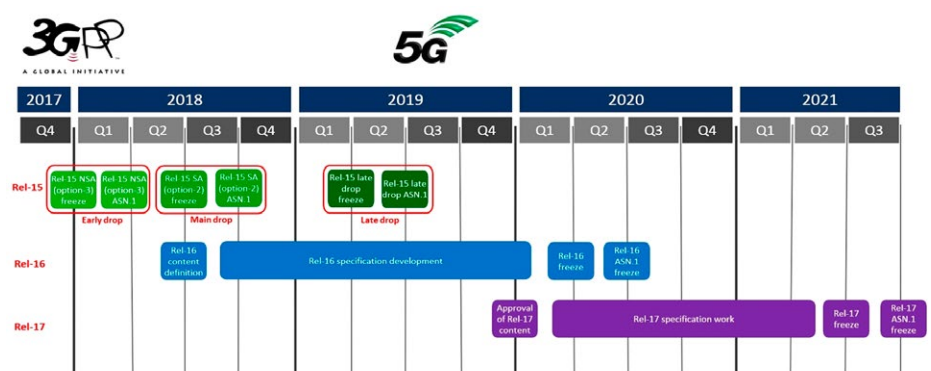
### 03 » ARQUITECTURA DE RED Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DESTACABLES DE 5G

En este apartado se presenta la arquitectura y las diferentes características técnicas que sustentan el desarrollo e innovación que supone la tecnología 5G.

#### Arquitectura de Red

La arquitectura de red de 5G, que puede consultarse en detalle en 3gpp (2017), se divide en el subsistema de acceso denominado NR (New Radio) y el subsistema de conmutación denominado 5GC (5G Core). Es una arquitectura basada en servicios (Service Based Architecture (SBA) con

Figura 4. Fases estandarización 5G. Fuente: 3gpp (2017)



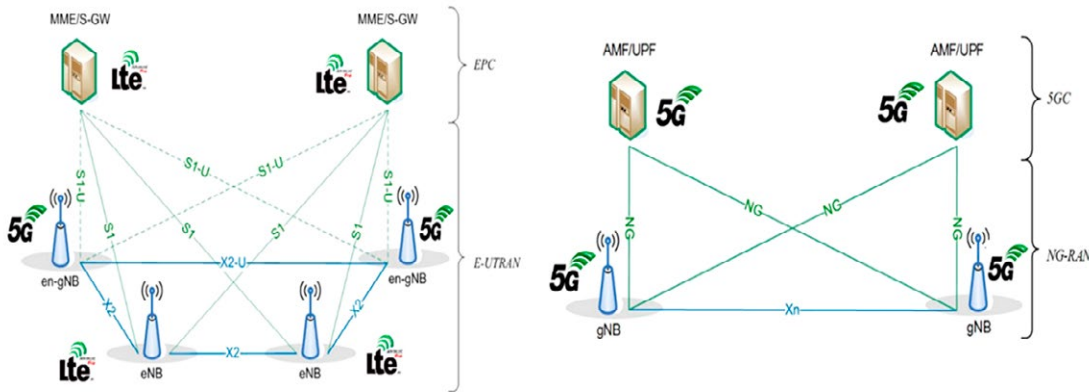


Figura 5 » Arquitectura 5G NSA y SA. Fuente 3gpp (2017)

un gran número de funciones de red o funcionalidades. Es decir, los nodos de la red se definen como “funciones” de red independizándolos del hardware propietario de los fabricantes aprovechando las técnicas NFV (Network Function Virtualization).

Continuando con la tendencia iniciada en 4G todo el tráfico de usuario en 5G es IP y desaparecen también como en 4G las controladoras de estaciones base con el objetivo de reducir la latencia.

En la Figura 5 se presentan las dos opciones de arquitectura para 5G que establecen los estándares:

- a » 5G Non Stand Alone o 5G NSA: En este modelo el subsistema de acceso es 5G, pero el subsistema de conmutación sigue siendo el de 4G
- b » 5G Stand Alone o 5G SA: En este modelo tanto el subsistema de acceso como el de conmutación core son 5G

### Network Slicing

La técnica de network slicing o “rodajas de red” consiste en dividir la red en diversas subredes o rodajas con determinados parámetros de red fundamentalmente de calidad de servicio cada una de ellas para mejor adaptarse a cada tipo de servicio o vertical. El operador de red podrá definir el número de slices presentes en su red de tal forma que en una misma celda de 5G existiría una slice de red para conexiones tipo IoT, otra slice para conexiones de UAVs, otra para servicios de video en tiempo real que demanden alta tasa de tráfico y bajo retardo, otra slice para coches conectados etc. Cada una de estas sesiones percibe la red como independiente de los otros tipos de conexiones. Una slice por tanto es un conjunto de prestaciones que la red otorga al usuario cuando está realizando un tipo de conexión o demandando un tipo de servicio, es por tanto un mecanismo de personalización que como se expone en *Sols, 2020* es una tendencia soportada por el conjunto de nuevas tecnologías emergentes.

### NFV. Network Functions Virtualization

La virtualización de funciones de red consiste en la ejecución en máquinas virtuales residentes en hardware de propósito general de diferentes funciones de la red (ETSI, 2019). Esto nos permite separar las funciones de red de los clásicos equipos de telecomunicaciones. Por tanto, un hardware de propósito general puede configurarse para que ejecute las tareas de un equipo concreto de telecomunicaciones como un router una estación base o un controlador de movilidad. Como hemos mencionado anteriormente en 5G se hace un gran uso de este concepto al haberse definido los nodos de red como funciones.

### Edge computing vs cloud computing

Actualmente se están dando dos tendencias en lo que a la prestación de servicios, control y supervisión en redes móviles se refiere. Por un lado, existe una tendencia que aboga por realizar el procesamiento de las peticiones del terminal desde el subsistema de acceso o gnodeB y así reducir la latencia o tiempo de respuesta. Esta sería la tesis del edge computing cuyo objetivo será responder lo antes posible la petición realizada desde el móvil. Esta opción tiene la desventaja económica de que habría que desplegar esa capacidad de proceso en las estaciones base o en algún punto concentrador cercano a ellas. El problema es que un operador puede tener del orden de 20.000 estaciones base en España.

Por otro lado, existe la tendencia de centralizar estas tareas de procesado en CPDs mediante cloud computing y aligerar la capacidad de procesamiento de las estaciones base reduciendo por tanto su coste. La desventaja de esta opción es el retraso que se produce en responder al terminal en términos de latencia.

¿Qué elegir entonces? La respuesta es que las dos opciones son válidas y van a convivir en las redes 5G. Si el servicio que demanda el usuario requiere de baja latencia será interesante procesar la respuesta lo más cerca de él y usar por tanto edge computing. Por el contrario, si el servicio que demanda el usuario no requiere de una baja latencia puede



procesarse la respuesta a distancia en grandes sistemas de cloud computing con el ahorro en equipamiento que esto supone.

### Características acceso radio 5G

Las tecnologías 4G y 5G se basan en la técnica de acceso radio OFDMA. Esta técnica consiste en asignar a cada móvil un grupo de frecuencias o subportadoras ortogonales entre sí. La consecuencia de esta complejidad es que se optimiza el uso del ancho de banda disponible obteniéndose una capacidad de transmisión mayor que en el básico FDMA. Sobre ese conjunto de subportadoras el móvil o la estación base implementan la técnica de modulación QAM. Para poder utilizar modulaciones QAM elevadas, 64QAM o superiores es necesario que el terminal este en una situación radio óptima en términos de ratio señal a ruido.

El sistema dispone de cientos de estas pequeñas subportadoras y las va asignando en grupos a los terminales mediante una rejilla frecuencia-tiempo, esto es cada milisegundo los cientos de subportadoras son asignados a diferentes móviles en la celda y en el siguiente milisegundo la estación base puede modificar esa asignación

Por último, respecto al acceso radio es importante señalar que en 5G se implementan las técnicas de multihaz y massive MIMO que permiten transmitir desde un mismo sistema radiante varios haces electromagnéticos destinados cada uno de ellos a usuarios diferentes aumentando así la capacidad total de la estación base.

---

## 04 » VERTICALES/APLICACIONES DE 5G

Las aplicaciones del 5G son innumerables, de un tiempo a esta parte se viene utilizando el término vertical para definir el sector o tipo de aplicación donde puede aplicarse una tecnología. A continuación, se describen algunas de los principales verticales donde está previsto que 5G tenga un impacto significativo. Es importante señalar que estas aplicaciones ya se están produciendo en algunos casos mediante otras tecnologías como 4G, o conexiones WiFi, pero en la medida en que se hable de casos de uso en los que se prevea un aumento del volumen de dispositivos conectados o una latencia crítica del orden de menos de 10 ms la implantación del 5G es indispensable.

### Aplicaciones en transporte

Agrupamos en esta vertical aplicaciones de coches conectados, servicios de seguridad vial, gestión del tráfico, gestión de flotas, aplicaciones logísticas, comunicaciones y control en entornos ferroviarios entre otras. En este entorno la red 5G supone una mejora frente a las redes que 4G en términos de aumento de usuarios conectados, permitiendo un volumen cien veces mayor y en términos

de reducción de latencias pasando de latencias de 50-100 ms a 2-5 ms.

En el ámbito de los coches conectados se utiliza el término V2X, es decir Vehicle to Anything, podemos distinguir varios tipos de conexiones, V2V que serían conexiones entre vehículos, conexiones V2N que serán conexiones del vehículo con la red (Vehicle to Network) y conexiones V2I (Vehicle to Infraestructure), donde el vehículo recibiría información directamente de elementos viales como semáforos o señales de circulación. Como ya se ha comentado para que este tipo de aplicaciones sean posibles la red deberá asignar una slice a este tipo de servicio con condiciones específicas de QoS en concreto latencias lo más bajas posible y procesamiento mediante Edge computing. La aplicación más evidente de este caso de uso es que el vehículo pueda conducirse a través de la red, o que la red suministre información al vehículo para ayuda a la decisión del conductor.

En el ámbito de la gestión inteligente de flotas servicios como determinar la ubicación de los vehículos de la flota, recibir información oportuna de la carga transportada, datos de consumo, o información del estado del vehículo, son posibles actualmente a través de 4G. 5G lo que va a permitir es absorber el volumen de crecimiento de vehículos y carga transportada para los que se usarán estos servicios.

En entornos ferroviarios, 5G va a permitir la constante comunicación entre el tren y la infraestructura ferroviaria de tal manera que el conductor o la maquina puedan recibir información sobre el estado de la vía, velocidades posibles y demás parámetros con una latencia muy inferior a lo que proporcionan los sistemas actuales.

### Media entertainment

Para este caso de uso lo que se va a demandar a la red 5G es el envío de contenidos de video bajo demanda de alta definición 4K y 8K, para ello la red debe ser capaz de asignar una alta velocidad de transmisión en el enlace descendente para estos usuarios. El requisito de latencia por tanto no será tan exigente en este caso de aplicación como en otros que se describen en el artículo. Aunque a veces promociona la gran capacidad de 5G como tecnología que permite descargar una película en segundos esto no tiene ningún sentido en términos del usuario ya que los usuarios siguen tardando 1,5 o 2 horas en ver una película. Lo que tiene sentido es que la red sea capaz de permitir que múltiples usuarios disfruten simultáneamente en la misma celda de ver contenidos de video en alta calidad.

### Salud

El sector de la salud es uno de los ejemplos claros donde las tecnologías 5G pueden implantarse. Los ejemplos son múltiples, pero pueden destacarse temas como:

**a »** la telemedicina, donde se incluye la monitorización a distancia, el diagnóstico a distancia e incluso las cirugías a distancia. Hay que destacar la necesidad del apoyo en tecnologías hápticas que son aquellas que incluyen el conjunto de interfaces tecnológicos que interactúan con el ser humano mediante el sentido del tacto. Se estima que el diagnóstico a distancia puede reducir las visitas a las urgencias de los hospitales en torno a un 25%.

**b »** uso de AR (Realidad Aumentada) y VR (Realidad Virtual) a través de 5G dentro de las instalaciones médicas como en los casos como apoyo a las cirugías in situ o a la enseñanza de médicos más jóvenes por parte de los más expertos, mediante hospitales simulados.

**c »** la localización y seguimiento de dispositivos en los hospitales, las conexiones entre equipos médicos.

**d »** conexión a distancia con ambulancias desde el hospital. El disponer desde el hospital de la información del estado del paciente que se encuentra en la ambulancia puede llegar incluso a salvar vidas permitiendo la operación a un paciente que se encuentre en la ambulancia y no se posible su traslado al hospital a tiempo y en todo caso acelerar las intervenciones al llegar al hospital ya que los médicos conocerán toda la información relevante de primera mano.

**e »** Implantación de dispositivos o sensores en los pacientes en su día a día cuyos datos sean enviados en tiempo real al médico.

Para todos estos casos de uso se necesitarán altas velocidades de transmisión y bajas latencias. Un reto para todo este tipo de servicios es la seguridad de las comunicaciones y la confidencialidad de los datos que 5G deberá garantizar.

## Gaming

Aunque el dispositivo más usado para los videojuegos sea el PC o la consola cada vez se produce más gaming online a través de dispositivos móviles. En general los juegos para este tipo de dispositivos son de una calidad de imagen considerablemente peor esto es debido a la limitación que imponen las actuales redes. La industria del videojuego está preparada para ofrecer video juegos en alta calidad para dispositivos móviles, pero necesita de una red que sea capaz de permitirse. Ahí es donde aparece 5G que va a poder permitir juegos con alta calidad de imagen que demanden por tanto una alta velocidad de transmisión. Pero también el usuario jugador necesita una baja latencia (ping en términos gamers) pues si su conexión no dispone de una buena latencia las instrucciones que de otro jugador al juego llegarán antes al servidor central y nuestro usuario móvil perderá la partida. Evidentemente para este tipo de aplicaciones la red 5G deberá asignar una slice específica.

## Smart cities

Como se indica en (*Lacort 2021*) el concepto smart city es un concepto en constante evolución, pero se puede tomar la definición que establece que las smart cities son aquellas ciudades que han incluido una capa de tecnología con el objetivo de mejorar su gestión y crear mejores infraestructuras y posibilidades de información para sus ciudadanos. También se considera que una smart city debe emplear parte de esa tecnología en conseguir que la ciudad sea lo más sostenible y eficiente posible en términos energéticos. En definitiva, una smart city es una ciudad que mediante la tecnología interactúa con sus ciudadanos tratando de ofrecerles los mejores servicios digitales en tiempo real. Para ello los elementos principales de estas smart cities son una capa de sensores para obtener información de la ciudad, una plataforma de control y seguimiento y una red de conectividad.

**»** Ante la perspectiva del aumento masivo de dispositivos tipo IoT que se instalarán en las ciudades y su demanda exigente en términos de latencia parece indispensable el uso de 5G en la capa de conectividad de las smart cities. En cuanto a aplicaciones en concreto se pueden señalar entre otras, los aparcamientos inteligentes a nivel de calle, la monitorización de infraestructuras públicas, la monitorización ambiental, o la toma de decisiones en tiempo real para el control del tráfico. Para otras aplicaciones como la supervisión de la ciudad mediante cámaras en vía pública la red 5G aportará una capacidad de transmisión mayor que las redes 4G o WIFI.

## Educación

En el campo de la Educación se prevé la contribución de 5G, basándose en su alta capacidad de transmisión y reducida la latencia, en los siguientes aspectos:

**a »** Uso de AR y VR mediante 5G. La tendencia al uso de técnicas de AR y VR para apoyar la explicación de contenidos educativos es cada vez mayor. Para proporcionar esta experiencia las plataformas educativas se apoyarán en la capacidad de transmisión y en la reducida latencia de las redes 5G.

**b »** Mejora de la conectividad para clases virtuales. La formación online adaptándose a las necesidades del estudiante es cada vez más demandada. En este contexto las redes 5G mejorarán la experiencia del estudiante y profesor pudiendo llevarse a cabo sesiones más interactivas y compartiendo recursos que demanden altas capacidades de la red en tiempo real.

**c »** Redes 5G in campus. Un reto al que se enfrentan las instituciones educativas es dotar de conectividad wireless al conjunto de sus estudiantes cuando están en el campus.

Las redes 5G van a permitir mejorar la experiencia de estos estudiantes ya que soportaran la elevada demanda de descarga de tráfico mejor que las actuales redes WIFI.

**d » Personalización de la educación.** Como ya se ha comentado la demanda educativa y en general cualquier servicio (Sols, 2020) se orienta cada vez más a la personalización. Para ello las redes 5G van a permitir una conexión de gran capacidad que permitirá a los estudiantes el acceso a recursos como videos de gran tamaño en entornos de movilidad en pocos segundos. Así como la conexión con plataformas de asistentes educativos virtuales que las instituciones educativas irán implantando en los próximos años.

### Redes privadas 5G para Industria 4.0

Otra gran novedad de la tecnología es la asignación de frecuencias en régimen de auto prestación para empresa privadas no operadores para gestionar sus conexiones internas en contextos relacionados con la Industria 4.0. Como se establece en (Sols, 2020) nos encaminamos hacia fábricas inteligentes con alta demanda de conectividad inalámbrica, en este contexto las capacidades de 5G son hoy considerablemente superiores a las tecnologías WIFI, sobre todo en términos de latencia.

Para que esta aplicación sea realidad debe asignarse espectro radioeléctrico para este tipo de aplicaciones empresariales. Hasta entonces las industrias deberán negociar tarifas por estos servicios con los diferentes operadores. Incluso en el caso de que esté disponible el espectro radioeléctrico en régimen de auto prestación para estas industrias surge la duda de si estas empresas serán capaces de administrar y mantener esta red o deberán recurrir a la ayuda de los proveedores especializados sean estos operadores o no. Probablemente exista una gran oportunidad de consultoría para profesionales TIC en este caso de uso.

A la hora de pensar en que pueden ser útiles las comunicaciones 5G en la Industria 4.0 aparecen como en otras verticales multitud de posibilidades de los que se refieren a continuación algunos ejemplos:

**a » Robótica y automatización:** 5G puede permitir controlar a distancia los diferentes robots de producción, así como dar conectividad a los múltiples sensores con los que pueden equiparse estos elementos robóticos. En este campo 5G competirá con Ethernet industrial por cable.

**b » Gestión de conectividad para los diferentes vehículos guiados automáticos (AGVs) que pueden existir en una fábrica.**

**c » Seguimiento y monitoreo de varios aspectos de la producción a través de videovigilancia y sensores con aplicación de análisis para estudiar patrones de producción y optimizar procesos.** Muchas de estas actividades se pueden realizar con cámaras basadas en Wi-Fi existentes y sensores IoT, pero 5G puede proporcionar mejoras, particularmente en lugares al aire libre.

**d » Inventariado y gestión de almacén.**

**e » control de procesos de producción y líneas de montaje, envío de mercancías, control de la cadena de suministro.**

**f » prevenir interrupciones en las líneas de producción manteniendo la continuidad operativa, mejorar la calidad de la producción y reducir los costos de producción.**

La ciberseguridad en estos entornos es como en el resto de los verticales una preocupación a considerar. Un fallo de seguridad dentro de la industria podría suponer producciones defectuosas y por tanto graves costes para la empresa.

## 05 » DESPLIEGUE 5G EN ESPAÑA

Para que las conexiones de móviles funcionen es necesario disponer de bandas de frecuencias para la transmisión de señales. Actualmente se han asignado ya mediante subasta dos bandas de frecuencias para el uso de tecnologías 5G. La banda de 3,5Ghz donde se han asignado concesiones a MasMóvil, Telefónica, Orange y Vodafone (Figura 6) y la

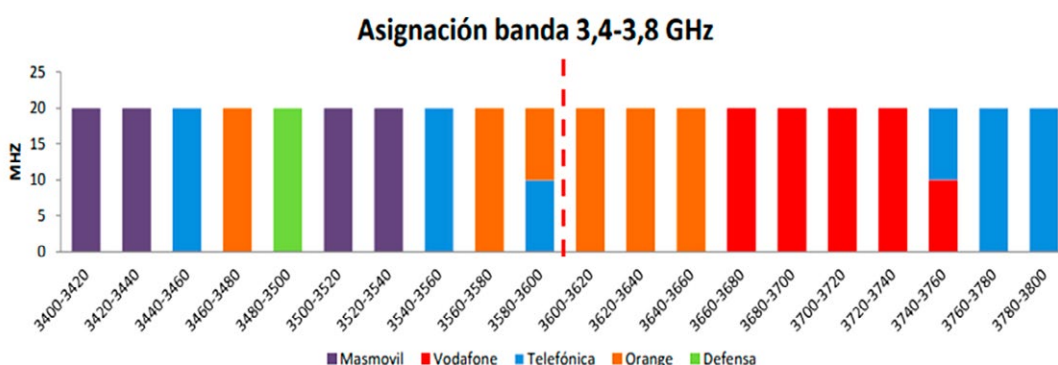


Figura 6 » Asignación de frecuencias para 5G en la banda de 3,5GHz. Fuente: CNMC 2021



banda de 700Mhz que se ha asignado recientemente a Vodafone, Telefónica y Orange. Está previsto también asignar bandas en torno a 1500Mhz y en frecuencias mucho más altas como 26GHz y 38GHz. La diferencia entre esas bandas de frecuencias consiste en que cuanto mayor es la frecuencia de transmisión menor es el alcance de la señal transmitida ya que se producen más pérdidas de propagación, pero cuanto mayor es la banda de frecuencias más liberada suele estar y más cantidad de ancho de banda se asigna. Por ejemplo, en 3,5Ghz los operadores disponen de 100Mhz mientras que en la banda de 700Mhz disponen de 20Mhz. Esto lleva a que las frecuencias altas se utilicen en puntos de alta concentración de tráfico y a nivel de calle mientras que las frecuencias bajas se utilizaran para tráfico menores y en interior de viviendas.

En cuanto al número de estaciones base 5G desplegadas actualmente en España es difícil pronunciarse pues no hay datos oficiales recientes. Según declaraciones del CEO de Vodafone en el último Mobile World Congress se considera que podría haber un 10% de población cubierta con 5G en España y se estima que esa cifra subirá hasta el 50% de la población para finales de año.

---

## 06 » CONCLUSIONES

La tecnología 5G es la nueva generación de comunicaciones móviles y está ya disponible en el mercado. Sus pilares

técnicos son el incremento de las velocidades de transmisión, las comunicaciones de baja latencia y la posibilidad de conectar miles de dispositivos a una estación base. Su impacto en la sociedad se prevé que sea transversal implantándose en todo tipo de sectores como los coches conectados, la salud, las smart cities e IoT, las redes privadas para la Industria 4.0, la educación, el gaming o la distribución multimedia entre otros.

La puesta en servicio de esta tecnología ha sido posible gracias al esfuerzo de los órganos de estandarización compuestos por fabricantes, operadores y administraciones públicas.

Es posible que estemos ante cierto “hype” con 5G pues no es la única forma de prestar los servicios que se han descrito a lo largo del artículo. Otras tecnologías como las redes pasivas ópticas, la tecnología WIFI o las redes de comunicaciones industriales pueden servir en varios de los casos, pero es verdad que ninguna de ellas en todos, como si lo puede hacer 5G.

Para que 5G se desarrolle correctamente es necesario que los diferentes gobiernos liberen la cantidad de espectro necesaria tanto para los operadores como para las diferentes industrias en régimen de auto prestación.

Go 5G!

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3gpp (2017) *TS23.501 5G System Architecture Overview*. Recuperado de <https://www.3gpp.org/component/itpgooglesearch/search?gsquery=TS23.501+>

ITU-R (2015). *Recommendation M.2083*. Recuperado de <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083/es>

ETSI (2019) *White Paper N.32 Network Transformation*.

Haykin, S. (2001). *Communication Systems*. 4ed, Wiley.

Lacort, B. (2021). “*Ciudades inteligentes: Un reto multidisciplinar*”, en: UEM STEAM Essentials.

Sauter, M. (2020). *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G: an introduction to mobile networks and mobile broadband*. 4ed, Wiley 2020.

Sols, Alberto 2020. “*Industria 4.0. La cuarta revolución industrial*”, en UEM STEAM Essentials. ISBN: 978-92-1-148319-2 e ISBN: 978-92-1-004314-4

---

## BIOGRAFÍA

Santiago Torres es Ingeniero de Telecomunicación por la UPM y Licenciado en Derecho por la UNED. Profesor en el departamento de Ciencias y Tecnologías Digitales en la Universidad Europea de Madrid. Las áreas en las que imparte docencia son: Radiocomunicaciones, Redes, y Regulación TIC. Trabajó durante 14 años en Vodafone España y en la actualidad sigue colaborando como consultor con diferentes empresas del sector Telco.

