

# Red Móvil 5G: Implementación y Casos de Uso.

UOC

**M<sup>a</sup> Inmaculada Linares Heredia**  
Máster Universitario en Ingeniería de  
Telecomunicación

Área Tecnología de Antenas  
Tutor: Jaume Anguera Pros

Universitat Oberta  
de Catalunya

**19 de Enero de 2023**



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

## **Agradecimientos**

*A mis padres, por haberme dado la oportunidad de estudiar y por su apoyo incondicional.*

*A mi pareja, por sus ánimos, su plena confianza en mí, y por haber estado acompañándome todo el camino.*

*A mi tutor, Jaume A., por su compromiso y consejos durante estos meses de trabajo.*



## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	<i>Red Móvil 5G: Implementación y Casos de Uso.</i>
<b>Nombre del autor:</b>	<i>M<sup>a</sup> Inmaculada Linares Heredia</i>
<b>Nombre del consultor/a:</b>	<i>Jaume Anguera Pros</i>
<b>Nombre del PRA:</b>	<i>Germán Cobo Rodríguez</i>
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	<i>01/2023</i>
<b>Titulación o programa:</b>	Máster Universitario Ingeniería de Telecomunicación.
<b>Área del Trabajo Final:</b>	<i>Tecnología de Antenas</i>
<b>Idioma del trabajo:</b>	<i>Castellano</i>
<b>Palabras clave</b>	<i>5G, Implementación, Casos de Uso.</i>

### Resumen del Trabajo

El continuo aumento de la demanda de tráfico ha supuesto un reto para el sector de las telecomunicaciones durante las últimas décadas. Pero a la constante necesidad de los usuarios de estar cada vez más conectados entre sí, se ha unido la necesidad de estar conectados con el entorno. Esto ha dado lugar al desarrollo de la nueva red de acceso radio 5G (New Radio). Esta tecnología promete mejorar la experiencia de usuario con una menor latencia, una mayor velocidad y conexiones masivas.

En este trabajo se va a realizar un análisis detallado de los fundamentos de esta nueva generación 5G, sus arquitecturas Non Standalone (NSA) y Standalone (SA), el funcionamiento de massive MIMO y la formación de haces, además de las características de las antenas más utilizadas para su desarrollo.

Por último, se explican las distintas fases para la implementación de nuevas celdas 5G y se exponen distintos casos de usos que corroboran la teoría estudiada en este trabajo.

## **Abstract**

The continuous increase in traffic demand has challenged the telecommunications industry over the past decades, and the constant need for users to be increasingly connected to each other has been accompanied by the need to be connected to the environment. This has led to the development of the new 5G (New Radio) radio access network. This technology promises to improve the user experience with lower latency, higher speed and massive connections.

In this paper, a detailed analysis of the fundamentals of this new 5G generation, its Non Standalone (NSA) and Standalone (SA) architectures, the operation of 'massive MIMO' and 'beamforming', as well as the characteristics of the most commonly used antennas for its development will be carried out.

Finally, the different phases for the implementation of new 5G cells are explained and different use cases that corroborate the theory studied in this work are presented.

# Índice

1. Introducción.....	1
1.1. Contexto y justificación del Trabajo.....	1
1.2. Objetivos del Trabajo .....	1
1.3. Enfoque y método seguido.....	2
1.4. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria .....	2
2. Fundamentos 5G .....	5
2.1. Consideraciones generales.....	5
2.2. Despliegue de frecuencias 5G. ....	8
2.2.1. Banda de los 700 MHz (Banda 28).....	8
2.2.2. Banda de los 2100 MHz FDD (Banda 1).....	10
2.2.3. Banda de los 3,5 GHz TDD (Banda 78).....	10
2.2.4. Banda de los 26 GHz (Banda 258).....	13
2.3. Arquitectura 5G .....	14
2.3.1. 5G Non Standalone Option 3x. ....	14
2.3.1.1. Dynamic Spectrum Sharing (DSS). ....	16
2.3.2. 5G Standalone Option 2.....	18
2.4. Antenas.....	19
2.4.1. Antenas pasivas.....	20
2.4.2. Antenas activas.....	23
2.4.2.1. Massive MIMO.....	24
2.4.2.2. Beamforming .....	26
2.4.2.3. Tilt y azimut en las antenas activas. ....	28
3. Diseño e Integración de la banda NR700.....	31
3.1. Diseño hardware radio. ....	31
3.2. Instalación e integración.....	34
3.2.1. Physical Cell Identification, PCI. ....	34
3.2.2. Physical Random Acces Channel, PRACH.....	35
3.2.3. Vecindades .....	35
3.3. Monitorización de KPIs.....	36
3.4. Casos reales. ....	37
3.4.1. Alcance de NR700 en zona urbana vs NR700 en zona rural.....	38
3.4.2. Cómo afectan los distintos valores de tilt a la huella de NR700 y qué KPIs se ven afectados.....	40
3.4.3. Despliegue de todas las frecuencias 5G en un mismo site.....	41
3.4.4. Cómo afecta en número de usuarios y alcance el encendido de NR700 a las celdas NR3500. ....	43
4. Conclusiones y trabajos futuros .....	47
5. Glosario.....	49
6. Bibliografía .....	51

# Lista de figuras

Figura 1. Escenarios de uso del 5G. ....	7
Figura 2. Reparto inicial de frecuencias 5G entre operadores. [4] .....	12
Figura 3. Reparto final de frecuencias 5G entre operadores. [5].....	12
Figura 4. Arquitectura NSA. [7].....	15
Figura 5. Esquema Split Bearer. [7] .....	15
Figura 6. Espectro dinámico para 4G y 5G. [8] .....	16
Figura 7. DSS DL. [8] .....	17
Figura 8. DSS UL. [8] .....	17
Figura 9. Arquitectura SA. [7] .....	19
Figura 10. Ejemplo de antena panel. [11].....	21
Figura 11. Diagramas de una antena. [11].....	21
Figura 12. Ejemplo de antena SLIM [12].....	23
Figura 13. Antena Activa. [13].....	24
Figura 14. MU-MIMO [15].....	25
Figura 15. massive MIMO. [14] .....	26
Figura 16. Comparativa sin y con beamforming. [16].....	27
Figura 17. Funcionamiento beamforming. [17].....	27
Figura 18. Ejemplo de datos para antena activa. [18] .....	29
Figura 19. MIMO en banda baja.....	33
Figura 20. Alcance NR700 zona urbana. ....	38
Figura 21. Alcance NR700 zona rural. ....	39
Figura 22. Cambios en el alcance por TILT .....	40
Figura 23. Comparación de distancias sobre mapa. ....	41
Figura 24. Despliegue NR3500 en Murcia. ....	41
Figura 25. Despliegue NR700 en Murcia. ....	42
Figura 26. Despliegue NR2100 en Murcia .....	42
Figura 27. Alcance NR3500. ....	44
Figura 28. Encendido celda NR700.....	44

# Lista de tablas

Tabla 1. Tabla de frecuencias 5G. ....	8
Tabla 2. Frecuencia 700 MHz. [2] .....	8
Tabla 3. Reparto de la banda 700 MHz entre operadores. [2] .....	9
Tabla 4. Frecuencia 2100 MHz. [2] .....	10
Tabla 5. Reparto de la frecuencia 2100 MHz entre operadores. [2] .....	10
Tabla 6. Frecuencia 3.5 GHz. [2].....	10
Tabla 7. Reparto de frecuencia 3,5 GHz entre operadores.....	13
Tabla 8. Características eléctricas de una antena. [11].....	22
Tabla 9. Leyenda sobre el alcance de las muestras .....	38



# 1. Introducción

## 1.1. Contexto y justificación del Trabajo

Las necesidades de los usuarios de estar cada vez más conectados entre ellos mismos y con el entorno da lugar al crecimiento de la red y con ello a la implementación de la nueva tecnología 5G o New Radio. Se puede decir que esta será la tecnología del internet de las cosas al igual que el 4G supuso el salto definitivo al internet de las personas.

Como se ha referido anteriormente, la tecnología 5G surge de dos necesidades: el aumento de las conexiones de usuario a la red y la comunicación entre dispositivos. Entre otros, las características de esta tecnología, menor latencia y mayor velocidad, dan paso a la realidad aumentada y la inteligencia artificial, impulsan mejoras en la medicina y el desarrollo de ciudades inteligentes.

La red NR es completamente nueva y su desarrollo pasa por convivir los primeros años con su antecesor LTE. Para ello se ha desarrollado la arquitectura Non Standalone, pero no será hasta la llegada de la arquitectura Standalone que se puedan disfrutar de todas las ventajas que promete el 5G.

## 1.2. Objetivos del Trabajo

Los objetivos de este trabajo son:

- Estudiar la nueva tecnología 5G y las características que la diferencian de su tecnología predecesora 4G.
- Analizar las distintas arquitecturas para implantar 5G.
- Investigar los nuevos modelos de antena a utilizar en 5G Standalone: las antenas activas.
- Profundizar en los términos massive MIMO y beamforming.
- Describir cómo diseñar, integrar y monitorizar la implantación de nuevas celdas 5G DSS en la red.
- Comparar distintos casos de usos de celdas NR700 y NR3500.

### 1.3. Enfoque y método seguido

Para realizar este trabajo se ha seguido una metodología de investigación cualitativa.

Inicialmente se ha realizado un estudio de las generaciones anteriores a New Radio y se han investigado cuáles son las características que diferencian al 5G de sus predecesores. También se han repasado cuáles son las necesidades que esta nueva tecnología quiere cubrir y cuáles los casos de usos que se quieren llevar a cabo.

Aunque inicialmente el trabajo finalizaba con un recorrido por las distintas fases de implantación para nuevas celdas NR700 DSS, también se han recopilado distintos casos de usos donde se corrobora lo estudiado sobre la banda NR3500 y NR700.

Una fase del trabajo se ha centrado en la recopilación de información mediante artículos en línea que ofrecen las distintas operadoras (Telefónica, Vodafone, Orange, etc), distribuidores oficiales (Ericsson, Huawei, Nokia) y otras webs, mientras que la segunda se ha basado en analizar los distintos casos que se plantean para corroborar o no la información teórica recopilada.

Una vez finalizadas ambas fases anteriores, se ha procedido a redactar la memoria del trabajo con la información más relevante.

### 1.4. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

La memoria de este trabajo está dividida en cuatro capítulos:

El primer capítulo recoge la introducción del trabajo donde se pone en contexto el mismo, se detalla su justificación y se enumeran los objetivos a alcanzar. Además, se describe la metodología adoptada para su elaboración y la planificación establecida para su desarrollo.

En el segundo capítulo se analiza la nueva tecnología 5G y el nuevo término New Radio. Comienza por los distintos escenarios de uso que introduce la ITU-R, se profundiza en las distintas frecuencias y arquitecturas en las que se puede implantar 5G, y se finaliza haciendo un repaso de los tipos de antenas. En esta última parte, se tratan los términos massive MIMO y beamforming y su importancia para el 5G.

El tercer capítulo se centra en el desarrollo para implantar nuevas celdas 5G, en concreto de la banda 700 MHz, y para ello se hará un repaso de las distintas fases que intervienen: diseño, integración y monitorización de KPIs. También se exponen cuatro casos en los que se analizan los alcances y número de conexiones de distintas celdas NR700 y NR3500 para corroborar la teoría estudiada en el segundo capítulo del trabajo.

Por último, en el cuarto capítulo se tratan las conclusiones tras la realización del trabajo, así como las líneas de estudio futuras.



## 2. Fundamentos 5G

### 2.1. Consideraciones generales.

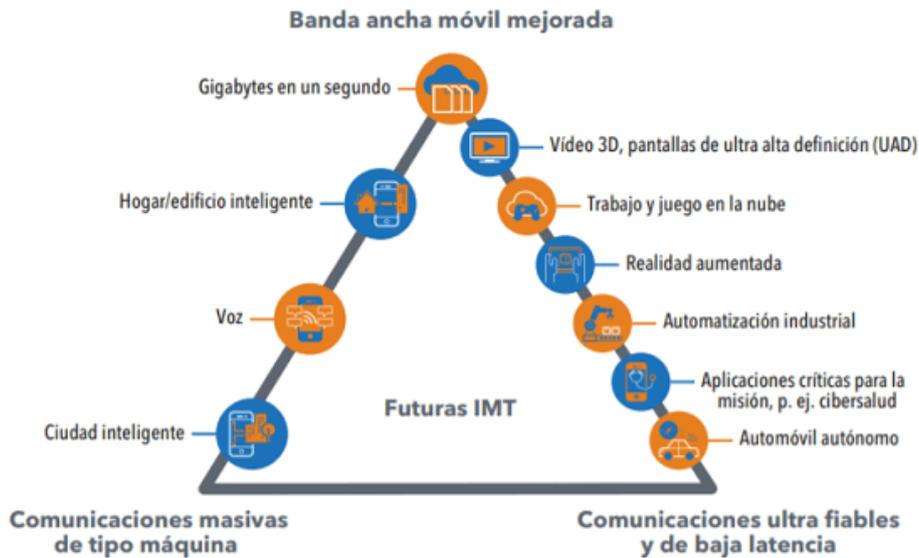
Se da comienzo a este capítulo exponiendo cuáles son las principales ventajas de la tecnología 5G respecto a la generación inmediatamente anterior, el 4G [1]:

- Latencia reducida: La reducción de la latencia o tiempo de respuesta es la principal característica del 5G. Esta pasará de los 50ms de latencia del 4G a alcanzar tan solo 1ms. Este aspecto es muy importante en aplicaciones de tiempo real, donde es necesaria la sensación de inmediatez (control remoto, telemedicina, coches autónomos...).
- Conexiones más rápidas: La velocidad de acceso será uno de los grandes avances. Se podrán alcanzar picos de hasta 20 Gbps, aunque el usuario experimentará velocidades en torno a 500Mbps. Así, los móviles no necesitarán tanta memoria, pudiendo usar la nube como una memoria de acceso rápido cumpliéndose así uno de los objetivos de la tecnología 5G.
- Mayor número de dispositivos conectados: De los cientos de conexiones por celda de la 3G se pasó a miles con la 4G; ahora, con la tecnología 5G, se pasa a cientos de miles de conexiones por kilómetro cuadrado, es decir, se multiplican por 100 el número de dispositivos sin que la red se sature.
- El 5G es una tecnología más eficiente energéticamente, ya que el consumo de los chips provoca un ahorro energético del 90% respecto al 4G. Además, los terminales presentan baterías de hasta 10 años de duración.
- Cobertura en entornos rurales.

La IMT-2020, Telecomunicaciones Móviles Internacionales – 2020, son los requisitos emitidos por el sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R) para el 5G y, gracias a estos, se permite lograr una compatibilidad a nivel mundial, itinerancia internacional y acceso a los servicios en diversos escenarios de uso.

Los distintos escenarios de aplicación a los que se refiere la ITU-R son [1]:

- Enhanced Mobile Broadband (eMBB): Banda ancha móvil mejorada. Es el único de los escenarios que se da en el 5G en la actualidad al tratarse de una fase muy temprana del despliegue. Con este escenario están relacionados los casos que entendemos como una evolución natural de 4G, ya que principalmente se utiliza como mejora de capacidad.
- Massive Machine-Type Communications (mMTC): Comunicaciones masivas tipo máquina. Relacionado con la conexión de más de un millón de dispositivos por km<sup>2</sup> de forma masiva, siempre y cuando el volumen de datos sea reducido y las comunicaciones sean esporádicas. Se verá reflejado, por ejemplo, en las ciudades inteligentes.
- Ultra-Reliable Low-Latency Communication (uRLLC): Comunicaciones ultrafiabiles y de baja latencia. Recoge todo tipo de servicios críticos, como por ejemplo conducción autónoma o ciberseguridad. Este tipo de escenario solo se podrá dar cuando alcancemos una red 5G pura, es decir, una red 5G Stand Alone como se verá en el capítulo 2.3.2.



**Figura 1. Escenarios de uso del 5G [1].**

Una vez vistos los distintos escenarios en los que se va a desarrollar el 5G, se verán cuáles son las claves de la tecnología 5G basándonos en la Release 15 como preámbulo al resto del trabajo:

- Flexibilidad a la hora de elegir el espectro: la tecnología 5G se está desarrollando en banda baja (700 MHz), banda media (3,5 GHz) o banda alta (36GHz). Dependiendo de la banda elegida se obtendrán características distintas, ya que respecto a esta varían, por ejemplo, la longitud de onda (desde cm a mm) y el ancho de banda (10MHz, 80MHz, 100MHz, 800MHz)
- Massive MIMO. Ya nació tecnológicamente con el 4G pero será en 5G cuando comienza a utilizarse debido a la existencia de antenas que soportan el beamforming. Se tratará este punto en el capítulo 242.4.2.1.
- New Radio es la denominación que se otorga a 5G como LTE lo es a 4G. 'New Radio' porque se dispone de nueva radio que flexibiliza, entre otros, la frecuencia, la trama, el formato del slot, la forma de onda (OFDM).

- Multiconectividad, 5G nace con la particularidad de poderse “agregar” al 4G gracias a la arquitectura NonStandalone que permite tener conectividad 4G y 5G en paralelo. Esta particularidad es algo que LTE ha ido ganando con el tiempo, ya que inicialmente nació completamente independiente al 3G.
- Arquitectura flexible y distribuida. Se introduce el término Sidelink (enlaces entre dispositivos) además de Uplink (subida) y Dowlink (bajada). Nace con vocación de ser virtualizada y tener funciones de red virtualizadas de tal modo que en lugar de tener núcleos físicos sean virtuales mediante software.

## 2.2. Despliegue de frecuencias 5G.

Como se ha introducido anteriormente, la tecnología 5G se va a implementar en distintas bandas de frecuencias y el uso de cada una de ellas dependerá, entre otros, de la ubicación y finalidad de cada caso (ver Tabla 1).

Frecuencia	Velocidad máx.	Zona	Alcance	Característica principal
700 MHz – 2100 MHz	100 – 200 Mbps	Rurales	5 – 20 km	Ofrece cobertura.
3.5 GHz	1 – 2 Gbps	Urbanas	0.5 – 5 km	Banda principal.
26 GHz	4 – 5 Gbps	Con alta densidad de personas	100 – 150 m	Ondas milimétricas.

**Tabla 1. Tabla de frecuencias 5G.**

A continuación, se detallan las características de las distintas opciones:

### 2.2.1. Banda de los 700 MHz (Banda 28).

Frecuencias	Ancho	Uso
758-788 MHz	30 MHz	Bajada
703-733 MHz	30 MHz	Subida

**Tabla 2. Frecuencia 700 MHz. [2]**

Actualmente es la banda con mayor despliegue para los distintos operadores de telecomunicaciones y, se está utilizando principalmente en terminales móviles para aumentar la capacidad y mejorar la experiencia de usuario.

La banda 700 puede ser integrada tanto en 4G como 5G y se está desplegando en DSS como se verá en el capítulo 2.3.1.1. Permite una buena penetración de la señal en interiores, cubre mayores distancias y es la banda utilizada para el despliegue en zonas rurales y poblaciones de menor tamaño. Esto último ayuda a la digitalización de las zonas geográficas aisladas donde no había gran despliegue de red y la cobertura fallaba. Además, ofrece a los usuarios una velocidad mínima de 100 Mbps y conexión estable.

Esta banda era utilizada por el servicio de televisión hasta la llegada del Segundo Dividendo Digital por el cual se liberó y adjudicó a los distintos operadores de telefonía.

Los operadores se reparten la banda 28 de la siguiente forma:

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
2x10 MHz	703-713MHz	758-768MHz	Movistar	21/07/2021	20/07/2041
2x10 MHz	713-723MHz	768-778MHz	Vodafone	21/07/2021	20/07/2041
2x10 MHz	723-733MHz	778-788MHz	Orange	21/07/2021	20/07/2041

**Tabla 3. Reparto de la banda 700 MHz entre operadores. [2]**

2.2.2. Banda de los 2100 MHz FDD (Banda 1).

Frecuencias	Ancho	Uso
1920-1980 MHz	60 MHz	Subida
2110-2170 MHz	60 MHz	Bajada

**Tabla 4. Frecuencia 2100 MHz. [2]**

Utilizada anteriormente para 3G y 4G. Se ha desplegado en zonas urbanas y se utiliza en DSS con 4G.

Los operadores se reparten la banda 1 de la siguiente forma:

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
1 x 5 MHz	1900-1905 MHz		Orange	19/04/2000	18/04/2030
1 x 5 MHz	1905-1910 MHz		Vodafone	19/04/2000	18/04/2030
1 x 5 MHz	1910-1915 MHz		Movistar	19/04/2000	18/04/2030
1 x 5 MHz	1915-1920 MHz		Yoigo	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1920-1935 MHz	2110-2125 MHz	Yoigo	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1935-1950 MHz	2125-2140 MHz	Orange	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1950-1965 MHz	2140-2155 MHz	Vodafone	19/04/2000	18/04/2030
2 x 15 MHz	1965-1980 MHz	2155-2170 MHz	Movistar	19/04/2000	18/04/2030

**Tabla 5. Reparto de la frecuencia 2100 MHz entre operadores. [2]**

2.2.3. Banda de los 3,5 GHz TDD (Banda 78).

Frecuencias	Ancho	Uso
3400-3500 MHz	100 MHz	Subida
3500-3600 MHz	100 MHz	Bajada
3600-3800 MHz	200 MHz	Compartida

**Tabla 6. Frecuencia 3.5 GHz. [2]**

Es la principal banda en el despliegue de 5G. Ofrece un significativo aumento de velocidad alcanzándose picos de velocidad de hasta 1Gbps, y permite implementar todas las mejoras del 5G dotando de mucha más capacidad a las redes. Sin embargo, presenta menor penetración en los edificios y menor alcance. Se utiliza en zonas urbanas, principalmente en el centro de grandes ciudades.

La banda de 3,5GHz se considera clave para la tecnología 5G y es la única TDD por lo que puede utilizar hasta anchos de banda de 100 MHz.

En principio, FDD es la estrategia más adecuada para redes móviles. Sin embargo, el motivo para emplear TDD es que permitirá aumentar mucho más la capacidad de la red, no solo proporcionando altas velocidades puntuales, sino además haciéndolo a varios usuarios simultáneamente utilizando massive MIMO, ya que como veremos en el capítulo 2.4.2.1 esta tecnología hace posible transmitir varios flujos de información al mismo tiempo y frecuencia. [3]

Inicialmente, la parte baja de esta banda (3400 – 3600 MHz) fue subastada para el despliegue de tecnologías inalámbricas como LMDS y WiMax. El fracaso de estas redes abocó a que esta parte del espectro quedara en manos de conocidos operadores de telecomunicaciones como MásMóvil, Telefónica y Orange. Como en un inicio esta banda iba a ser utilizada con FDD, las licencias constaban de dos bloques de 20MHz, por lo que cada operador contaba con diferentes cantidades de MHz repartidos en trozos por toda la banda. Más tarde, en 2018, cuando se subastó la parte alta de la banda (3600 – 3800 MHz) el espectro quedó tal que:



Figura 2. Reparto inicial de frecuencias 5G entre operadores. [4]

Este reparto del espectro provocaba que el 5G en esta banda no rindiese como se esperaba, ya que no podía utilizar el ancho de banda máximo soportado de 100 MHz en TDD al no disponer de una parte del espectro de forma continua. Tras un acuerdo privado entre operadores el espectro de la banda 42 ha quedado repartido de la siguiente forma:

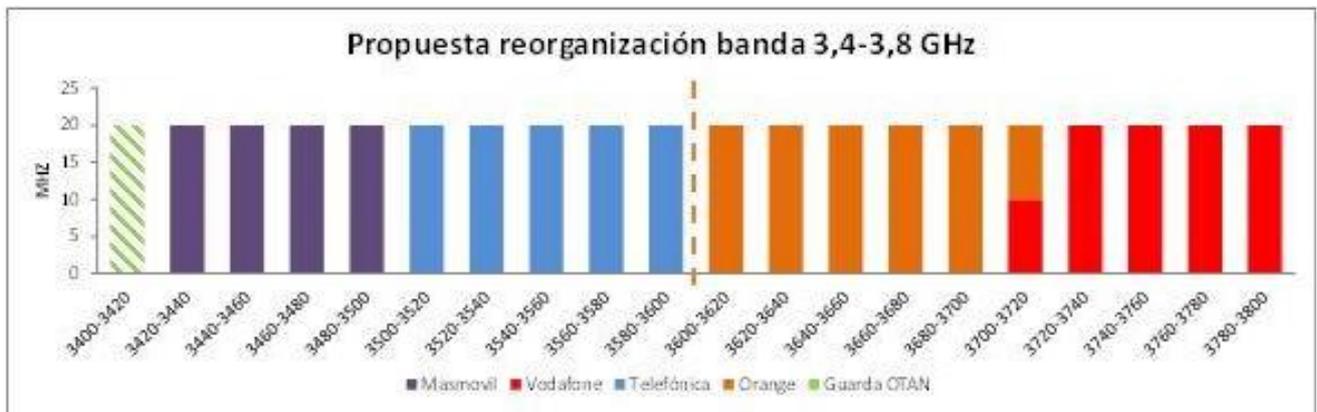


Figura 3. Reparto final de frecuencias 5G entre operadores. [5]

Frecuencias	Operador
3400-3420 / 3500-3520 MHz	Yoigo
3420-3440 / 3520-3540 MHz	Yoigo
3440-3460 / 3540-3560 MHz	Telefónica
3460-3480 / 3560-3580 MHz	Orange
3600-3660 MHz	Orange
3660-3750 MHz	Vodafone
3750-3800 MHz	Movistar

**Tabla 7. Reparto de frecuencia 3,5 GHz entre operadores.**

#### 2.2.4. Banda de los 26 GHz (Banda 258).

Es la primera vez que se va a utilizar una frecuencia tan elevada para comunicaciones móviles. La banda de ondas milimétricas (mmWave) puede aportar una velocidad muy alta (20 Gbps), comparable a la de la FTTH. Sin embargo, su capacidad de penetración en los edificios es muy baja ya que no atraviesa obstáculos y su alcance es muy corto. Por estos motivos, es una banda destinada a cumplir requisitos de calidad y está pensada para desplegarse en lugares que reúna mucha gente como conciertos o eventos deportivos.

En España se ha subastado recientemente, el 22 de diciembre de 2022, y se ha repartido entre los tres grandes operadores de telecomunicaciones: Telefónica, Orange y Vodafone. Mientras que Telefónica ha obtenido 1GHz, Orange y Vodafone se han hecho con 400 MHz cada uno. Se desconoce aún qué frecuencias son las asignadas a cada operador. [6]

## 2.3. Arquitectura 5G

En 5G se presentan dos tipos de arquitecturas por las que podemos optar a la hora de implantar dicha tecnología: Non Standalone (NSA) y Standalone (SA). El primero de ellos se apoya en la infraestructura 4G desplegada, mientras que el segundo trabaja de forma autónoma. 5G NSA es un paso necesario en la transición hacia el 5G SA, por lo que podemos hablar de dos fases en la transición hacia el 5G.

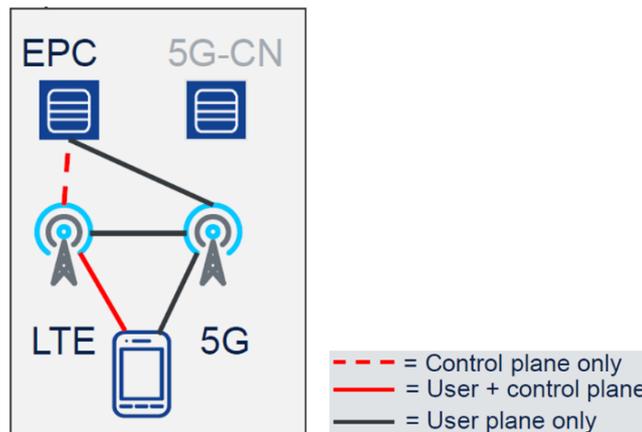
En las especificaciones del 3GPP se han tratado distintas opciones de estas arquitecturas, aunque las adoptadas en la mayoría de los casos son NSA Option 3x y SA Option 2 [7]. A continuación, se tratan detalladamente cada una de ellas.

### 2.3.1. 5G Non Standalone Option 3x.

NSA Option 3x es una de las opciones que se plantean en el 3GPP y permite conectividad dual, EN-DC (E-UTRA New Radio – Dual Connectivity). En esta opción se partirá de una conexión LTE, es decir, se tendrá un nodo LTE conectado a un núcleo LTE (EPC) sobre el que se montará un nodo 5G que también irá conectado al núcleo LTE. Esta arquitectura no tiene un núcleo 5G (5G-CN). Como se puede ver en la Figura 4, se necesita una cobertura 4G que gestione el plano de control entre el núcleo y el terminal, mientras que el plano de usuario viajará desde el núcleo 4G al terminal 5G, o viceversa.

Por tanto, en EN-DC:

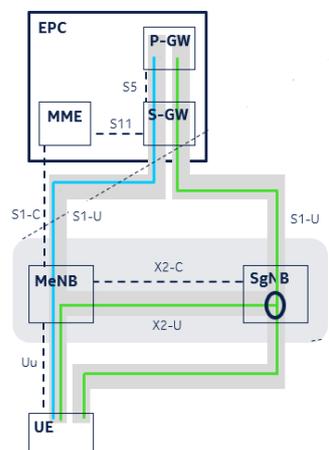
- El eNB asume el rol de máster (MeNB, Master eNB) comunicando señalización y datos.
- El gNB actúa como secundario (SgNB, Secondary gNB) comunicando únicamente datos.



**Figura 4. Arquitectura NSA. [7]**

Además, esta arquitectura NSA Option 3x permite utilizar el concepto de Split Bearer, lo que significa que la comunicación entre el núcleo LTE y el terminal NR se puede realizar por dos caminos: 5G y 4G. Siguiendo la Figura 5, se puede ver que el primero de ellos comienza en el EPC, va hasta el SgNB y finaliza en el terminal móvil. Sin embargo, el segundo camino utiliza también la interfaz 4G al pasar por el MeNB para ir desde el SgNB hasta el UE.

Debido a la funcionalidad Split Bearer se mantienen activas tanto la conectividad LTE como NR. Esto presenta pros y contras: por un lado, se consigue un mayor throughput, pero por otro lado también es necesario un procesamiento muy elevado y un control de flujo exigente para la gestión de esos datos. Además, al necesitar cobertura 4G para el control de la conexión, la cobertura 5G se limita a la que tenga dicho 4G.



**Figura 5. Esquema Split Bearer. [7]**

Como se ha indicado anteriormente, la arquitectura NSA permite el despliegue de 5G basándose en la red existente, lo que ha dado lugar a despliegues muy rápidos por parte de las distintas operadoras de telecomunicaciones, siendo esta la arquitectura que se está usando principalmente.

Este tipo de conectividad permite a los operadores maximizar la infraestructura LTE existente, ahorrando así en costos, a la vez que puede proporcionar velocidades entre 5 y 10 veces superiores al 4G (hasta 2 Gbps en bajada) y una latencia relativamente baja (15 ms).

### 2.3.1.1. Dynamic Spectrum Sharing (DSS).

Para desplegar 5G es necesario disponer de nuevo espectro e infraestructura. Ambos requerimientos ralentizan el despliegue ya que el primero de ellos está congestionado y el segundo es muy costoso, por lo que la industria ha encontrado la manera de utilizar lo ya existente mediante la tecnología Dynamic Spectrum Sharing (DSS).

Esta funcionalidad permite compartir y usar dinámicamente el espectro (ver Figura 6) entre las tecnologías 4G y 5G utilizando las mismas frecuencias portadoras y, por tanto, el mismo hardware de la estación base.

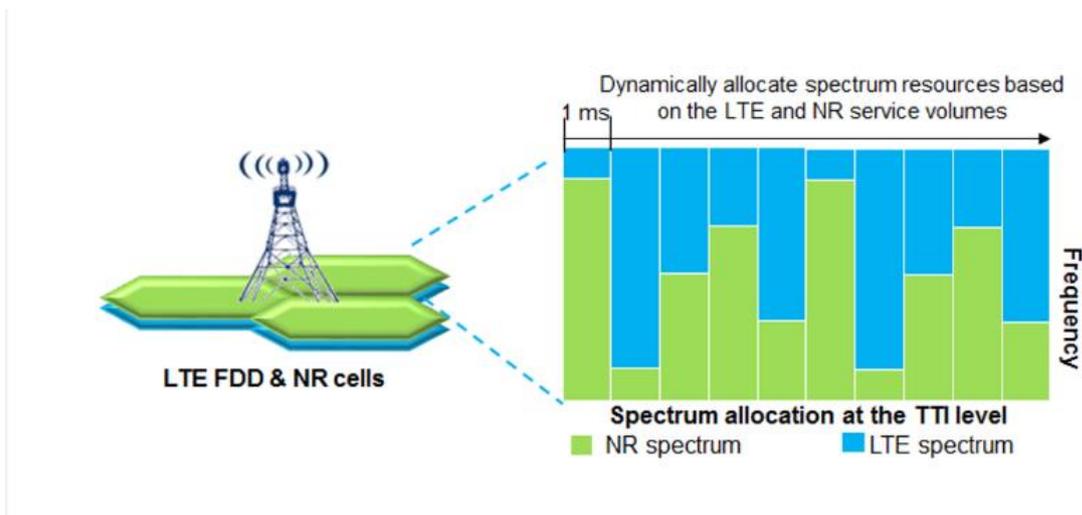


Figura 6. Espectro dinámico para 4G y 5G. [8]

La forma de compartir el espectro en DL y UL es diferente:

- En DL se comparte la trama. Algunos slots serán para 4G mientras que otros se usarán en 5G. Cada cierto tiempo (actualmente se ha alcanzado 1 ms) el sistema radio analiza la demanda y necesidades del usuario para asignar los recursos a 4G y/o 5G dinámicamente, de manera que los usuarios pueden tener acceso a todo el espectro o solo parte de él, sin necesidad de reducir la capacidad de ninguna de las tecnologías si fuese necesario a diferencia de como ocurriría con el refarming, por el cual había que hacer un reparto fijo del espectro [9]. Por tanto, en DL se utiliza la multiplexación por división en el tiempo (TDM).



Figura 7. DSS DL. [8]

- En UL, todos los slots de las tramas son LTE y NR pero se comparte en frecuencia, es decir, se realiza multiplexación en frecuencia FDM. Habitualmente los PRBs más bajos se asignan a NR.

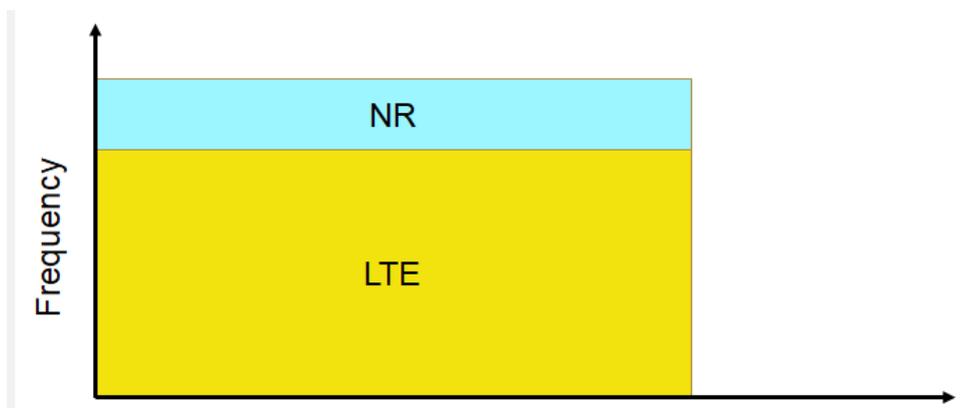


Figura 8. DSS UL. [8]

Una de las desventajas de esta funcionalidad es la disminución en la velocidad máxima que es posible alcanzar ya que esta depende directamente del espectro disponible. También se verá afectada la latencia, que no alcanzará el 1ms que promete el 5G.

DSS se activa en bandas FDD como son la de 2100 MHz y 700 MHz. La primera ya existente tanto para 3G como para 4G. Para la segunda, las operadoras van a utilizar el hardware existente en las estaciones bases para desplegar en paralelo las tecnologías 4G y 5G y así poder hacer uso de DSS para crecer más rápido.

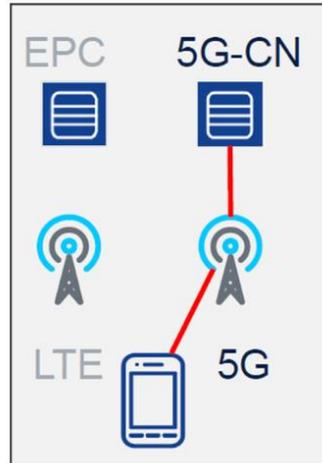
Como se ha indicado anteriormente, DSS se puede implementar como una actualización de software para las radios LTE existentes, por lo que permite a las operadoras iniciar la implementación de 5G sin una inversión significativa ya que utiliza la infraestructura 4G ya existente. En resumen, como este 5G se despliega sobre infraestructura 4G, se está hablando de una configuración NSA.

En definitiva, DSS permite compartir el ancho de banda 4G/5G, reusar el espectro, las antenas y el módulo de RF. Solo sería necesario actualizar el software.

### 2.3.2. 5G Standalone Option 2.

Funciona al completo con equipos 5G combinando radios 5G con una red central 5G. Esto permite alcanzar velocidades 10 veces superiores al 5G NSA (20 Gbps de bajada).

Este tipo de arquitectura presenta un núcleo 5G (5G-CN) y un nodo 5G conectado en exclusiva al terminal.



**Figura 9. Arquitectura SA. [7]**

Para disponer de una arquitectura SA, los operadores necesitan invertir en un núcleo 5G con elementos de red virtualizados y físicos, al igual que es necesario disponer de tener terminales que soporten dicha tecnología.

Existen terminales móviles, smartphones, que soportan SA, pero en la actualidad ¿es necesaria la inversión en esta arquitectura para poder dar únicamente cobertura a estos dispositivos? Es por ello por lo que las operadoras de telecomunicaciones han considerado más oportuno continuar utilizando NSA para estas situaciones e, invertir en SA cuando lleguen los casos de usos que utilicen terminales M2M, de ultra baja latencia, dispositivos sensibles al tiempo, etc.

## 2.4. Antenas.

Para la implantación de las distintas arquitecturas 5G se utilizarán dos tipos de antenas: pasivas y activas. A continuación, se desarrollarán las distintas características y las frecuencias que se implementan en cada una de ellas. Además, se mostrarán los modelos más utilizados actualmente en el mercado.

#### 2.4.1. Antenas pasivas.

La antena pasiva es un elemento de radiación compuesto únicamente por componentes pasivos. [10]

Las operadoras de telecomunicaciones continuarán utilizando los modelos de antenas ya existentes para las bandas de 700 MHz y 2100 MHz. Estas antenas pasivas permiten tan solo el MIMO 4x4 y no realizan beamforming, por lo que con ellas no se alcanzarán los targets que marca el 5G.

En el mercado se pueden encontrar distintos modelos de antenas pasivas pero las más instaladas son las antenas panel o las antenas SLIM. A continuación, se desarrollan algunos detalles:

**Antenas panel:** disponen de arrays para las bandas bajas (Low Band, LB) y para las bandas altas (High Band, HB). Se utiliza una para cada sector de forma independiente. Existen antenas de distintos fabricantes, pero los más utilizados actualmente son, entre otros, Huawei, Commscope o Amphenol.

Las antenas más implantadas son aquellas con 2 arrays para bandas bajas y 2 arrays para bandas altas (2L4H), tienen dimensiones de 270 cm de altura, 50 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Es el caso del modelo Huawei ASI4518R36v06. También encontramos antenas con distintas configuraciones y tamaños como, por ejemplo, la AQU4518R36v06 con 2L2H que mide 2m de altura y podemos ver en la Figura 10.

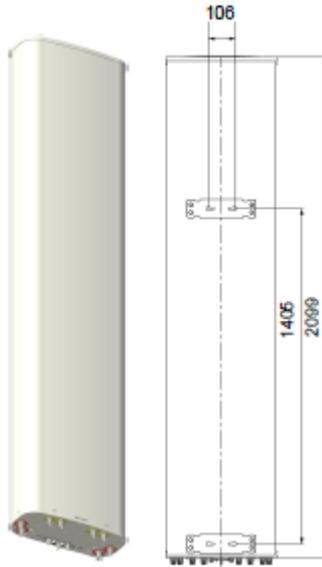


Figura 10. Ejemplo de antena panel. [11]

En los datasheets de estas antenas se puede encontrar distinta información, como las propiedades eléctricas y mecánicas, diagramas de conexión o diagramas de directividad. Tomando como ejemplo la antena nombrada anteriormente, AQU4518R36v06, se ha recogido en la Tabla 8 la información eléctrica más relevante, mientras que en la Figura 11 se pueden observar los diagramas de conexión.

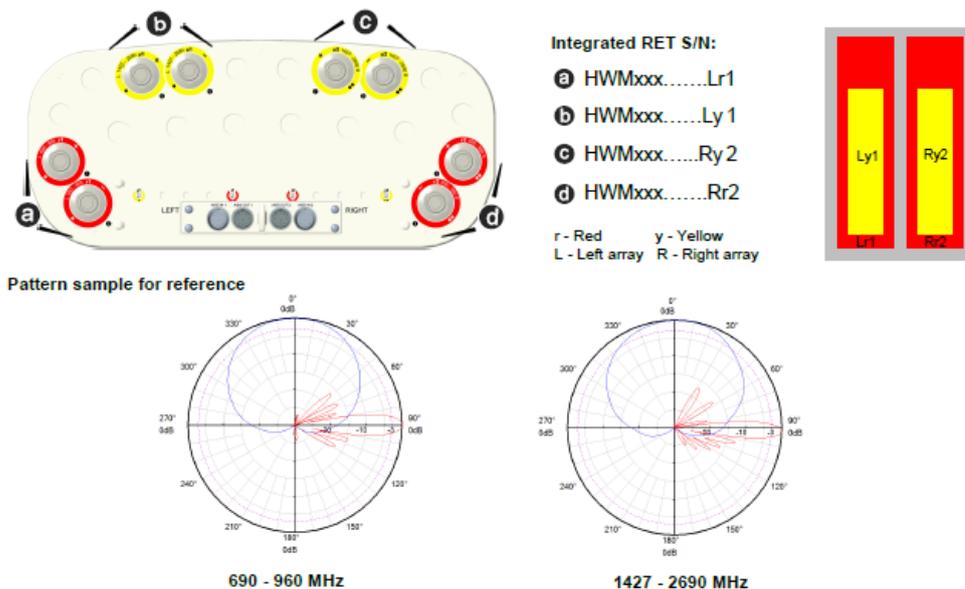
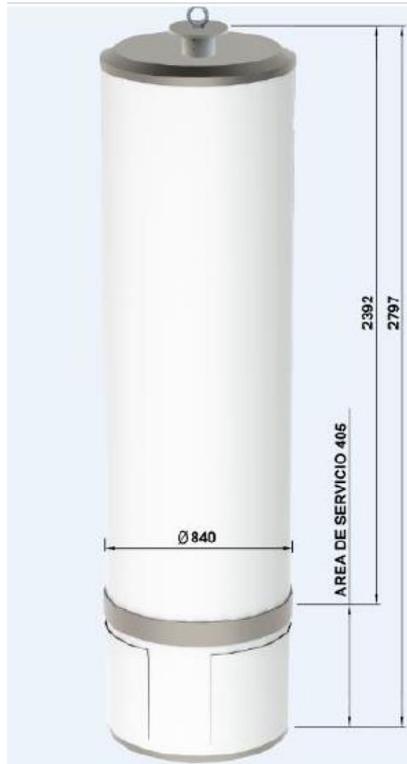


Figura 11. Diagramas de una antena. [11]

Electrical Properties										
2 x (690 - 960) (Lr1/Rr2)					2 x (1427 - 2690) (Ly1/Ry2)					
Frequency range (MHz)	690 - 803	790 - 862	824 - 894	880 - 960	1427-1518	1695 - 1990	1920 - 2200	2200 - 2490	2490 - 2690	
						-	-	-	-	
Polarization	+45°, -45°									
Electrical downtilt (°)	0 - 10 , continuously adjustable, each band				separately 2 - 12, continuously adjustable, each band separately					
Gain (dBi)	at mid Tilt	14.8	15.1	15.4	15.7	15.7	16.9	17.1	17.3	17.5
	over all Tilts	14.7 ± 0.5	15.0 ± 0.5	15.3 ± 0.5	15.5 ± 0.5	15.6 ± 0.6	16.8 ± 0.5	17.0 ± 0.5	17.2 ± 0.5	17.4 ± 0.5
Horizontal 3dB beam width (°)		68 ± 6	66 ± 6	65 ± 6	64 ± 6	70 ± 7	68 ± 6	66 ± 6	63 ± 6	58 ± 6
		6	6	6	6	7	6	6	6	6
Vertical 3dB beam width (°)		10.7 ± 0.8	9.7 ± 0.5	9.3 ± 0.5	8.6 ± 0.5	8.9 ± 0.5	7.1 ± 0.6	6.3 ± 0.6	5.5 ± 0.5	5.1 ± 0.4
Total power (W)	900 (at 50°C ambient temperature)									
Intermodulation IM3 (dBc)	≤ -153 (2 x 43 dBm carrier)									
Impedance (Ω)	50									

Tabla 8. Características eléctricas de una antena. [11]

**Antenas Slim:** son aquellas que disponen de 3 antenas de panel integradas en un cuerpo cilíndrico conocido como mimetizado. Se utilizan en espacios donde quiere ocultarse o disimular la existencia de antenas, ya que pueden parecer chimeneas o salidas de aire de los edificios. Moyano es uno de los principales fabricantes de este tipo de antena y en la Figura 12 se puede observar un modelo muy utilizado 'MY-ROCKET-H308-AQU4518R36-M 10° ready for 5G'. Una de las principales particularidades de este tipo de mimetizado es que las antenas se encuentran fijadas, separadas por un azimuth de 120° aunque con un giro variable en 10°.



**Figura 12. Ejemplo de antena SLIM [12]**

#### 2.4.2. Antenas activas.

El hardware actual no está diseñado para funcionar en todas las frecuencias en las que se ha desplegado el 5G, como por ejemplo la banda 3500 MHz. Para esta se emplearán antenas activas que se instalarán en los emplazamientos ya existentes.

Se detallan a continuación algunas características principales de las antenas pasivas, que además las diferencian de las anteriores nombradas antenas pasivas:

- Se tratan de una unidad de radio integrada con la antena.
- Gracias al punto anterior, no existen pérdidas por coaxiales y/o conectores, ya que la antena se conecta directamente con la BBU mediante FO.

- Requieren menos espacio para su instalación.
- Realizan funciones de amplificación, conversión digital-analógico, filtrado de señales y multiplexación.
- Destaca su modo transmisión/recepción de 64T64R para realizar mMIMO y posibilitar la formación de haces como veremos más adelante.

Aunque existen distintos modelos de antenas en el mercado, algunos ejemplos de estos son la AIR6488 del fabricante Ericsson, o la AAU5639w de Huawei (Figura 13). Ambas se utilizan en el despliegue 5G que se está realizando actualmente.



**Figura 13. Antena Activa. [13]**

#### 2.4.2.1. Massive MIMO

La tecnología Massive MIMO, también conocida como mMIMO, es una de las principales características del 5G ya que permite multiplicar conexiones inalámbricas sin requerir más espectro al aumentar el número de antenas en transmisor y receptor. El espectro de frecuencias es un recurso limitado, por ello la importancia del uso de esta tecnología.

mMIMO es un conjunto de múltiples elementos de antenas que se integran en un sistema en forma de matriz y que se utiliza para transmitir varios flujos de datos. Gracias a esto, se pueden aprovechar varios modos de propagación para enviar más datos con mayor confiabilidad, se logra una mayor eficiencia espectral (10 veces mejor que 4G) y una mejor cobertura, además de minimizarse la interferencia.

Existen dos tipos de MIMO, SU-MIMO en el que los distintos haces se orientan hacia un único usuario, y el MU-MIMO donde los distintos haces se enfocan a distintos usuarios. Este último es el que se implementa en mMIMO. [14]

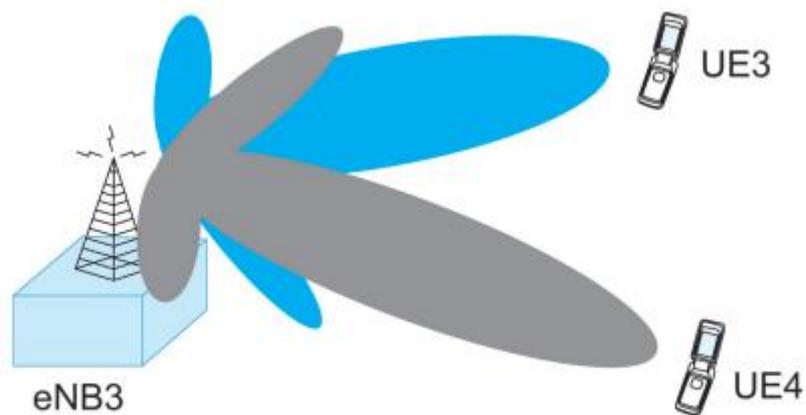


Figure 6.9-4 (b). Beamforming for cell capacity improvement using MU-MIMO

**Figura 14. MU-MIMO [15]**

mMIMO es una extensión del MIMO tradicional que surgió con las redes LTE. MIMO utiliza 2T2R para sus bandas bajas y 4T4R para sus bandas altas mientras que en NR se alcanza el 64T64R (Figura 15).

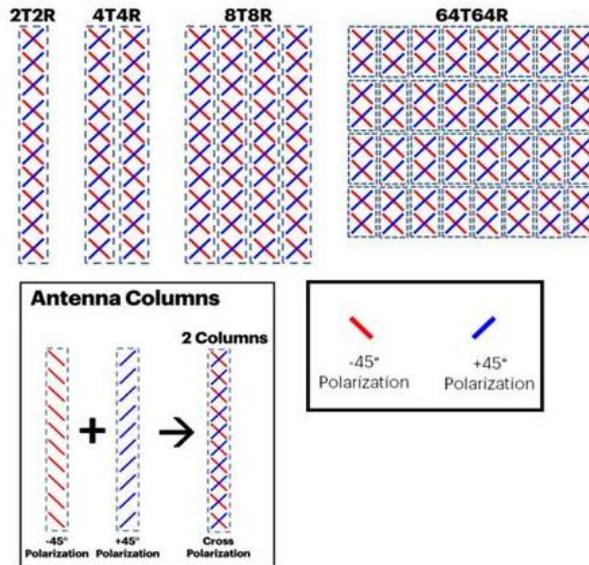


Figura 15. massive MIMO. [14]

El término 64T64R se refiere a que el sistema dispone de 64 elementos de antena para transmisión y 64 para recepción. Un total de 128 elementos que crean un patrón de antena que permite la formación de haz tanto vertical como horizontal y que se va a tratar en el próximo punto. [14]

#### 2.4.2.2. Beamforming

El término 'Beamforming' se traduce al español como 'formación de haces', y se trata de un sistema de tratamiento de señales que permite generar haces más estrechos y direccionales, de forma que será posible orientar cada uno de ellos hacia el punto donde se encuentra el usuario tal y como se observa en la Figura 16.

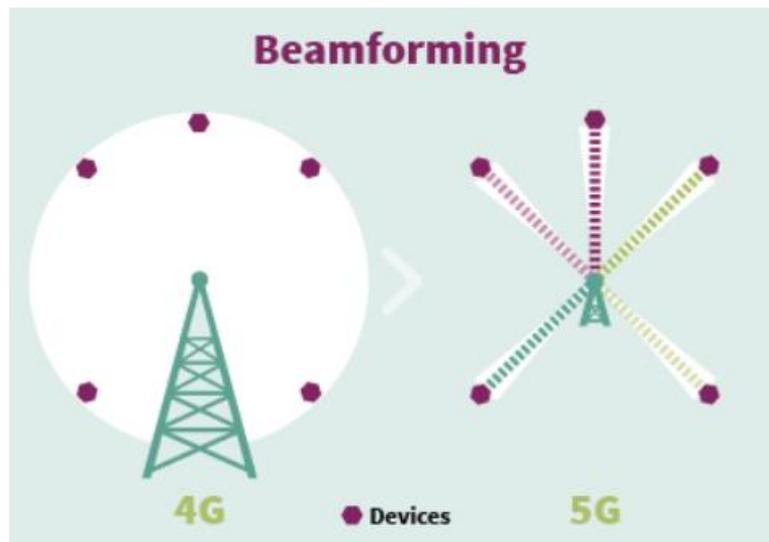


Figura 16. Comparativa sin y con beamforming. [16]

En lugar de radiar todos los elementos de antena con la misma señal obteniendo así un frente de onda perpendicular al panel de antena, se realizan modificaciones de amplitud y fase mediante los denominados 'Pesos Beamforming' en cada una de las señales que llega a los elementos, creándose de esta forma se un frente de onda que va cambiando de dirección.

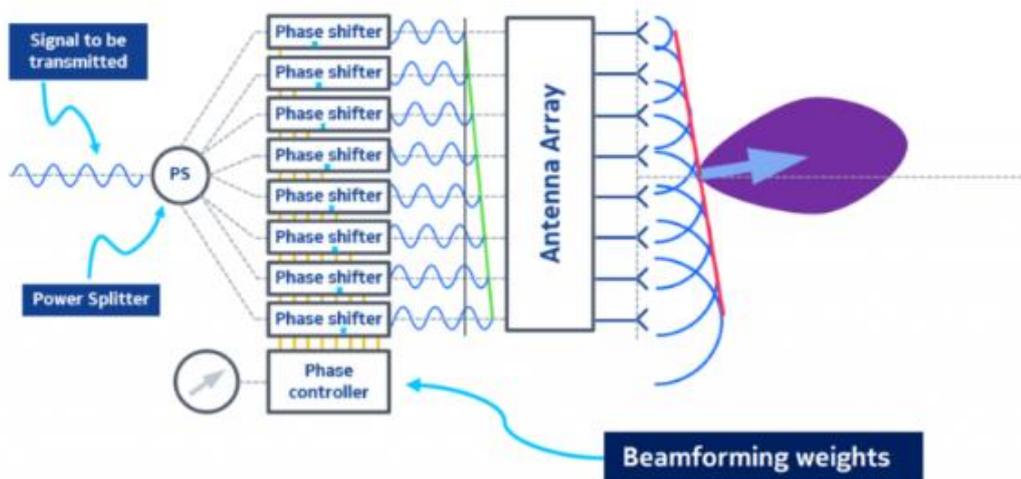


Figura 17. Funcionamiento beamforming. [17]

El beamforming se realiza de forma diferente dependiendo de si nos encontramos en frecuencias altas (por encima de 6GHz) o en frecuencias bajas

(por debajo de 6GHz). En el primer caso se realiza un beamforming analógico, mientras que en el segundo será digital.

Si el beamforming es analógico, la modificación de los pesos se realiza modificando la señal RF, mientras que, si el beamforming es digital, los cambios de amplitud y fase se realizan en la señal digital.

También, se puede distinguir entre tipos de beamforming dependiendo de la capacidad para orientar un haz hacia el terminal: Eigenbeamforming y Grid of Beams. Con la primera tecnología es posible generar un haz directivo hacia donde se encuentra el usuario, mientras que con la segunda tan solo obtenemos una aproximación. [17]

Para finalizar, gracias al beamforming obtenemos mayores ganancias de cobertura, se puede dar cobertura a un mayor número de usuarios simultáneamente y además reducimos las interferencias.

#### 2.4.2.3. Tilt y azimut en las antenas activas.

Por un lado, el tilt representa la inclinación de la antena respecto al eje horizontal. Las antenas pasivas utilizadas para el 4G y las anteriores generaciones permiten el conocido tilt mecánico y tilt eléctrico. A continuación, se va a estudiar qué tipos de tilt se pueden aplicar a las antenas activas que se utilizan en 5G.

El tilt mecánico es la inclinación con la que se instala una antena. Este es posible aplicarlo a las antenas activas, ya que solo requiere inclinarla físicamente. La inclinación eléctrica que se realiza mediante el RET (Remote Electrical Tilt) no es posible utilizarla en las antenas activas. Sin embargo, sí es posible variar el tilt en remoto para las antenas activas y surge el término de 'tilt digital':

- Las antenas activas tienen definido un tilt por defecto que puede ser, por ejemplo,  $0^\circ$ ,  $6^\circ$ , etc...y es necesario conocerlo para optimizar correctamente la zona a cubrir.

- Beamset: en digital tenemos agrupaciones de 8beams, por lo que podemos utilizar diferentes distribuciones: 2 filas de 4 beams, 1 fila de 8 beams, 2 filas de 3 beams y una de 2, etc.. a mayor número de filas mayor capacidad de aumentar el tilt se tiene.
- Offset: para cambiar la dirección del haz mediante los pesos.
- Potencia del canal SSB para aumentar o reducir cobertura.

Por otro lado, el azimut es el ángulo que forma la antena respecto al Norte y también es conocido como la orientación de esta. En las antenas activas este parámetro también se puede configurar en remoto a diferencia de las antenas pasivas.

En la Figura 18 se observan los rangos de valores que pueden configurarse para un ejemplo de antena activa, en concreto el modelo AAU5639w para una frecuencia de 3500 MHz.

Item	Specifications
<b>Frequency Range (MHz)</b>	<b>3400 to 3600/3420 to 3600</b>
Polarization mode (°)	+45 and -45
NR TDD gain (dBi)	25
NR TDD horizontal beam sweeping range (°)	-60 to +60
NR TDD vertical beam sweeping range (°)	-15 to +15

**Figura 18. Ejemplo de datos para antena activa. [18]**



### 3. Diseño e Integración de la banda NR700.

La banda de 700 MHz, o banda 28, se está implementando en zonas rurales y zonas urbanas. Por un lado, al tratarse de una banda de frecuencia baja y como consecuencia tener una buena propagación de señal, es útil en zonas rurales o carreteras donde existen grandes zonas de cobertura. Por otro lado, se utiliza en zonas urbanas para dotar de cobertura los interiores de los edificios donde la banda 3,5GHz no penetra. Dicha banda se despliega en zonas urbanas para servicios que requieren altas velocidades de transmisión, pero su alcance es menor y atraviesa peor los obstáculos, algo que sí es posible con la banda 28. Es por ello por lo que la banda 700MHz y 3,5GHz se han convertido en tándem perfecto. [19]

Las operadoras de telecomunicaciones disponen de emplazamientos (también conocidos como sites o estaciones bases) en los cuales se encuentran las torres o mástiles con antenas y demás hardware necesario para dotar de cobertura la zona en la que se ubican. Estos emplazamientos son habitualmente azoteas donde se instalan mástiles para las antenas, o zonas de terreno (preferiblemente elevadas) donde se encuentran torres de telecomunicaciones.

Una vez decidido qué zona se necesita dotar de cobertura NR 700MHz y en qué emplazamiento se van a ubicar todos los equipos necesarios comienza la fase de diseño hardware, siguiéndole la integración y posterior fase de calidad. A continuación, se va a desarrollar con más detalles cada una de ellas.

#### 3.1. Diseño hardware radio.

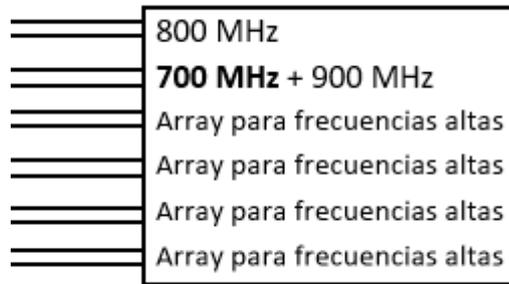
Previo al diseño hardware es necesario realizar un replanteo del site, tanto si este será nuevo o si ya existen otras tecnologías en el lugar, para conocer así de qué elementos se disponen y cuáles se necesitan sustituir para realizar el diseño. Este replanteo y posterior diseño incluye datos radios, datos

de infraestructura y transmisión. Aunque este trabajo se centrará en el diseño hardware radio, dentro de los datos de infraestructuras se encuentran datos como el número de baterías necesarias, cálculos de consumo y equipos de fuerza, acometidas, equipos de ventilación, datos básicos de PRL para un posterior estudio, etc; y, dentro de los datos de transmisión se encuentran, por ejemplo, la antena parabólica y sus características o el equipo necesario para su funcionamiento.

Una vez realizado el replanteo, continúa el proceso con el diseño radio hardware y, para él se van a utilizar equipos Single RAN. Estos equipos son los actualmente instalados en los emplazamientos y, hasta ahora, soportaban de forma conjunta las tecnologías 2G, 3G y 4G, a lo que se le suman las bandas 5G NSA.

En dicho diseño hardware deben aparecer datos como:

- Tipo de instalación. Es decir, torre o azotea de edificio. Esto será determinante a la hora de elegir el resto del hardware y su ubicación.
- Número de sectores. Depende de las zonas a las que se precisa dotar de cobertura. Por lo general suelen ser 3.
- Antenas. Si hubiese antenas en el site, estas deberían cubrir la frecuencia a implantar. En este caso la banda 700MHz. Como se trata de desplegar una banda de baja frecuencia, la antena a utilizar será un modelo pasivo como vimos en el capítulo 2.4.1. Además, dicha antena deberá disponer de 2 arrays de banda baja: uno para la frecuencia 800 MHz y otro para 700 MHz. Esto debe ser así para que ambas puedan realizar MIMO 2T2R como se puede ver en la Figura 19.



**Figura 19. MIMO en banda baja.**

- RRU, Unidad de Radio Remota. Este elemento de RF se utiliza para transmitir y recibir, realizar modulaciones y amplificar las señales. Al igual que ocurre con la antena, el diseño debe contemplar que el modelo de RRU a utilizar soporte la banda 700 MHz.
  - Tiradas de coaxiales y Fibra Óptica. La conexión entre la antena y la RRU se realiza mediante coaxiales que aportan pérdidas, por lo que es necesario instalar la RRU en el lugar adecuado siguiendo las normativas de cada operador. Algunas de las opciones son en mástil detrás o debajo de las antenas, en soportes en el suelo o anclados a pared. La Fibra Óptica es utilizada para conectar la RRU con la BBU, elemento que describiremos a continuación.  
 En las redes 5G NSA no existen pérdidas por coaxiales ya que la antena y la RRU se encuentran integradas.
  - BBU, Unidad de Banda Base. Se trata de un dispositivo que se emplea para procesar señales de banda base. Entre otros elementos, consta de un procesador de señales digitales que se emplea para convertir señales digitales-analógicas. La RAN tradicional está formada por una (o más en caso de ser necesarias) BBU conectada a las distintas RRUs del emplazamiento y ubicada cerca de ellas.
- [20]

Una vez finalizado el diseño, este debe plasmarse en un documento donde se recojan todos los detalles en planos con vista alzada y planta, diferenciando

además las modificaciones que se van a realizar respecto al estado actual del emplazamiento. Entre otros, este documento debe recoger modelos y ubicación de los elementos, recorrido del cableado, un esquema unifilar del sistema radiante, tilts y los datos del emplazamiento, ya que es necesario para que la posterior instalación se realice de acuerdo con el diseño establecido.

## 3.2. Instalación e integración.

Una vez se dispone del diseño radio hardware, se realizan en paralelo la instalación e integración de la nueva tecnología NR700. Mientras que la instalación se tiene que realizar in situ en el emplazamiento, la integración se realiza en remoto ya que el control y diseño de los equipos se realiza mediante software.

Dicha parametrización para la banda 28 podemos dividirla en tres ficheros:

- Parametrización 5G.
- Parametrización DSS.
- Vecinas.

A continuación, se detallan aquellos parámetros destacables que hay que determinar para cada integración que se realice. El resto de los parámetros necesario se integrarán respecto a la normativa que cada operador establezca.

### 3.2.1. Physical Cell Identification, PCI.

Cada celda radio tiene una identificación de celda física o PCI. Esta debe ser única en su entorno ya que en caso contrario podría afectar a la sincronización, demodulación o señalización, degradando así la red. [21]

En 5G se disponen de 1008 PCI únicos, mientras que en LTE tan solo existen 504, por lo que la planificación y asignación de estos se simplifica. Se calculan mediante la Ecuación 1:

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$$

**Ecuación 1. Cálculo de PCI.**

donde:

$N_{ID}^{(1)}$  = Señal de sincronización secundaria (SSS) con rango de {0,1 ... 335}

$N_{ID}^{(2)}$  = Señal de sincronización primaria (PSS) con rango de {0,1,2}

**3.2.2. Physical Random Acces Channel, PRACH.**

Es un canal uplink de acceso aleatorio al sistema. Cuando un terminal quiere conectarse a la red 5G envía un identificador mediante este canal para sincronizarse e iniciar un acceso.

El PRACH puede formularse mediante dos formatos según la frecuencia que estemos utilizando [22]:

- Formato largo con longitud de secuencia 839 y para frecuencias inferiores a 6 GHz. Este tipo de formato necesita de una mayor duración de la transmisión uplink (al menos 1ms) y puede soportar tamaños de celdas de hasta 100km.
- Formato corto con longitud de secuencia 139 y para frecuencias superiores a 6 GHz. Este formato solo necesita que el canal de transmisión tenga una duración de 0.5ms, sin embargo, solo alcanza 10km de tamaño de celda.

**3.2.3. Vecindades**

Es posible asignar vecinos a las distintas celdas de forma manual o automática. Al realizar la integración se introducen de forma manual las vecinas más cercanas (en torno a 2km), mientras que a lo largo de la vida de la celda

esta va añadiendo vecinas según su necesidad de forma automática mediante el ANR.

El procedimiento manual mediante software para añadir vecinas comienza definiendo la frecuencia, continúa definiendo la posibilidad de relación entre frecuencias y, por último, la relación de vecindad entre celdas.

Las celdas 5G añaden vecinas tanto NR como de LTE y la relación entre ambas puede ser [23]:

- NR – NR: una celda NR puede tener a otra NR como vecina intra-frecuencia, es decir, de la misma frecuencia; o como vecina inter-frecuencia, es decir, de distinta frecuencia.
- NR – LTE: una celda LTE puede ser vecina inter RAT de una celda 5G.

### 3.3. Monitorización de KPIs.

Una vez se ha realizado la integración y posterior encendido de las nuevas celdas, es necesario monitorizar y optimizar la red. Para ello se utilizan KPIs (Key Performance Indicator) y entre los más destacados se encuentran:

- DCR Data: contempla el número de conexiones de datos que han resultado fallidas tras una conexión. Habitualmente se mide en %.
- CSSR Data: describe el índice de éxito que tiene una conexión de datos para acceder a una celda NR. Habitualmente se mide en %.
- Throughput DL/UL: calcula el rendimiento descendente/ascendente de la celda. Se mide en Kbit/s.

- NR Splitt: este KPI está relacionado con la funcionalidad Split Bearer que se definió en el capítulo 5G Non Standalone Option 3x.. Refleja qué cantidad de conexiones se han realizado por el camino 5G respecto al total.
- Disponibilidad: este KPI mide el tiempo que la celda ha estado disponible durante el tiempo monitorizado y la unidad utilizada es %.
- RSSI: nivel de ruido que presenta la celda, ya sea por interferencia externa o PIM.
- HO Inter/Intra Sg-NB: calcula cuántos trasposos entre celdas Sg-NB se han realizado de forma exitosa. Se representa mediante %.

### 3.4. Casos reales.

En esta parte del trabajo se van a exponer distintos casos reales donde se han integrados distintas frecuencias 5G. La principal finalidad es observar su comportamiento en cuanto a alcance y número de conexiones en distintas situaciones y zonas.

Para realizar este estudio se ha utilizado la web 'AntenasMoviles' [24] donde se recogen todos los emplazamientos y las bandas integradas en cada uno de ellos existentes en España para las operadoras de telecomunicaciones Vodafone, Orange, Yoigo y Movistar.

También se han realizado gráficas con datos de conexiones en un tiempo determinado. El eje X representa el tiempo, el eje Y el número de muestras y cada color representa una distancia alcanzada (). Por ejemplo, en la Figura 20, tenemos de media 1000 muestras por día en la 2, lo que significa que la celda representada en esta figura ha recibido 1000 conexiones que terminales que se encontraban entre 150m y 650m.

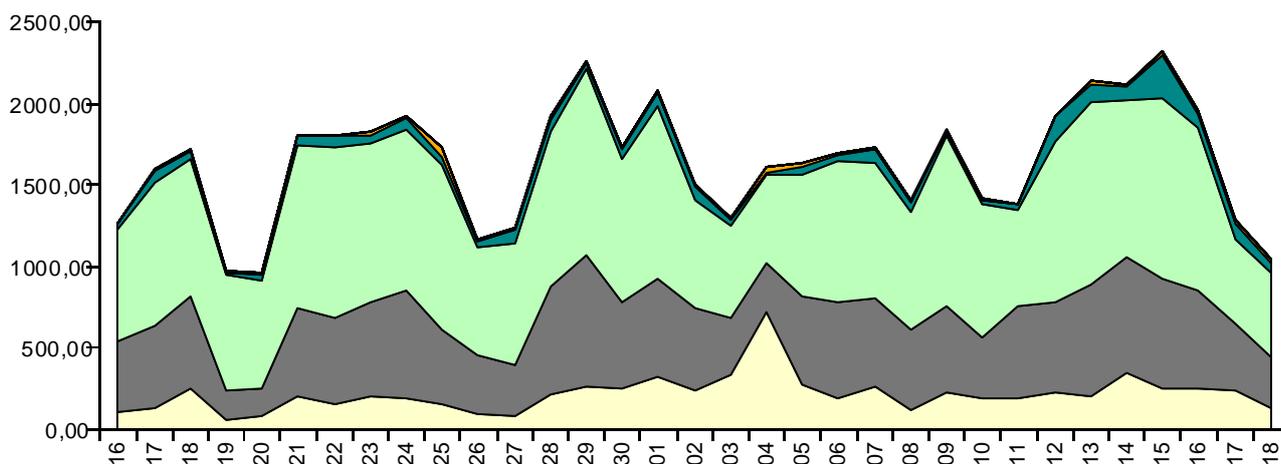
Nº de zona	Color	Distancia
0	Amarelo	0m - 50m
1	Grigio	50m - 150m
2	Verde claro	150m - 650m
3	Cian	650m - 800m
4	Naranja	800m - 1km
5	Azul	1km - 3km
6	Verde oscuro	3km - 6km
7	Marrón	6km - 9km

**Tabla 9. Leyenda sobre el alcance de las muestras**

### 3.4.1. Alcance de NR700 en zona urbana vs NR700 en zona rural.

En este primer caso de estudio, se va a comparar el alcance y número de muestras de una celda NR700 en una zona urbana frente a una zona rural.

Por un lado, en la Figura 20 se refleja el alcance de una celda NR700 ubicada en un entorno urbano, concretamente en el centro de la ciudad de Málaga. Se observa que presenta unas 2000 muestras de media al día y que alcanza los 650m.



**Figura 20. Alcance NR700 zona urbana.**

Por otro lado, en la Figura 21 se refleja el alcance de una celda NR700 en zona rural. El número de muestras es aproximadamente 400 por días y se encuentran repartidas por las distintas zonas de alcance.

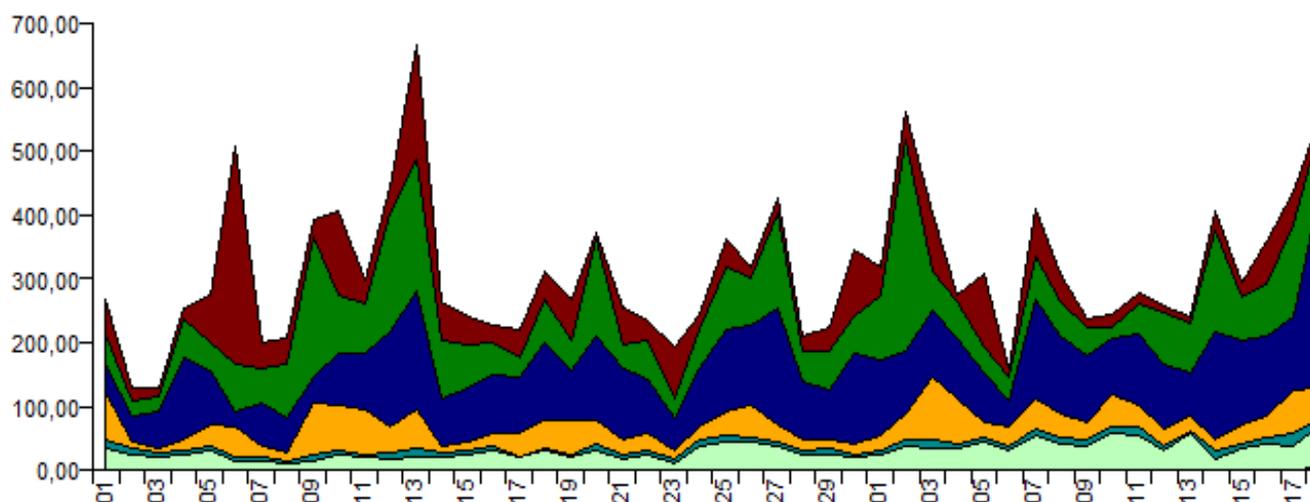


Figura 21. Alcance NR700 zona rural.

Si se comparan ambos casos, se observa que en ciudad el alcance es más reducido aunque concentra un número más elevado de muestras frente al caso rural donde el alcance es mayor pero tenemos menos conexiones.

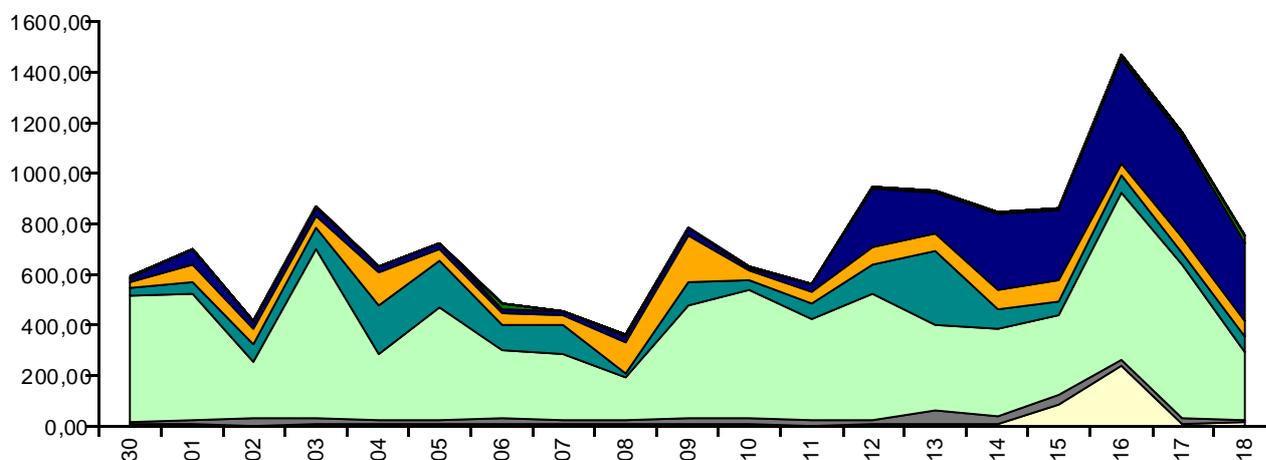
Como se ha visto en los capítulos anteriores, uno de los principales objetivos de la banda 700 era el despliegue en zonas rurales ya que gracias a su baja frecuencia podía cubrir grandes distancias, como se refleja en este ejemplo. Sin embargo, en el centro de la ciudad de Málaga donde el despliegue de red es muy elevado es coherente que el alcance de la celda sea menor ya que la celda NR700 se está usando como complemento de la banda NR3500 para mejorar la cobertura y la experiencia de usuario en interiores.

### 3.4.2. Cómo afectan los distintos valores de tilt a la huella de NR700 y qué KPIs se ven afectados.

En este caso de estudio, se va a comprobar cómo afecta el tilt al alcance y conexiones. Para comenzar, se enumeran las consecuencias de un tilt incorrecto:

- El alcance correcto favorece el éxito en la realización de HOs. Mucho sobrealcance puede provocar el intento de HOs con gNodos muy lejanos, lo que puede dar lugar a error y mermar el % de éxito.
- Un site infra alcanzado puede presentar problemas de MIMO.
- El sobrealcance también provoca degradaciones en DCR, CSSR y RSSI entre otros.

Suponiendo que el alcance representado en la Figura 22 se corresponde con el emplazamiento representado en la Figura Y y Z, se va a estudiar si el tilt de esta celda es correcto sobre mapa



**Figura 22. Cambios en el alcance por TILT**

Inicialmente, cuando la celda solo alcanzaba hasta la zona 4 (1km), esta solo cubría el pueblo y la entrada a este, como podemos ver en la imagen izquierda de la Figura 23. Sin embargo, cuando tras el cambio de tilt comienza a realizar conexiones en la zona 5 (2km) entonces alcanza la estación de trenes y la urbanización cercana. Por tanto, se puede concluir que el cambio de tilt ha sido beneficioso para la zona.

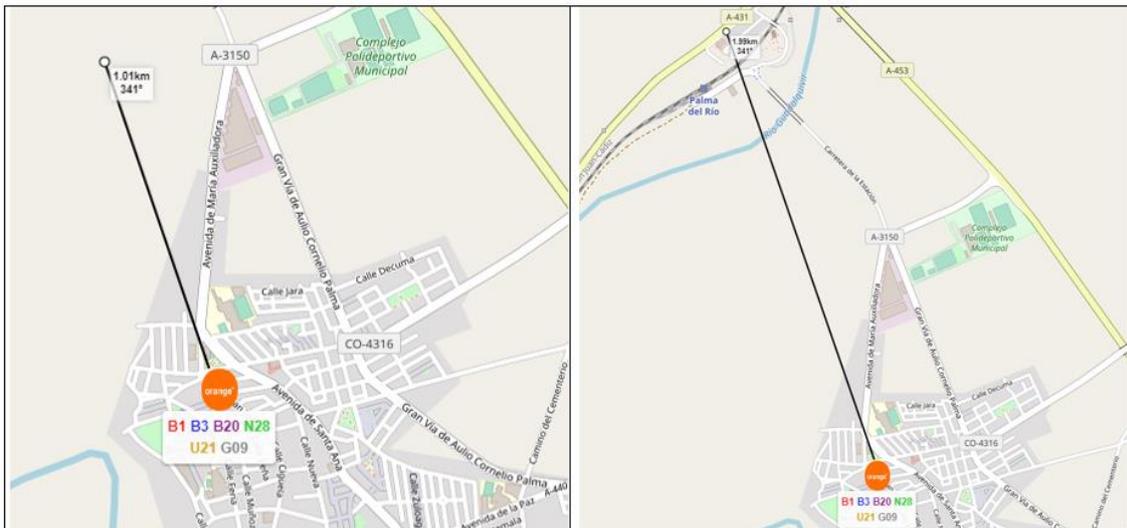


Figura 23. Comparación de distancias sobre mapa.

### 3.4.3. Despliegue de todas las frecuencias 5G en un mismo site.

Las celdas que vamos a utilizar para este caso de estudio corresponden a un site que se encuentra en el centro de la ciudad de Murcia y en él podemos encontrar las 3 bandas 5G existentes desplegadas: N700, N2100 y N3500. Veamos a continuación el alcance y conexiones por día:

- NR3500:

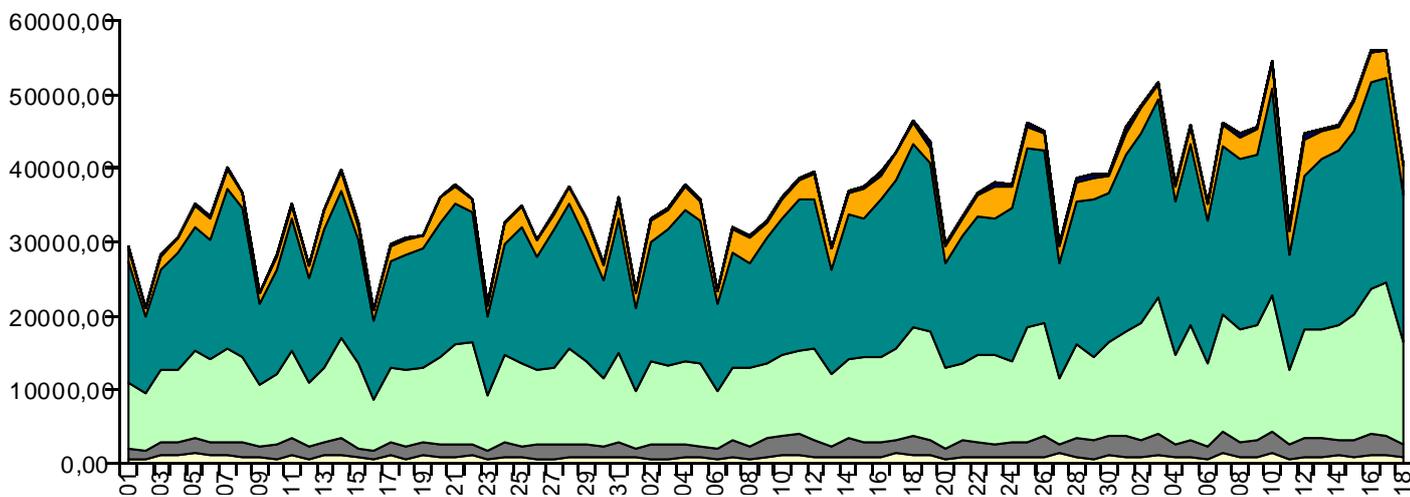


Figura 24. Despliegue NR3500 en Murcia.

- NR700:

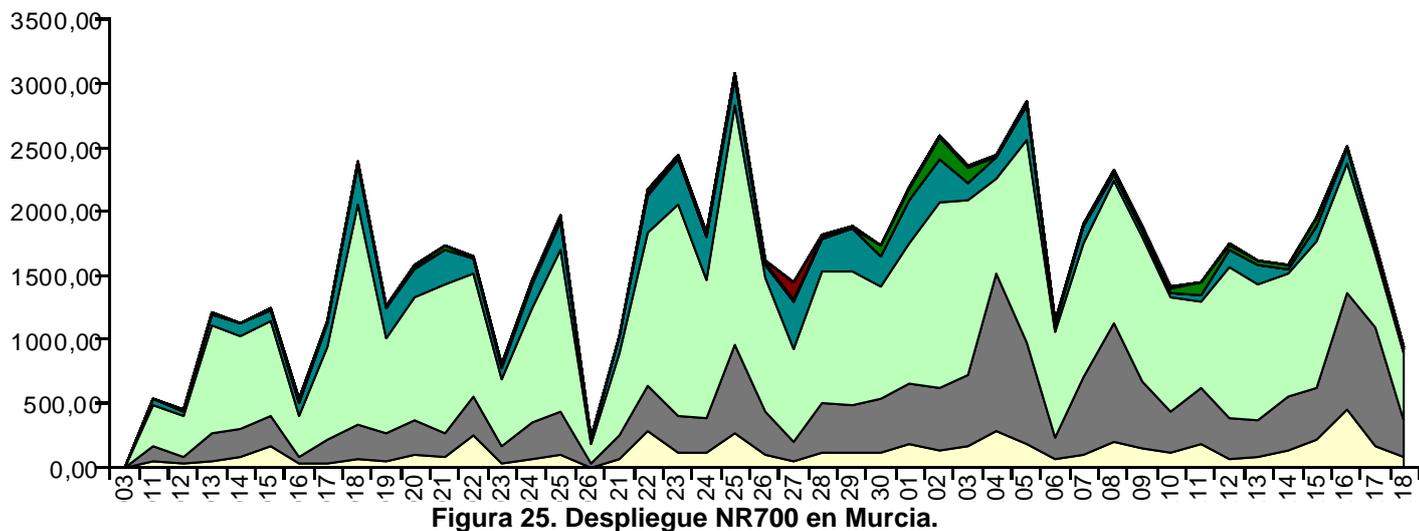


Figura 25. Despliegue NR700 en Murcia.

- NR2100:

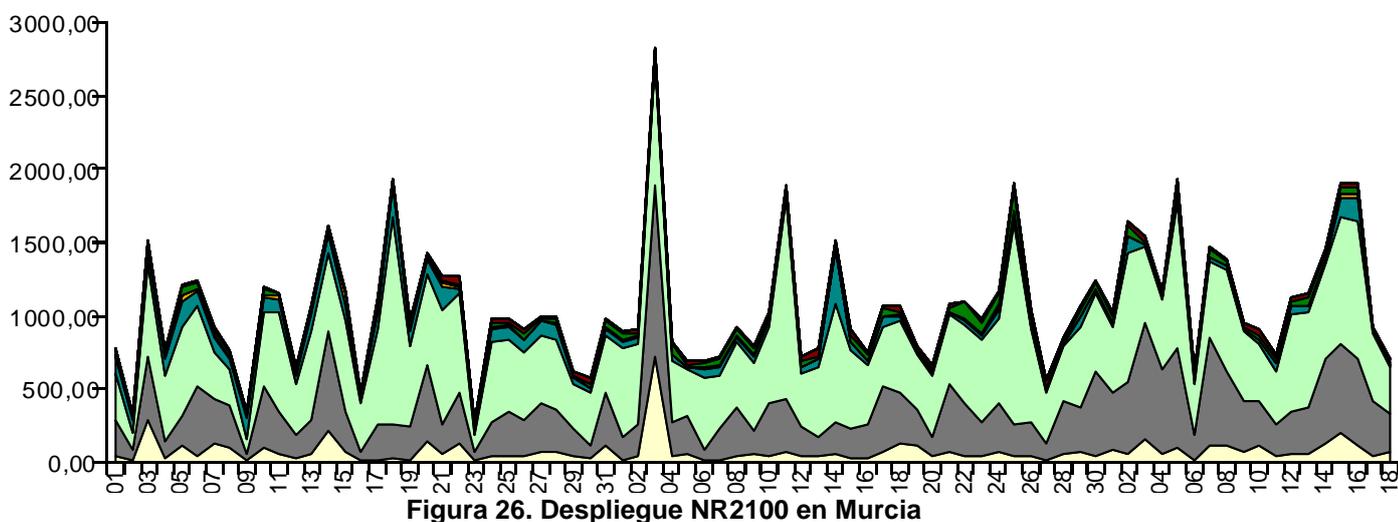


Figura 26. Despliegue NR2100 en Murcia

En primer lugar, se analizan el número medio de conexiones realizadas para cada banda. Se puede observar que para N3500 se han alcanzado las 40000 conexiones diarias, para N700 las 2000 conexiones diarias y, en N2100 se han realizado 1000 conexiones diarias. Se trata del resultado esperado, ya que como se ha visto anteriormente en el capítulo 2.2., la banda 78 es la clave

del despliegue 5G y cuando esta exista en un emplazamiento, la banda 28 solo se utilizará para mejorar la experiencia del usuario.

En segundo lugar, se revisa el alcance de las 3 celdas. Se observa que este es similar para los 3 casos y que, aunque abarca las conexiones realizadas hasta aproximadamente 1km de distancia al site, la mayor parte de conexiones las realiza entre los 150 m y los 650 m.

Como se ha estudiado en este trabajo, la banda de frecuencia 3500 MHz debería ser la de menor alcance, ya que a mayor frecuencia se obtienen menores alcances de ondas, pero se puede ver que esto no es así. Posiblemente el resto de las frecuencias presentan un tilt elevado que provoque una mayor inclinación de la antena y por tanto se reduzca el alcance de dichas celdas o, debido al despliegue de 5G en la zona, nuestro 3500 no necesite del apoyo de su cosector 700 para ofrecer una experiencia de calidad al usuario.

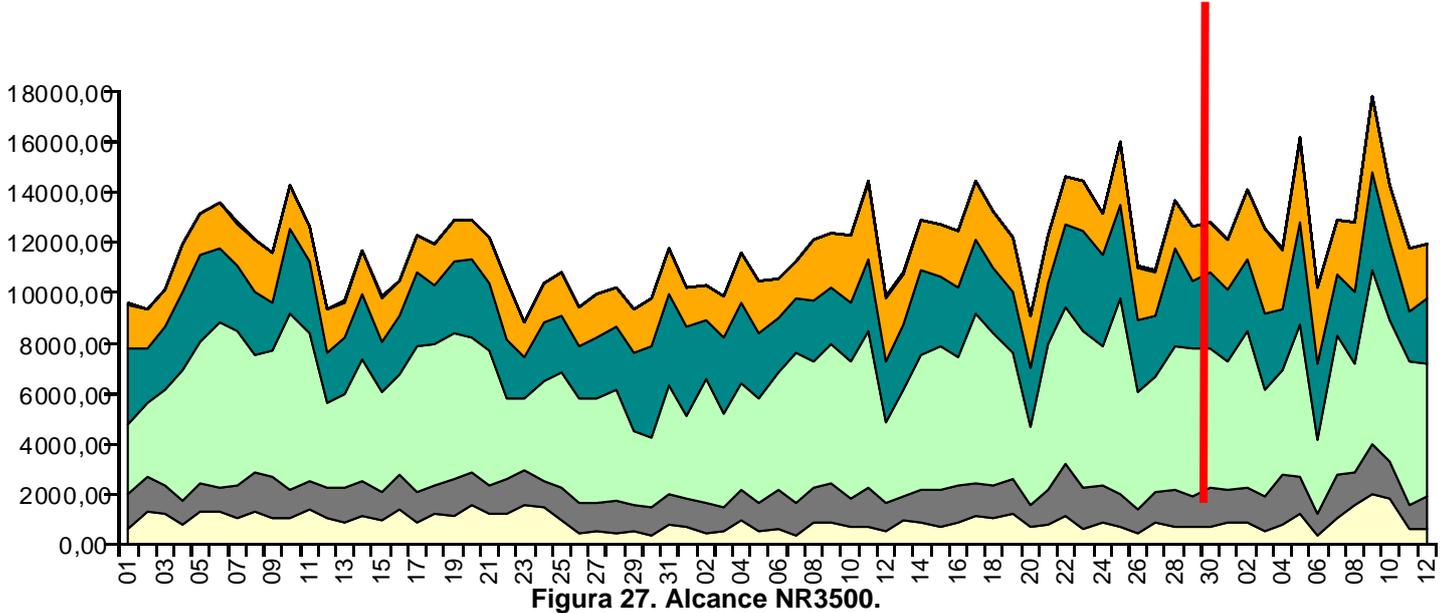
Se puede concluir, que el 5G presenta como prioridad la banda 3,5 GHz, en segundo lugar la banda de 700 MHz y, por último, la banda de los 2100 MHz.

#### 3.4.4. Cómo afecta en número de usuarios y alcance el encendido de NR700 a las celdas NR3500.

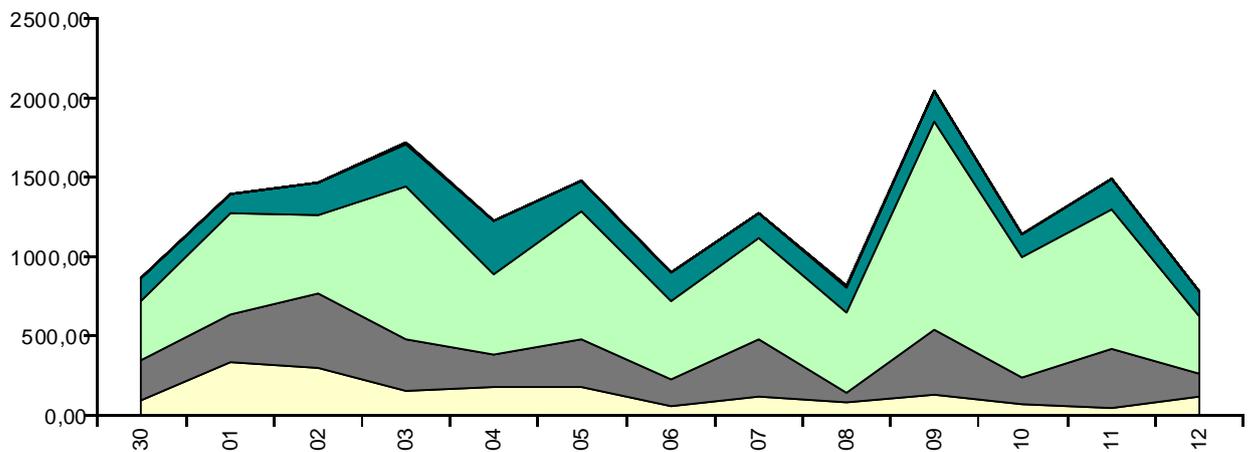
En este caso estudiaremos si afecta o no en cuanto a alcance y número de conexiones el encendido de celdas NR700 en un site con presencia de NR3500.

Para ello, se revisan las gráficas de la celda correspondiente a cada frecuencia:

- NR3500. La línea roja de la Figura 27 marca el encendido de la celda NR700.



- NR700:



Principalmente, se comprueba que al realizarse el encendido de la celda 700 el día no 30 se produce ninguna variación en la celda 3500 cosector, ni en cuanto al alcance ni a reducción del número de muestras, tal y como se puede observar a partir de la marca roja de la Figura 27. Esto es así ya que la celda

700 se utiliza para mejorar la capacidad y la calidad de experiencia que ofrece NR3500 por ejemplo, en interiores.

Para finalizar, se observa que las celdas de la banda NR3500 realizan aproximadamente 10 veces más conexiones que la banda NR700. Ya que como se ha visto en los casos anteriores se demuestra que la banda 700 se enciende en las zonas urbanas para reforzar a la banda 3500 y para mejorar la calidad de experiencia del usuario.



## 4. Conclusiones y trabajos futuros

El propósito de este trabajo era realizar un estudio de la red 5G para obtener una visión general de las características de esta y comprobar cuáles son los beneficios que va a aportar a los usuarios: cubrir necesidades como conexiones en entornos rurales, mayores velocidades, menores latencias o redes más capacitadas son solo el inicio de lo que esta nueva red puede aportar.

La investigación sobre esta nueva tecnología se ha centrado en las nuevas frecuencias y arquitecturas, descubriendo así como los nuevos términos de beamforming y massiveMIMO son indispensables para el completo desarrollo del 5G. Además, se ha realizado un repaso de las distintas fases de implantación de nuevas celdas 5G en emplazamientos donde ya existían las tecnologías 2G, 3G y 4G.

Por último, con los distintos casos de uso, se ha podido corroborar que las celdas NR700 en zonas rurales pueden cubrir grandes distancias, y en zonas urbanas se está usando como complemento de la banda NR3500 para mejorar la cobertura y la experiencia de usuario en interiores.

Como se sabe, la red 5G está en completo desarrollo por lo que las líneas de trabajo futuro están completamente abiertas. Algunos de los temas a tratar podrían ser:

- Cuál será el papel de la Red 5G para cumplir con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Optimización de una Red 5G SA.
- La banda de 26GHz. Cómo se reparte y qué ventajas presenta.
- 5G y las conexiones side to side.



## 5. Glosario

5GCN	Nucleo 5G
AAU	Active Antenna Unit
AIR	Antenna Integrated Radio
BBU	Unidad de Banda Base
cm	Centímetro
CSSR	Call Setup Success Rate
DCR	Drop Call Rate
DSS	Dynamic Spectrum Sharing
eMBB	Enhanced Mobile Broadband
eNB	E-Utran Node B
EN-DC	E-UTRA New Radio – Dual Connectivity
FDD	Duplexación por división de frecuencia
FO	Fibra Óptica
gNB	Next Generation Node B
HB	High Band
HO	Handover
ITU-R	Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones
Km	Kilómetro
KPI	Key Performance Indicator
LB	Low Band
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine to machine
MeNB	Master eNB
MIMO	Multiple-input Multiple-output
mm	Milimetro
mMIMO	massive MIMO
mMTC	Massive Machine-Type Communications
ms	Milisegundo

NR	New Radio
NSA	Non Standalone
PCI	Physical Cell Identification
PIM	Intermodulación Pasiva
PRACH	Physical Random Acces Channel
RRU	Unidad de Radio Remota
SA	Standalone
SgNB	Secondary gNB
TDD	Duplexación por división en el tiempo
TDM	Multiplexación por división en el tiempo
TH	Throughput
uRLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication

## 6. Bibliografía

- [1]. Obtenido de <https://www.babelgroup.com/es/media/blog/Agosto-2021/los-distintos-escenarios-del-5g>
- [2]. Obtenido de [https://wiki.bandaancho.st/Frecuencias\\_telefon%C3%ADa\\_m%C3%B3vil](https://wiki.bandaancho.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil)
- [3]. Obtenido de <https://www.teldat.com/es/blog/tdd-fdd-massive-mimo-para-lte-4g-y-5g/>
- [4]. Obtenido de <https://bandaancha.eu/articulos/frecuencias-5g-operadoras-espana-9815>
- [5]. Obtenido de <https://www.adslzone.net/operadores/en-detalle/frecuencias-moviles-espana/>
- [6]. Obtenido de <https://portal.mineco.gob.es/es-es/comunicacion/Paginas/subasta-de-26-GHz.aspx>
- [7]. Obtenido de <https://micm.es/noticias/la-problematica-de-tcp-sobre-arquitecturas-5g-nsa/>
- [8]. Obtenido de <https://cafetele.com/dss-dynamic-spectrum-sharing-5g-lte/>
- [9]. Obtenido de <https://www.xatakamovil.com/conectividad/asi-conseguira-movistar-desplegar-5g-rapido-que-dss-que-se-diferencia-refarming>
- [10]. Obtenido de ([https://www.guo-fang.cn/es/la-diferencia-entre-antenas-activas-y-pasivas\\_a3114.html](https://www.guo-fang.cn/es/la-diferencia-entre-antenas-activas-y-pasivas_a3114.html))
- [11]. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/-huawei-antenna-catalogue-2019-1pdf-pdf-free.html>
- [12]. Obtenido de <https://www.slideshare.net/jdeleiva/catalogo-de-antenas-moyano>
- [13]. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/New-Huawei-5G-Base-Station-AAU5639W-1600423953107.html>
- [14]. Obtenido de <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-conventional-8T8R-and-64T64R-Massive-MIMO-Antenna.html>
- [15]. Obtenido de <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-07140/technical-overviews/5992-0159.pdf>
- [16]. Obtenido de <https://www.telecomhall.net/t/why-beamforming-not-so-used-in-lte/10734>

- [17]. Obtenido de <http://micm.es/noticias/to-beam-or-not-to-beam/>
- [18]. Obtenido de <https://pdfcoffee.com/aau5639w-technical-specificationsv100r016c1003pdf-en-pdf-free.html>
- [19]. Obtenido de <https://www.movistar.es/blog/5g/frecuencias-5g-que-son-y-porque-son-importantes/>
- [20]. Obtenido de <https://www.techplayon.com/5g-nr-network-relationship-neighbor-planning/>
- [21]. Obtenido de <https://www.techplayon.com/5g-nr-prach-power-control-msg1-tx-power-open-loop-power/>
- [22]. Obtenido de <https://www.techplayon.com/5g-nr-physical-cell-id-pci-planning/>
- [23]. Obtenido de <https://www.viavisolutions.com/es-es/productos/unidad-de-banda-base-bbu>
- [24]. Obtenido de <https://antenasmoviles.es/#5/40.412/-3.710/osm>
- [25] J. Anguera y A. Pérez, "Teoría de Antenas", Universitat Ramon Llull, 2008.