

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGIA 5G.



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

INDICE

EVOLUCIÓN DE LA TELEFONIA MOVIL EN ESPAÑA EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE DATOS.	3
INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGIA 5G	5
Network Slicing.....	7
Arquitectura NSA / SA	10

EVOLUCIÓN DE LA TELEFONIA MOVIL EN ESPAÑA EN FUNCION DE LA CAPACIDAD DE DATOS

Tecnología 2G

Esta tecnología permitía ofrecer a los usuarios voz, SMS, fax, comunicaciones de datos (inicialmente a 9,6 *kbps* y en su evolución hasta los 192 *kbps*) y servicios complementarios como identificación de llamadas, llamadas en espera, conferencias, etc.

Se caracteriza porque la conexión de paquetes puede salir directamente a Internet o a una red privada, en función del APN (punto de acceso) empleado por el usuario en la solicitud de conexión.

Utiliza canales de 200 *kHz* dentro de los cuales se pueden multiplexar hasta 8 usuarios. Además, permite multiplexación en el tiempo, TDMA, en frecuencia, FDMA y por códigos, CDMA.

Mejora la calidad frente a interferencias debido al uso de salto en frecuencia, posibilita el roaming internacional de los usuarios entre las redes GSM de diferentes países e incluye la tarjeta SIM en el terminal de usuario, facilitando así la posibilidad de cambio de dispositivo.

El sistema de comunicación 2G utiliza una arquitectura de red BTS-BSC- CORE.

2G utilizaba principalmente una arquitectura de estación base integrada lo cual requiere el establecimiento de una sala de equipos debajo de cada torre, que tiene un elevado costo.

Más tarde se convirtió en una arquitectura de estación base distribuida. La arquitectura de la estación base distribuida divide BTS en RRU y BBU.

La RRU se encuentra en la torre y la BBU se encuentra en la sala interior. Cada BBU puede conectar múltiples (3-4) RRU. Las conexiones de fibra óptica se utilizan entre la BBU y la RRU.

Tecnología 3G

Permite distintos servicios simultáneos en el mismo terminal, mayor seguridad que en 2G, mayor movilidad internacional debido a que está más extendido que GSM y mejor movilidad gracias a la implementación del soft-handover en lugar del ya existente hard-

handover. También ofrecía servicio de videollamada a 64 *kbps* .

El sistema utiliza canales radio de 5 *MHz*, dentro de los cuales se pueden multiplexar, mediante CDMA, un número muy alto de usuarios.

Al estar la capacidad de una célula subordinada a la interferencia existente, su área de cobertura y capacidad varía con el tiempo.

Otro requisito de este sistema es el control de potencia tanto en la estación base como en los terminales.

Al desarrollar redes 3G, para ahorrar costos de construcción de la red, la arquitectura de la red 3G es básicamente la misma que la 2G.

La arquitectura de la estación base distribuida se usa principalmente en la era 3G. De manera similar, la arquitectura de la estación base distribuida divide el Nodo B en dos partes: BBU y RRU.

La técnica que se emplea es el espectro ensanchado lo que permite una alta protección del sistema frente a interferencias multi trayecto. Como contrapartida, el cálculo de la capacidad de la celda se vuelve más complejo y la planificación celular requiere más elaboración.

Ofrece los mismos servicios que puede ofrecer el 3G, pero a mayor velocidad e incluye funcionalidades avanzadas que permite alcanzar velocidades de hasta 1 *Gbps* en el enlace descendente y hasta 500 *Mbps* en el enlace ascendente.

El aumento de velocidad se consigue gracias al desarrollo de los sistemas de antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output) y al mayor ancho de banda del sistema (hasta 20 *MHz*).

Ofrece mayor flexibilidad al permitir utilizar anchos de banda variable, que oscilan entre los 1,4 a los 20 *MHz*. De esta forma, se consigue adaptar las estaciones base a las necesidades de capacidad o disponibilidad de espectro que hay en dicho emplazamiento.

La arquitectura es prácticamente la misma que en 2G.

Tecnología 4G

Ofrece los mismos servicios que puede ofrecer el 3G, pero a mayor velocidad e incluye funcionalidades avanzadas que permite alcanzar velocidades de hasta 1 *Gbps* en el enlace descendente y hasta 500 *Mbps* en el enlace ascendente.

El aumento de velocidad se consigue gracias al desarrollo de los sistemas de antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output) y al mayor ancho de banda del sistema (hasta 20 *MHz*).

Ofrece mayor flexibilidad al permitir utilizar anchos de banda variable, que oscilan entre los 1,4 a los 20 *MHz*. De esta forma, se consigue adaptar las estaciones base a las necesidades de capacidad o disponibilidad de espectro que hay en dicho emplazamiento.

Otros factores a tener en cuenta

Despliegue de Red (número de estaciones necesarias para dar cobertura total). Dependencia directa de las frecuencias utilizadas y del número de usuarios. Radioenlaces, cable, fibra.

Disponibilidad de alimentación eléctrica, especialmente en zona rural (en relación directa con el consumo de potencia de los equipos actuales).

Alquileres, es decir puntos donde instalar los equipos (edificios, torres, farolas de alumbrado público etc).

Costes de mantenimiento y averías de la nueva tecnología 5G en relación directa con la fiabilidad de los nuevos equipos.

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGIA 5G

La tecnología 5G es el nuevo estándar de Comunicaciones Móviles de Quinta Generación (o IMT – 2020 en su denominación oficial). Aunque la primera versión de sus especificaciones aún está en desarrollo, el pasado diciembre de 2020 se acordó la liberación de una parte de ellas, lo que permitió que a lo largo del año 2021 se realizarán los primeros despliegues comerciales con unas funcionalidades reducidas. Por tanto, se trata de una tecnología cuyo proceso de estandarización no ha finalizado.

Las grandes novedades que introduce 5G

Si echamos la vista atrás, vemos que las generaciones impares de tecnologías móviles introducen nuevos servicios, que son luego perfeccionados por las generaciones pares. 5G no podría ser menos, y se presenta como una tecnología disruptiva, que aspira a ser uno de los pilares de la próxima revolución industrial.

Las especificaciones de esta tecnología han sido orientadas a mejorar los servicios ofrecidos actualmente por medio de las redes móviles actuales, y a habilitar nuevos servicios que puedan dotar de ventajas competitivas a los sectores en los que sean aplicados. En concreto, dentro del estándar se definen ***tres casos de uso*** principales:

- **eMMB:** *enhanced Mobile Broadband*, o super banda ancha móvil, con velocidades picopor encima de 1 Gbps y velocidades de 100 Mbps garantizadas.
- **uRLLC:** *ultra ReliableLowLatencyCommunications*, comunicaciones móviles de ultra baja latencia (por debajo de 1 ms. de tiempo de respuesta, desde que el usuario realiza una petición hasta que la red le proporciona la respuesta que necesita).
- **mMTC:** *massive Machine-TypeCommunications*, comunicaciones tipo máquina másivas, con soporte masivo de objetos conectados, hasta un millón de dispositivos por Km2.

Los diferentes servicios que se están ideando para ser soportados por la nueva red 5G, en la práctica, son una combinación o mezcla de estos tres casos de uso principales. Veamos ahora un ejemplo de cómo se podrían combinar estos servicios con el concepto de coche o dron conectado:

- 5G proporcionaría una red segura, de baja latencia y robusta, factores críticos si hablamos de vehículos o drones conectados.
- Sería posible disfrutar de altas tasas de datos en cualquier sitio, haciendo posible compartir o consumir diferentes contenidos.
- Se soportarían multitud de objetos conectados con los que se podría interactuar para aumentar la seguridad.

Cómo se implementa 5G

Para poder ofrecer servicios tan dispares de manera eficiente, las redes 5G deben ser capaces de adaptarse de forma mucho más eficiente a los distintos requisitos de calidad de los distintos servicios soportados.

Para esto, las nuevas redes deben ser capaces de definir *redes lógicas* sobre una misma infraestructura física común, característica que se conoce como **networkslicing**.

Por tanto, se espera que sobre una misma infraestructura de red pudieran estar funcionando, de forma simultánea y a modo de ejemplo:

- Una red lógica de super-banda ancha móvil, con muy alta capacidad y requisitos

medios de latencia, apta para el tráfico de vídeo de muy alta resolución (VHD, UHD)

- Otra red de ultra baja latencia (tiempo de respuesta muy pequeño) y muy alta disponibilidad, sin necesidades excesivas de ancho de banda, para aplicaciones como el coche autónomo, gestión de drones o la gestión remota de maquinaria industrial.
- Una red capaz de gestionar información procedente de un volumen muy alto de dispositivos, ubicados en un área geográfica concreta, sin requerir ni muy altas velocidades ni baja latencia, adecuada para la monitorización de sensores en explotaciones industriales, agrícolas o ganaderas.

Se trata sólo de algunos posibles ejemplos. Se espera asimismo que el despliegue de esta nueva red, combinando un ancho de banda elevado con latencias muy pequeñas permita una generalización de servicios basados en **realidad virtual** (juegos, visitas turísticas virtuales...), con el complejo procesado que requiere la información de vídeo 3D realizada en la nube en lugar de en los dispositivos de usuario final, que podrían abarataarse considerablemente.

Aunque la definición de la nueva red es completamente agnóstica del tipo de acceso (móvil 3GPP, móvil no 3GPP, como WiFi, tecnologías de acceso fijo...) otra de las grandes novedades que introduce 5G es la especificación de un *nuevo interfaz radio* (NR, New Radio), mucho más eficiente que el actual y que adopta una solución técnica basada en **MIMO(entrada y salida múltiple) masivo** (lo que en términos prácticos implica disponer de un elevado número de antenas de transmisión y recepción en las estaciones base) para permitir conseguir muy altas velocidades, tanto de transmisión como de recepción. Con todo ello, se espera que los clientes finales (no sólo usuarios residenciales, también negocios que pueden beneficiarse de las ventajas de la nueva tecnología) puedan disfrutar de servicios con características muy potentes.

Network Slicing

Este mecanismo, que constituye una de las novedades más importantes que introduce la tecnología 5G, tiene por objetivo cubrir uno de los principales requisitos que los organismos de estandarización imponen a los Sistemas de Quinta Generación: poder proporcionar los niveles de calidad requeridos por una gran variedad de servicios de naturaleza muy distinta, de la forma más eficiente y escalable posible.

Fundamento Tecnológico

Los diferentes servicios proporcionados por una red de Telecomunicaciones pueden descomponerse en un conjunto de elementos funcionales individuales llamados *funciones de red* (ejemplos: autenticación de usuarios, gestión de movilidad...) que trabajan coordinadamente para proporcionar una prestación en concreto. En el proceso de estandarización de la nueva tecnología 5G se han identificado todos estos ladrillos básicos y las posibles interacciones entre los mismos; y se han especificado como software puro, completamente independientes de un soporte físico específico (puede ser por tanto desplegado sobre hardware de propósito general). Esto constituye una novedad muy importante con relación a cómo se han construido hasta ahora las redes de Telecomunicaciones Móviles, puesto que hasta la fecha las distintas funciones de red han estado íntimamente ligadas a su soporte físico, y como un todo eran ofrecidas a los operadores por parte de los fabricantes de red.

Por tanto, para construir cualquier servicio habría que identificar (de forma simplificada):

- a. Las funciones de red que constituyen el servicio a desplegar (software)
- b. El lugar físico (hardware) donde desplegar dicho software
- c. Interconectar el hardware necesario

Todo este proceso puede llevarse a cabo simultáneamente en la red para cada servicio que quiera proporcionarse; y por tanto los usuarios de cada servicio acceden a una red virtual que ha sido específicamente diseñada para cumplir un propósito determinado, definida sobre una red física común.

Cada *instancia de red* (o **slice**) puede entenderse, por tanto, como un conjunto de funciones de red desplegadas en determinados elementos físicos, que como las piezas de un puzzle se interconectan entre sí para proporcionar el servicio requerido. Por tanto, los habilitadores tecnológicos del concepto que Network Slicing son la Virtualización de Funciones de Red (NFV, Network Function Virtualization) y la Interconexión de Redes por Software (SDN: Software-Defined Networking). Todas estas tareas de despliegue de funciones e interconexión de nodos serán llevadas a cabo por una nueva entidad, el Orquestador de Servicios de Red.

Las diferentes slices que pueden estar operando simultáneamente en la red guardarán una relación de prioridad entre ellas, dependiendo de la naturaleza de los

servicios ofrecidos por cada una. Así, en el ejemplo anterior, los servicios sanitarios en tiempo real van a ser prioritarios sobre cualquiera de los otros dos, por motivos obvios. Ello significa que dado que la infraestructura física subyacente es la misma para todos, en caso de competencia por algún recurso concreto, las slices de tipo misión crítica (las más prioritarias) van a tener preferencia. Pero eso no significa necesariamente que los otros servicios se vean comprometidos en cuanto a los niveles de calidad ofrecidos, la nueva red 5G contará con la suficiente inteligencia para permitir que una determinada slice pueda reconfigurarse y tratar de mantener los niveles de calidad comprometidos.

El estándar actual contempla que el mismo dispositivo pueda estar conectado simultáneamente hasta con 8 *slices* de red diferentes (identificadas cada una de ellas a través de su S-NSSAI, *Single Network Slice Selection Assistance Information*), en función de la aplicación o el uso de red que se requiera en cada momento. Así, mientras un usuario está visualizando un vídeo de alta definición usando la instancia de súper banda ancha móvil, un sensor de pulsaciones ubicado en el sensor de la pulsera que lleva en su muñeca se podría activar y enviar vía bluetooth al terminal información de pulsaciones, ubicación, pasos caminados... El dispositivo haría uso entonces de la instancia de objetos conectados para actualizar en la nube la información recibida.

Actualmente el estándar define tres tipos de instancias de red o *slices*, identificadas por un valor numérico (SST: Slice / Service Type), aunque se contempla que cada operador pueda definir más (SD, Slice Differentiator) en base a los distintos casos de uso y servicios soportados.

Slice / Tipo de servicio	SST	Características
eMBB (enhanced Mobile Broadband)	1	Slice adecuada para la gestión de la banda ancha móvil mejorada 5G. Permitirá soportar altas tasas binarias en entornos con alta densidad de tráfico
uRLLC (ultra- Reliable Low Latency Communications)	2	Comunicaciones de baja latencia altamente fiables
mIoT (massive Internet of Things) mMTC (massive Machine Type Communications)	3	Soporte de un gran número y alta densidad de dispositivos IoT de manera eficiente y rentable

Impactos en procesos y redes de telefonía

El carácter virtualizado de las funciones de red 5G, tal y como se ha mencionado anteriormente, previsiblemente modificará el modo en el que las compañías de móviles

se relacionen con los fabricantes de equipos, a los que se pasará a comprar únicamente software de red. Es también muy probable que aparezcan nuevos proveedores (e.g los que facilitarán el hardware de propósito general sobre el que se desplegarán dichas funciones).

Esperamos también un impacto muy notable en cuanto a la forma en que operamos, monitorizamos y mantenemos nuestra red, ya que pasaremos de trabajar con elementos físicos reales, perfectamente localizados, físicamente accesibles... a tener que trabajar además con elementos virtuales, deslocalizados, que aparecerán y desaparecerán en función de la naturaleza de los servicios ofrecidos.

Por último, el hecho de poder desplegar redes virtuales para proporcionar un servicio concreto puede tener también un impacto muy positivo en hacer crecer el portafolio de servicios que podemos ofrecer a las empresas: servicios de telepresencia inmersiva, videoconferencia avanzada, o específicos de su sector de actividad: gestión de vehículos autónomos para logística en fábricas...

Arquitectura NSA / SA

Las especificaciones de la nueva tecnología 5G definen varias posibles arquitecturas, dependiendo de cómo se use el nuevo interfaz de acceso radio, llamado New Radio (NR). NR puede funcionar por separado (Standalone) o junto a LTE (Non-Standalone), y usando el Core de red de 4G (EPC), o un nuevo Core 5G (NGCN). Las diferentes combinaciones de estos factores dan lugar a diferentes arquitecturas 5G, que se definen como “Opciones” dentro del estándar. Hasta ahora, dos de estas opciones han sido especificadas:

- **Option 3:** Que usa el nuevo acceso radio, NR, como un añadido al actual LTE, y usa el Core 4G, Ésta es una de las opciones de arquitectura **Non-Standalone**, aunque hay otras que combinan NR y LTE en el acceso que aún están en proceso de especificación.
- **Option 2:** Que define el funcionamiento aislado de NR, con los nodos de acceso conectados al nuevo Core 5G, y estaría dentro del grupo de las arquitecturas **Standalone**.

NSA

La posibilidad de conectar los nuevos equipos radio 5G (NR) al Core de red 4G

existente (con mínimas modificaciones) facilita enormemente un rápido despliegue 5G. En este caso, la nueva radio 5G es vista como una extensión de la red 4G existente, sin la cual no puede funcionar (el 5G no puede funcionar *solo*).

Toda la información de control (la que permite a los terminales conectarse, solicitar recursos, moverse, etc...) tiene lugar a través de la red 4G, mientras que la información con los datos útiles para el usuario (e.g. el vídeo que se descarga, la web por la que navega...) llega a la red a través de la nueva radio 5G, con las ventajas que dicha nueva

radio aporta en términos de mayores velocidades y mayor capacidad. Por tanto, para que este tipo de solución funcione de forma efectiva, los terminales deberán ser capaces de estar conectados simultáneamente a 4G (para la información de control y señalización) y a 5G (para los datos). Esto se conoce como *Dual Connectivity*.

Esta arquitectura tiene tres ventajas fundamentales:

1. Hace posible lanzar rápidamente una red 5G, dado que sólo se necesita desplegar la nueva radio allí donde se considere (por ejemplo, en los hot spots de tráfico 4G) y realizar una mínima actualización de la infraestructura Core existente.
2. Permite agregar el *throughput* de 5G y 4G, consiguiendo velocidades de transmisión muy elevadas.
3. La conexión permanente en 4G asegura un servicio de calidad, ya sea mediante VoLTE voz de CSFB. o

Entre sus inconvenientes, vale la pena mencionar los siguientes:

1. No soporta Network Slicing (despliegue de redes virtuales con calidad de servicio diferenciada), al usar el Core 4G existente.
2. No está preparada para soportar servicios de baja / ultra baja latencia (requerirían desarrollos adicionales)
3. Toda la información de control se cursa a través de la red 4G, que puede convertirse en un cuello de botella (a través de ella señalarán los usuarios 4G y los 5G).
4. A efectos prácticos, obliga a utilizar en 5G el mismo proveedor radio que se tenga en 4G, lo que limita las posibilidades y no facilita la competencia.

SA

Para conseguir todos los objetivos marcados para las futuras redes 5G, es necesario desplegar un nuevo Core de red virtualizado que también sea capaz de manejar la información de señalización de los terminales.

Todo ello sin dependencias con las redes existentes. La primera arquitectura especificada que usa este nuevo Core es la llamada *Option 2*. Es lo que se conoce como una arquitectura **Stand Alone (SA)**, donde el 5G puede funcionar sin estar ligado a nivel de acceso con el 4G. Y las especificaciones del estándar que permiten a 5G operar de forma independiente son los que recientemente fueron liberados en el pasado mes de junio (*Release 1 Second Drop*).

La arquitectura *Option 2* lleva consigo la complejidad de introducir un nuevo Core de red móvil, pero a cambio trae consigo varias ventajas:

1. Soporta Network Slicing, ultra baja latencia, etc., preparando la red para la llegada deservicios.
2. Asegura un *offload* de 4G, al funcionar de manera independiente.
3. Por último, pero no menos importante, permite la competencia.

Entre sus inconvenientes, vale la pena mencionar los siguientes:

1. La ya mencionada complejidad de introducir un nuevo Core de red, con el impacto en *Time to market* que esto supone.
2. Un Throughput pico menor que una opción Non-Standalone, al no poder combinar 4G y 5G en acceso.
3. Necesidad de configurar una movilidad hacia 4G que asegure un servicio de voz de calidad, ya sea soportando voz sobre 5G con traspaso a 4G, o redirección de los usuarios a 4G para el establecimiento de llamadas de voz.
- 4.

¿Qué opción escoger?

Debido a las necesidades de algunos operadores y la disponibilidad temprana de una arquitectura Non-Standalone, los primeros despliegues comerciales utilizarán esta solución. Sin embargo, otros operadores han declarado que desplegarán desde el principio 5G con una solución 5G Standalone, para beneficiarse de todas las

funcionalidades de la nueva tecnología.

Los servicios, la disponibilidad de terminales y el empuje del mercado inclinarán la balanza por una u otra opción. En cualquier caso, una arquitectura con un core 5G es el objetivo final.

Beamforming

Las técnicas de conformación de haz (beamforming) se basan en la posibilidad de adaptar electrónicamente y dinámicamente el patrón de cobertura que proporciona una antena. Eso significa que, a diferencia de las antenas de las tecnologías actuales (que presentan un patrón de cobertura fijo, *estático*), con la tecnología 5G será posible ofrecer a los clientes una cobertura y servicio *dinámico*, capaz de ajustarse en buena medida a la posición de los distintos usuarios conectados a la red en cada momento.

La representación gráfica de la cobertura que proporcionan las antenas se denomina habitualmente *diagrama de radiación*, una especie de *fotografía* de cómo es la cobertura proporcionada a los usuarios. En los diagramas de radiación de las antenas existentes nos encontramos un patrón fijo, de forma que la cobertura en una dirección concreta (la intensidad con la que el terminal detecta a la antena) es siempre la misma. Con las nuevas antenas 5G vemos que aparecen distintos haces, más o menos estrechos, que pueden apuntar en diferentes direcciones. En cada momento, la antena puede tener activo uno o varios de dichos haces, en función de la posición que tengan los usuarios que han de ser servidos en cada instante.

El sustrato tecnológico que habilita esta característica de 5G se fundamenta en cómo están construidas las antenas que se van a instalar en los futuros nodos. Dichas antenas estarán constituidas en realidad por un gran número de elementos radiantes independientes (o *miniantenas*) distribuidos en un plano, que pueden actuar de forma individual o completamente coordinada. Y es precisamente coordinando el funcionamiento de todas ellas como se hará posible la definición de una zona de cobertura *ajustable*, adaptable en buena medida a la ubicación física de los distintos usuarios a los que tiene que servir.

Esta conformación, además, se puede modificar dinámicamente de forma muy rápida (tan rápida como que puede variar de un milisegundo a otro), para poder así proporcionar un servicio completamente ajustado a todos los usuarios que se encuentren bajo en área de influencia de dicha antena.

Ventajas en relación con las tecnologías de antena existentes

El disponer de un diagrama de radiación variable, en buena medida ajustable a la distribución de los usuarios, se traduce en ciertas ventajas respecto de los despliegues realizados con las antenas tradicionales, que proporcionan cobertura estática:

- Permite reducir la interferencia que experimentan los terminales móviles, debido a que con 5G los haces que están apuntando a los distintos usuarios son más estrechos, van cambiando en el tiempo y por tanto presentan menos zonas de interferencia entre sí. Sólo algunas señales para ayudar a los terminales a encontrar e identificar la celda 5G se envían sin beamforming, o con un beamforming especial para “barrer” todo el área de cobertura. Así, en un caso ideal, cada terminal 5G recibe sólo la señal de la antena que le está dando servicio (y no la de las demás), y esta menor interferencia se traduce directamente en una mayor velocidad de descarga, con un impacto positivo directo en la experiencia percibida por los clientes.
- La conformación de haz funciona tanto en horizontal como en vertical. De este modo es posible proporcionar una cobertura y un servicio lo más idóneo posible a usuarios ubicados en distintas plantas. A día de hoy, las antenas existentes han de ser “apuntadas” en una dirección concreta tanto en horizontal (lo que se conoce como *azimuth*) como en vertical (que se conoce como *tilt*), con lo cual la cobertura y el nivel de servicio dependen en cierto modo de *cómo de directamente* le esté apuntando a cada usuario la antena que le proporciona servicio.
- Al poder concentrar en un haz muy estrecho toda la potencia que emite la antena, se consigue una mejora relevante de cobertura respecto de la que le correspondería usando antenas sin esta característica. Hay que tener en cuenta que hablamos de una frecuencia relativamente alta (3.4-3.8Ghz, que será la que se usará en el despliegue inicial de 5G), y que por tanto le correspondería una huella de cobertura incluso inferior a la que proporcionan las frecuencias que se usan para proporcionar capacidad en 4G; incluso peor que la proporcionada por la banda de 2.6GHz, la más alta que usamos en esta tecnología. No obstante, y gracias entre otras cosas al beamforming, se calcula que se podrá proporcionar en 5G una cobertura similar a la que se consiguió con el inicio del despliegue de LTE, a pesar de utilizar una frecuencia el doble de alta (dicho despliegue inicial se apoyó sobre todo la banda de 1.8GHz).



Esta obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).