

Universidad de Alcalá

Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación



Trabajo Fin de Grado

Estudio por operador del mantenimiento, cobertura, costes e interferencias del despliegue 4G en España.

ESCUELA POLITECNICA

Autor: Álvaro López Martínez

Tutor/es: Silvia Jiménez Fernández

2022

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería en Sistemas de Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Estudio por operador del mantenimiento, cobertura, costes e
interferencias del despliegue 4G en España.

Autor: Álvaro López Martínez

Tutor/es: Silvia Jiménez Fernández

TRIBUNAL:

Presidente: PORTILLA FIGUERAS, José A.

Vocal 1º: JARABO AMORES, María Pilar

Vocal 2º: JIMÉNEZ FERNÁNDEZ, Silvia

FECHA: 16/05/2022

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	8
RESUMEN	11
ABSTRACT	13
Memoria	15
I. Introducción	15
II. Objetivos	20
III. Material y métodos	22
3.1 4G	22
3.1.1 Estación base 4G	26
3.1.2 Espectro Radioeléctrico.....	28
3.2 Televisión digital terrestre	29
3.2.1 Múltiplex Digital y TDT	29
3.2.2 Dividendo digital	32
3.3 Interferencias	34
IV. Resultados	38
4.1 Interferencias 4G-TDT	38
4.1.1 Protocolo de actuación ante las interferencias.....	40
4.1.2 Identificación primaria de interferencias	40
4.1.3 Protocolo técnico de actuación.....	45
4.2 Situación actual del despliegue 4G en España	52
4.3 Estimación de costes del despliegue 4G por operador	57
V. Conclusiones.....	60
VI. Bibliografía	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tráfico nacional de banda ancha móvil [2].	16
Figura 2. Porcentaje de población española que posee cada tipo de dispositivo [2].	16
Figura 3. Hábitos de uso del móvil en España [2].	17
Figura 4. Redes sociales más usadas en España [2].	17
Figura 5. Representación de CDMA [13].	24
Figura 6. Comparación OFDMA y SC-FDMA [16].	24
Figura 7. Interior estación base 4G, imagen cedida por ELEC NOR SA.	27
Figura 8. Torre de comunicación de una estación base 4G [19].	27
Figura 9. Evolución del Espectro radioeléctrico [4].	33
Figura 10. Estado actual espectro radioeléctrico tras segundo dividendo digital (2020)[28].	34
Figura 11. Interferencia co-canal [32].	35
Figura 12. Interferencia canal adyacente [32].	35
Figura 13. Convivencia 4G y TDT con bandas por operador (previo a segundo dividendo digital) [22].	38
Figura 14. Búsqueda de localidad [28].	41
Figura 15. Búsqueda de localidad (2) [28].	41
Figura 16. Canales del espectro en la localidad buscada [28].	42
Figura 17. Canales en cada múltiplex [28].	43
Figura 18. Comprobación afectación interferencias [35].	44
Figura 19. Comprobación de afectación 4G [35].	44
Figura 20. Resultado afectación 4G [35].	45
Figura 21. Medición espectro antes de instalación/es.	46
Figura 22. Representación manual espectro.	46
Figura 23. Filtro 405403 [36].	47
Figura 24. Ganancia del filtro según frecuencia [36].	48
Figura 25. Filtro 403101 [37].	49
Figura 26. Ganancia del filtro según frecuencia [37].	49
Figura 27. Filtro 405202 [38].	48
Figura 28. Ganancia del filtro según frecuencia [38].	49
Figura 29. Filtro 403210 [38].	50
Figura 30. Ganancia según frecuencia [38].	50
Figura 31. Ubicación filtro 405202 [38].	51
Figura 33. Filtro 403201 instalado.	51
Figura 32. Filtro 405202 instalado.	51
Figura 34. Medición espectro después de instalación/es.	52
Figura 35. Mapa de cobertura 4G Telefónica [7].	53
Figura 36. Mapa cobertura 4G Vodafone [8].	54
Figura 37. Mapa cobertura 4G Orange [9].	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Repartición actual del espectro por tecnología y operador [22].	29
Tabla 2. Anexo BOE IR71[25].....	30
Tabla 3. Actualización del anexo BOE[26].....	31
Tabla 4. Canales por multiplex digital[4].....	32
Tabla 5. Nodos encendidos por cada operador hasta 31/12/2021.	56
Tabla 6. Instalaciones filtro por operador hasta 31/12/2021.	56
Tabla 7. Gastos por actuaciones por operador.....	57
Tabla 8. Precio por cada estación base 4G[39].....	58
Tabla 9. Gastos por estaciones base por operador[39].	58
Tabla 10. Estimación del gasto total sin considerar averías, mantenimientos ni otros servicios del despliegue 4G.....	59

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

TDT	Televisión Digital Terrestre
QoS	Quality of Service
LTE	Long Term Evolution
Mbps	Megabits por segundo
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
CDMA	Code Division Multiple Access
mS	mili Segundos
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MHz	Mega Hercios
GHz	Giga Hercios
kHz	kilo Hercios
TDD	Time Duplex Division
FDD	Frequency Division Duplex
BBU	Baseband Unit
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
PES	Plataforma Estatal de Subastas
UN	Utilización Nacional
ITU-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones sección Radio
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
DVB-T	Digital Vídeo Broadcasting – Terrestrial
BOE	Boletín Oficial del Estado
RGE	Red Global Estatal
MPE	Múltiplex Privado Estatal
MAUT	Múltiplex Autonómico
UHF	Ultra High Frequency

dB	deciBelios
3G	Tercera Generación de comunicaciones móviles
4G	Cuarta Generación de comunicaciones móviles
5G	Quinta Generación de comunicaciones móviles

RESUMEN

Las tecnologías inalámbricas y móviles llevan mucho tiempo en constante evolución y cada vez estamos más cerca de un mundo totalmente conectado. Mediante este proyecto se pretende contextualizar tanto la evolución como la actualidad de las comunicaciones móviles en nuestro país, mostrando y analizando datos reales de los principales operadores de telecomunicaciones en España: Telefónica, Orange y Vodafone.

La gestión del espectro radioeléctrico ha sido y sigue siendo una cuestión de vital importancia para cualquier tipo de comunicación mediante señales radio. El espectro radioeléctrico ha ido sufriendo numerosos cambios en los últimos años (primer y segundo dividendo digital) para las inclusiones de las tecnologías de comunicaciones móviles de cuarta y quinta generación respectivamente. Estos procesos de reordenación del espectro se llevan a cabo con el fin de conseguir una convivencia de estas tecnologías móviles y la Televisión Digital Terrestre, que en su día ya facilitó enormemente la reutilización de muchas frecuencias.

Este proyecto profundiza precisamente en la convivencia entre la cuarta generación de comunicaciones móviles (4G) y la Televisión Digital Terrestre (TDT), explicando al detalle cómo se procede a la resolución de interferencias entre ambas tecnologías. Estas interferencias se producen en el fragmento del espectro donde son contiguas ambas tecnologías, generando el 4G interferencias en algunos casos sobre la TDT. Se detallan los materiales y procedimientos que se llevan a cabo en cada caso, siempre llegando a ofrecer una solución al afectado.

Además, se profundiza en la situación actual de los servicios de 4G en el territorio nacional, analizando la evolución año tras año del despliegue, centrándose en la cantidad de nodos desplegados (y por tanto la cobertura) y haciendo una estimación de los costes en general que ha tenido y está teniendo para cada operador el despliegue y mantenimiento, incluyendo aquí las actuaciones técnicas de mitigación de interferencias.

ABSTRACT

Wireless and mobile technologies have been involved in an ongoing evolution and every day we are closer to a fully connected world. Through this project it is intended to contextualize the evolution as well as the current situation of mobile communications in Spain, showing and analyzing real data from the 3 main telecommunication companies in Spain: Telefonica, Orange and Vodafone.

Radio spectrum's management has been and still is a very important thing to consider for every kind of wireless communication. The spectrum has suffered multiple changes in recent years (first and second dividend) to include fourth and fifth generation mobile technologies respectively. These spectrum rearrangements take place to reach a high level of coexistence between these mobile technologies and the Digital Terrestrial Television (TDT), allowing frequency reuse due to the new technologies' needs.

This project digs on the coexistence between the fourth generation of mobile communications (4G) and the Digital Terrestrial Television (TDT), explaining in detail how to proceed when there are (or might be) interferences between both technologies. These interferences are in the small portion of the spectrum where both technologies are adjacent, being the 4G the one that creates the interferences (sometimes, depending on multiple factors) over the TDT. The materials and procedures that are carried out by the technician in each scenario so that he can solve the problem are also explained.

In addition to that, this TFG analyses the current situation of the 4G services in the national territory, analyzing the 4G deployment evolution year after year, focusing on the number of deployed nodes (and therefore the coverage) and calculating an estimate of the general costs it has had and is still facing each telecommunication company for the 4G deployment and maintenance, including the technical interventions for relieving the interferences.

Memoria

I. Introducción

Las necesidades de la sociedad han ido cambiando continuamente, pero ese cambio comenzó a acelerar ya entrados en el siglo XX, con tecnologías revolucionarias como Internet y las comunicaciones inalámbricas en general. El rápido desarrollo de la industria tecnológica, impulsado por la globalización alcanzada gracias a Internet, ha provocado que lo que antes quizá tardaba unos cuantos años en cambiar, ahora lo hace mucho más rápido, ya que las necesidades de la ciudadanía actual van cambiando más rápidamente.

Este cambio siempre ha estado relacionado tanto con la conexión a Internet, teniendo en cuenta principalmente la cobertura y la velocidad de conexión, como con la cantidad de contenidos, productos y servicios a los cuales se pueden acceder a través de este. Esto desemboca en una demanda masiva de dispositivos conectados[1], pero no solo estando en casa, si no en cualquier momento, ya sea en casa, en el trabajo, de camino a él o estando de paseo por el campo.

Es por todo esto que se ha ido “creando” la necesidad de estar continuamente conectado a internet allá donde vayas o estés. La cantidad de servicios y productos que existen en Internet no hace más que aumentar, a la vez que la cantidad de dispositivos conectados a ella y por lo tanto el tráfico en la red también ha ido aumentando exponencialmente en los últimos años[2]. Es por ello que siempre se ha buscado innovar para poder llegar a cumplir con las necesidades de esta sociedad conectada, cuyas tendencias de uso de internet han ido viéndose modificadas a lo largo del tiempo.

Actualmente (y en los últimos años) Internet ya no solo se usa para actividades básicas como correo electrónico o mensajería instantánea (para lo que 3G era más que suficiente), si no que ahora se tiende más a la descarga de archivos pesados, realización de video llamadas, reproducción de contenido en streaming, videojuegos online, etc.[1]. Esto hace que el 3G se quede corto, sobre todo, en cuanto a velocidad de conexión/descarga y a calidad del servicio (QoS).

Podemos observar este aumento del tráfico que comentamos viendo la figura 1, la cual nos muestra la evolución del tráfico móvil a nivel nacional en los últimos años.

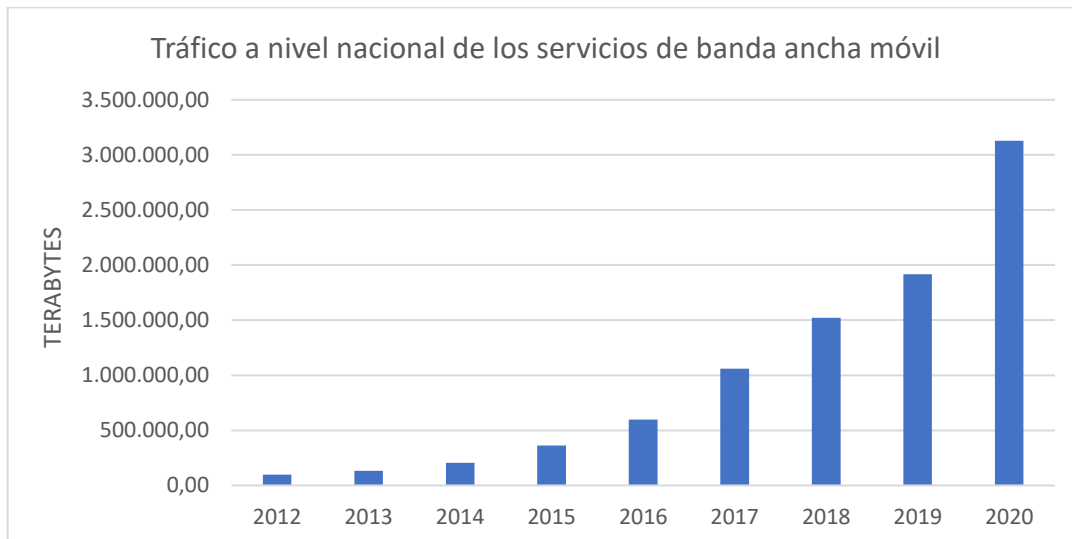


Figura 1. Tráfico nacional de banda ancha móvil [2].

Podemos determinar claramente que el aumento de tráfico de datos móviles es sustancial en nuestro país. Esto se demuestra por lo comentado anteriormente y lo confirmamos con la figura 2, que nos muestra porcentualmente, con respecto al total de la población española entre 16 y 64 años, qué tipo de dispositivo poseen y en qué proporción.

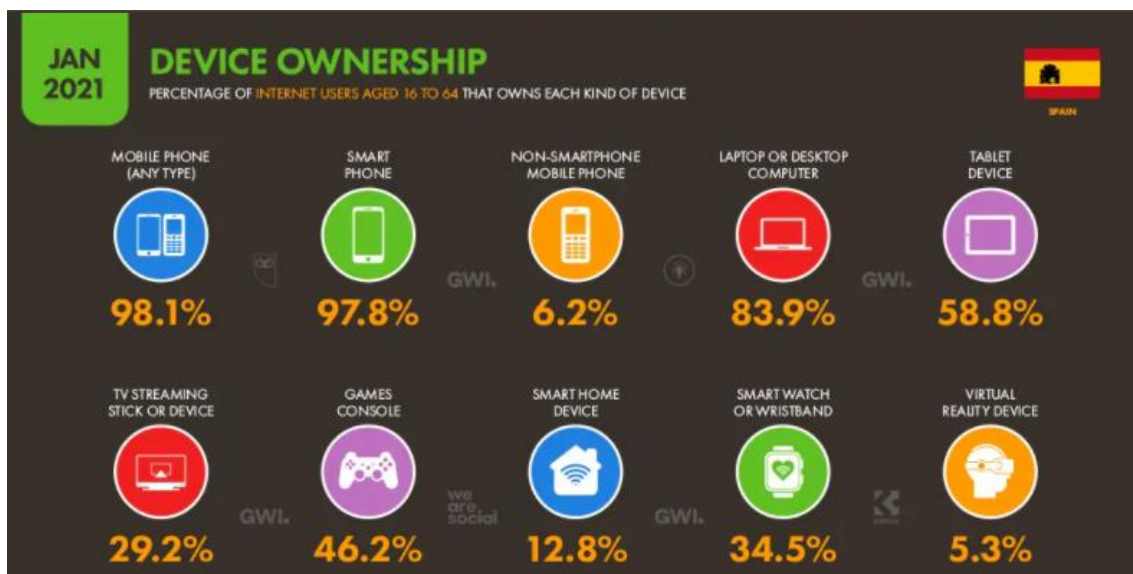


Figura 2. Porcentaje de población española que posee cada tipo de dispositivo [2].

En esta ilustración se muestra el porcentaje de población que posee cada tipo de dispositivo. Se ve que el 97,8% dispone de un teléfono con conexión a internet móvil, lo que explica el tráfico alcanzado por la red móvil en los últimos años. Este es un dato muy significativo y refleja cómo nuestra sociedad es bastante avanzada en cuanto a adopción de tecnología. España se encuentra en una posición privilegiada actualmente, ya que

existe una tasa de penetración de la conectividad móvil del 120%[2], 8 puntos por encima de la media mundial. Para adentrarnos más en las tendencias de uso en nuestro país se incluye la figura 3.

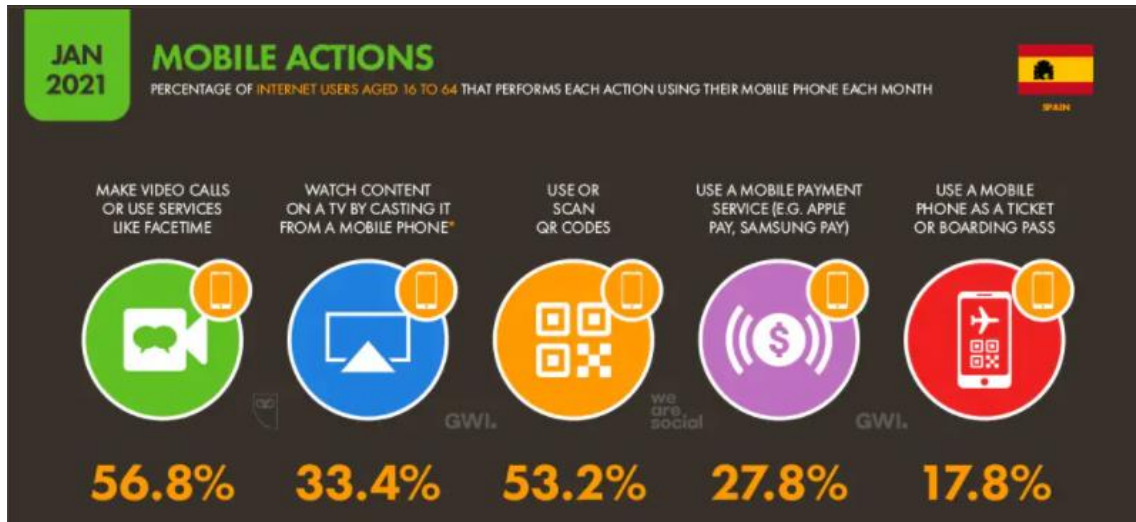


Figura 3. Hábitos de uso del móvil en España [2].

Observamos como la mayoría de la gente usa la red móvil para realizar video llamadas, ver o enviar contenidos multimedia a través del móvil (en streaming) y usar las redes sociales. Además, se dispone del gráfico presentado en la figura 4, el cual nos muestra más en detalle cuáles son las plataformas sociales más usadas en nuestro país.

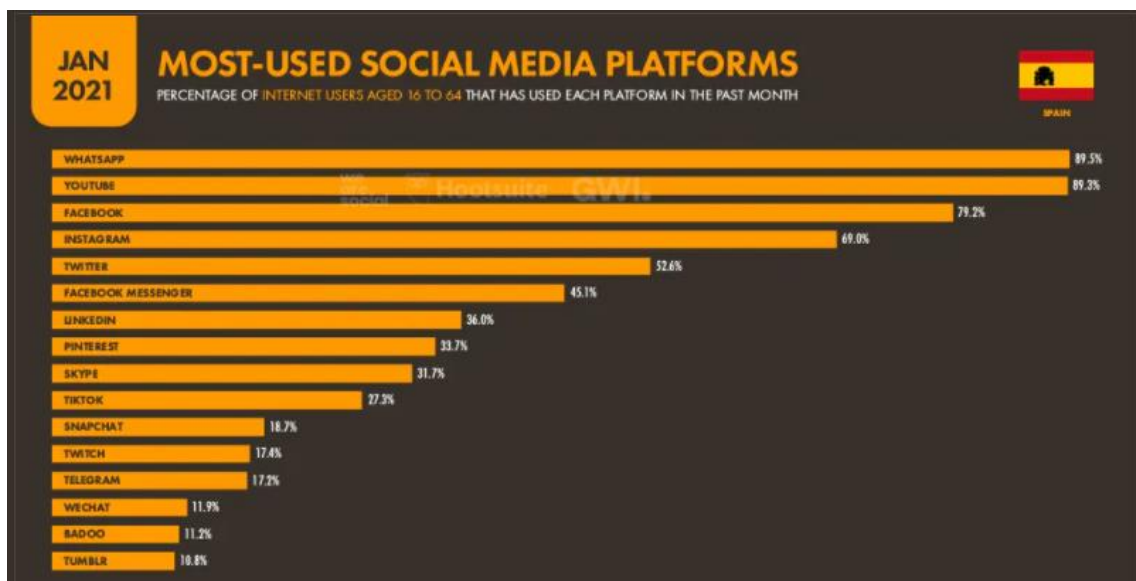


Figura 4. Redes sociales más usadas en España [2].

Dentro de las 5 plataformas más usadas observamos que se encuentran Youtube, Facebook e Instagram, redes sociales que generan un tráfico muy grande debido al tipo de contenidos que se muestran o comparten en ellas, mayormente vídeos e imágenes en alta calidad.

Más abajo en la lista observamos plataformas de streaming de video en directo como Twitch, de videollamadas como Skype y de vídeos cortos como TikTok. Todo esto hace que el tráfico no pare de aumentar con el paso de los años. Según estas tendencias, las estimaciones van encaminadas a un aumento cada vez mayor, con la irrupción en el mercado de plataformas del tipo Netflix, HBO y Disney +.

Es por esto que la red de datos móviles de nuestro país debe estar preparada ante tal aumento de dispositivos y de tráfico generado. Al surgir nuevas necesidades, surgen nuevas tecnologías que satisfacen las nuevas exigencias, y en este caso en concreto surgió la cuarta generación de comunicaciones móviles (4G), que, a priori, era capaz de satisfacer las necesidades en ese momento. Más adelante surge la quinta generación (5G), que mejora con creces las capacidades de 4G. Estas tecnologías móviles hacen uso y funcionan sobre el espectro radioeléctrico[3], por lo que surge la obligación de hacer una gestión eficiente y eficaz sobre el espectro, encargándose de esta gestión el Ministerio a cargo de las telecomunicaciones del país.

El espectro radioeléctrico cada vez está más ocupado, por lo que las autoridades, a lo largo de los años, se han encargado de ir repartiendo y asignando a cada servicio una banda de frecuencias, dentro del espectro, en la cual cada proveedor de servicios puede dar dicho servicio. El aumento de uso del espectro ha hecho que sean necesarias ciertas reorganizaciones del espectro radioeléctrico, conocidas como dividendos digitales[4]. Estas reparticiones y reorganizaciones del espectro las realiza la autoridad correspondiente y pueden llegar a causar interferencias entre unos servicios y otros que estén ubicados en bandas contiguas, como es el caso del 4G y la Televisión Digital Terrestre (TDT).

En este proyecto se aporta información y se explica todo lo relativo a la tecnología 4G, desde los fundamentales en cuanto a la transmisión hasta la infraestructura física utilizada para ello. Se explican todos los contenidos de forma que estos puedan ser asimilados sin la necesidad de tener un conocimiento avanzado de ellos.

II. Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es hacer una exposición detallada del estado actual del despliegue de la tecnología 4G en España. No se trata de una tecnología nueva, ya que lleva entre nosotros desde 2015 [5], por lo que es posible hacer un análisis exhaustivo del estado de la red en nuestro país, centrándonos sobre todo en la gestión por parte de los operadores principales (Telefónica, Vodafone y Orange) de las incidencias que suceden con la red.

Otro de los objetivos del trabajo será determinar y estudiar los principales problemas que se ha encontrado la tecnología al implementarla. Los principales problemas desde que se comenzó el despliegue son los relacionados con la convivencia 4G-TDT, debido a su contigüidad en el espectro radioeléctrico. En este proyecto se aportan las herramientas teóricas necesarias para entender este problema que se genera, detallando las causas de estas interferencias, así como las soluciones existentes que se aplican actualmente y llevan aplicándose desde hace varios años. Asimismo, se extrapolará la problemática a la tecnología 5G, describiendo de forma teórica las soluciones a aplicar.

Otro objetivo es realizar un estudio de la cobertura de 4G en todo el territorio nacional[6][7][8][9], dividido por coberturas ofrecidas por cada operador. Con este estudio se pretende exponer y comparar la cobertura ofrecida en extensión de terreno en el país por cada operador.

El último objetivo de este TFG es exponer de forma concisa los gastos que se producen al resolver las mencionadas incidencias, así como los gastos aproximados que asumen los operadores por el despliegue de todas las estaciones base para brindar el servicio.

III. Material y métodos

3.1 4G

La tecnología 4G LTE (Long Term Evolution) llegó para solventar los problemas o limitaciones que existían con 3G, debido a la creciente popularidad de Internet y de las comunicaciones móviles, encargadas de hacer que permanezcamos siempre conectados. La tercera generación de comunicaciones móviles (3G)[10] tenía como objetivo la conectividad permanente inalámbrica y aumentar sustancialmente la velocidad de conexión, algo claramente orientado hacia la transferencia de archivos multimedia sencillos y poco pesados. Actualmente se manejan archivos muy pesados y de gran calidad y pretendemos permanecer conectados todo el tiempo bajo cualquier circunstancia, por lo que con el paso de los años se desarrolló una mejora y optimización de esta generación, llegando al 4G.

Tecnológicamente, el 4G supuso una gran evolución, basándose en los siguientes puntos:

- **Incremento de la velocidad:** Se incrementa la velocidad desde los 14 Mbps (Mega Bits Por Segundo)[11] de bajada 3G hasta los alcanzables 100 Mbps de bajada en 4G.
- **Incremento de la tasa de bits en los cell-edge (borde de la célula):** En 3G es habitual una pérdida momentánea de la conexión o deterioro notable de la señal al estar en el borde de una célula.
- **Mejora de la eficiencia espectral:** A través del uso en 4G de OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en el enlace ascendente y SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) en el enlace descendente frente a CDMA (Code Division Multiple Access) en ambos enlaces en 3G.
- **Reducción de la latencia:** Mientras en 3G se obtienen unas latencias menores a 100 mS (mili Segundos)[11], en 4G se obtienen latencias menores a 50 mS.
- **Ancho de banda escalable** para una mayor flexibilidad en ciertas asignaciones de frecuencia.
- **Reducción de gastos.**
- **Soporte para trabajar con sistemas 3G existentes.**
- **Optimizado para bajas velocidades del móvil pero útil para altas velocidades de éste** (hasta 500 km/h).

Por un lado, en el caso del 3G UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), se trataba inicialmente de una tecnología de conmutación de circuitos que con el paso del tiempo acabó convergiendo hacia la conmutación de paquetes[10]. En el caso de 4G se pasa a la conmutación de paquetes pura.

La comunicación de circuitos [12] cuenta con 3 fases a completar, comenzando por el establecimiento del circuito con sus correspondientes señales, siguiendo por la transferencia de los datos (normalmente full duplex) y por último la desconexión del circuito con sus correspondientes señales. Esto presenta problemas como que tanto el

transmisor como el receptor deben transmitir a la misma velocidad, además de ser este sistema poco eficiente ya que la línea se encuentra desocupada la mayor parte del tiempo.

La conmutación de paquetes [12] por su parte es más eficiente, ya que el enlace puede ser compartido por varios paquetes (a través de una cola). Además, se pueden intercambiar paquetes a distintas velocidades ya que cada estación se conecta a un nodo con su propia velocidad. Estas mejoras se consiguen dividiendo los paquetes en unidades más pequeñas, incluyendo cada uno cabeceras con la información suficiente para alcanzar su destino. Una vez un paquete llega a un nodo, este es recibido y almacenado temporalmente y enviado al siguiente nodo de su ruta para alcanzar su destino.

Por otro lado, y uno de los cambios más significativos es que se pasa de una tecnología de acceso en frecuencia CDMA (en ambos enlaces) a un acceso en frecuencia OFDMA en el enlace descendente y SC-FDMA en el enlace ascendente.

CDMA se trata de una tecnología de acceso al medio poco eficiente debido a que la señal se emite con un ancho de banda bastante mayor al que se precisa por los datos que se transmiten, debido a la adición de un código que identifica esa señal, posteriormente necesario en recepción para identificar y distinguir entre distintas señales[13].

La diferencia entre las tecnologías de acceso es abismal, ya que se obtiene una eficiencia espectral mucho más alta con OFDMA (sobre CDMA) gracias sobre todo al uso de MIMO (Multiple Input Multiple Output)[14]. OFDMA subdivide un canal concreto en subportadoras (asignación de frecuencias pequeña) y también los paquetes en paquetes más pequeños, así estos pueden ser transmitidos en paralelo a varios dispositivos a la vez. Esto se traduce en un aumento en la eficiencia ya que se aprovecha al máximo cada rango de frecuencias. El término MIMO hace referencia a que se procede ahora a emplear varias antenas tanto en transmisión como en la recepción para así aumentar el rendimiento general de la tecnología en cuanto a transferencia de datos.

Además, OFDMA es mucho más robusto frente a las interferencias multicamino y co-canal, y se adapta muy fácilmente a las necesidades en cada momento ya que es fácilmente escalable. Las interferencias multicamino son aquellas que se producen cuando una señal proveniente de un transmisor llega a un receptor por 2 o más rutas[15]. Las interferencias co-canal se detallan en la sección 3.3.

SC-FDMA tiene características similares a las de OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), diferenciándose principalmente en que las señales OFDM en general tienen una mayor ratio pico-media, es decir, en algunos momentos la señal es bastante mayor que el valor medio. Cada subportadora en SC-FDMA lleva información acerca de cada símbolo de modulación, mientras que en OFDM las subportadoras solo llevan información de un símbolo específico[16]. Cabe destacar que con este sistema la complejidad del transmisor es mucho menor que en OFDMA.

En las figuras 5 y 6 se representa la forma en la que se gestionan las señales en el tiempo y en la frecuencia en cada modo de acceso al medio. En primera instancia aclaramos que cada “capa” de colores son los datos enviados por un usuario distinto.

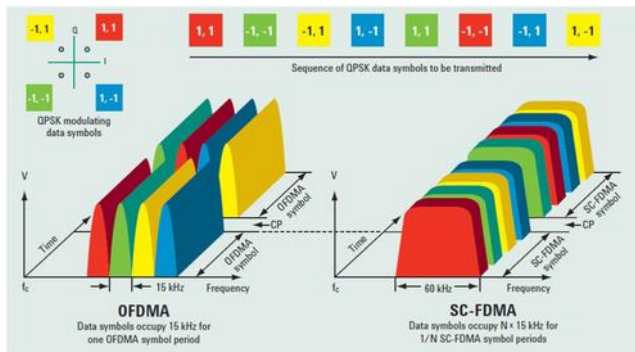


Figura 6. Comparación OFDMA y SC-FDMA [16].

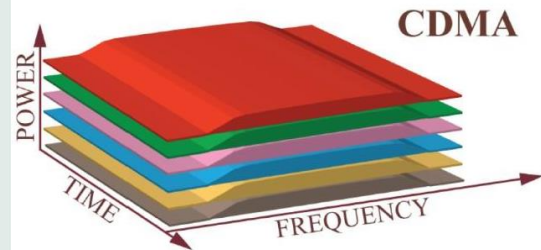


Figura 5. Representación de CDMA [13].

En el caso de CDMA (3G) observamos claramente cómo los datos de todos los usuarios comparten frecuencia y tiempo, estando ubicados en distintas capas, ortogonales entre sí. La forma de distinguir la señal de un usuario o de otro, es la codificación empleada para cada uno de ellos, es decir, cada señal tiene un código único que, si el receptor lo conoce, aunque reciba las señales de todos los emisores, será capaz de quedarse solo con la que quiere, a pesar de que todas las señales compartan frecuencia.

En el caso de OFDMA (enlace descendente) podemos observar cómo lo que se hace es dividir el canal en varias subportadoras que se distribuyen en grupos, según la necesidad de cada usuario. El sistema se realimenta continuamente con las condiciones del canal para así poder adaptar el número de subportadoras que se le asigna a cada usuario. Esto se hace para servir a cada usuario con la velocidad que necesita, de tal forma que se aprovecha completamente el canal. Puede que un usuario necesite más velocidad y capacidad que otro, por lo que se le pueden asignar al que más necesite más subportadoras que a otro, por lo que pueden “convivir” en tiempo y frecuencia varios usuarios simultáneamente aprovechando al máximo el espectro. De ahí que se comente la mejora abismal en cuanto a eficiencia espectral.

Finalizando con la evolución desde 3G a 4G, destacamos la diferencia entre los anchos de banda utilizados. Mientras que en 3G solo se utilizaba un ancho de banda de canal, siendo este de 5MHz. En 4G se pueden usar 6 tamaños distintos de ancho de banda del canal: 1,4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 MHz[14]. Estos tamaños siempre deben respetar los límites de frecuencia de la banda del espectro destinada a 4G (700-2700 MHz).

Es remarcable el hecho de que se diseñó esta tecnología con el objetivo de que fuera lo más universal posible y se pudiera instaurar en el mayor número de países posible, de ahí que pueda funcionar en diversas bandas de frecuencia (desde 700 MHz hasta 2.7 GHz) y emplear distintos anchos de banda, ya mencionados anteriormente. También soporta tanto la duplexación por división de tiempo (TDD, Time Duplex Division) como la duplexación por división de frecuencia (FDD, Frequency Division Duplex). En el caso

de TDD, la comunicación se realiza utilizando únicamente una frecuencia, mientras que el tiempo de recepción y transmisión es distinto. En el caso de FDD, la comunicación se realiza en 2 frecuencias distintas pero esta vez la recepción y la transmisión son simultáneas[17].

3.1.1 Estación base 4G

Una estación base es una pieza clave e imprescindible en todo sistema de comunicación por radio. Estas estaciones se encuentran distribuidas por todo el territorio nacional y tienen el objetivo de brindar la cobertura al área a la que se pretende dar un servicio[18]. Generalmente se usan para comunicar un terminal móvil con otro u otros, por lo que se tratan de señales de baja potencia. La estación base puede servir simplemente como un repetidor entre dos terminales inalámbricos que quieran comunicarse entre sí o conectar un dispositivo móvil a una red fija si se quiere realizar una llamada, por ejemplo. Estas comunicaciones se realizan mediante los equipos que forman la estación base, que principalmente son equipos de procesamiento de señales y de antenas para captar y transmitir las señales necesarias.

Estas estaciones envían y reciben señales constantemente, procesando posteriormente las recibidas en el caso de que sea necesario, convirtiéndolas en digitales, para poder entregárselas a un router que las “guíe” correctamente hasta otro terminal de la red o hacia internet. En el caso de no tener que ir guiadas hacia la red interna y solo tener que ser transmitidas a otro terminal móvil, no se procesan y se envían directamente.

Por lo general estas estaciones disponen del siguiente equipamiento:

- **Transceptor:** Envía y recibe señales de los dispositivos conectados a la estación.
- **Amplificador de potencia:** Puede estar integrado en el transceptor y sirve para amplificar notablemente tanto las señales a enviar como las recibidas.
- **Multiplexor:** Separa las señales a enviar y las recibidas.
- **Antena:** Es el elemento físico que permite recibir y enviar las señales.
- **Combinador:** Combina las señales a enviar para poder ser transmitidas a través del transceptor.
- **BBU (Base Band Unit):** Es el receptor de banda base y realiza el procesamiento de la señal.
- **Mando de control:** A través de éste se realizan todas las configuraciones de la estación.
- **Sistema de alarma:** Recopila información general del funcionamiento de la estación.
- **Equipos de energía y climatización:** Encargados de suministrar la energía necesaria a toda la estación y de mantener la temperatura de la habitación dentro del rango indicado por el fabricante para el correcto funcionamiento de los equipos.

Se muestran a continuación unas imágenes de una estación base tanto desde el exterior como desde el interior, donde se aprecian algunos de los equipos mencionados.

Para la imagen del exterior, se muestra solo la parte del mástil en el cual se ubican las antenas utilizadas para transmitir y recibir las señales. No se muestra la cabina ya que no se puede apreciar ninguno de los equipamientos mencionados.



Figura 7. Interior estación base 4G, imagen cedida por ELECNOR SA.

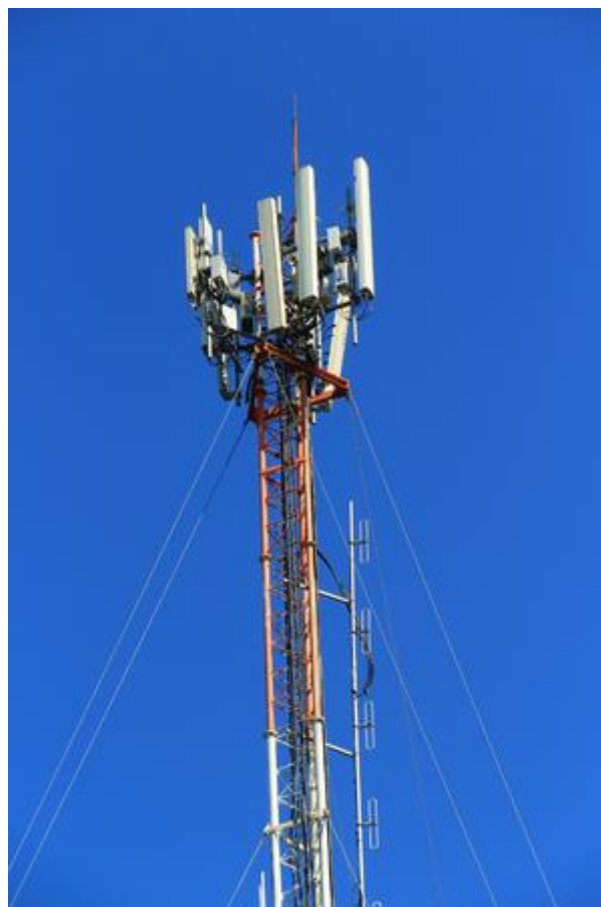


Figura 8. Torre de comunicación de una estación base 4G [19].

3.1.2 Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural, es un bien de dominio público, es intangible, es de carácter limitado y el Estado ejerce su soberanía sobre él[3]. Se utiliza principalmente para prestar servicios de comunicación y se puede emplear de forma conjunta con medios físicos como cables y fibra óptica, por ejemplo.

El espectro radioeléctrico se compone de un conjunto de bandas de frecuencia, entre las cuales se reparten todos los servicios que hacen uso del espectro. Hay que destacar que no todas las bandas del espectro son válidas para cualquier servicio, si no que existen ciertas bandas mejores para unos servicios y peores para otros. Para un correcto funcionamiento y organización de los servicios dentro del espectro, este se divide en pequeñas porciones denominadas bandas. Se atribuyen entonces bandas específicas para ser explotadas por los servicios adecuados.

El acceso al uso del espectro es limitado, es decir, no todo el mundo puede acceder y hacer uso de él libremente, ya que hay unos procesos a seguir y unas normas posteriores que cumplir. Los anchos de banda pueden ser atribuidos a uno o más servicios o asignadas a un determinado usuario.

La atribución de bandas de frecuencia es el caso general, y esta atribución queda resumida en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)[20]. Este contiene el uso o servicio a que se reserva cada una de las bandas en las que se divide el espectro entre los 8,3 kHz y los 3000 GHz y para las cuales es necesaria una licencia determinada.

También existen ciertas bandas de frecuencia que son de uso libre, es decir, bandas que no necesitan de licencia para ser utilizadas como por ejemplo lo son las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz, usadas para el WIFI.

Hablando de las comunicaciones móviles en concreto, los operadores de telecomunicaciones participan en una subasta del espectro, organizada por la autoridad competente, para conseguir los derechos sobre ciertas bandas que ellos consideran que es óptima para dar sus servicios. Estas subastas se realizan cuando surge alguna tecnología y es necesario ubicarla debidamente en el espectro radioeléctrico. Actualmente estas subastas se realizan a través de la PES (Plataforma Estatal de Subastas) y cada sub-banda a subastar comienza por un precio base también establecido por la autoridad competente[21].

Tras la subasta quedan repartidas las bandas de las que dispone cada operador y en las cuales solo puede emitir el que corresponda. Cualquier vulneración puede suponer una gran sanción.

	800 MHz 4G banda 20	900 MHz 2G/3G banda 8	1800 MHz 2G/4G banda 3	2100 MHz 3G banda 1	2600 MHz 4G banda 7
Movistar	10 MHz	14,8 MHz	20 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz
Vodafone	10 MHz	10 MHz	20 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz FDD 20 MHz TDD
Orange	10 MHz	10 MHz	20 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz
MásMóvil			14,8 MHz	15 MHz FDD 5 MHz TDD	10 MHz TDD (autonómicos)

Tabla 1. Repartición actual del espectro por tecnología y operador [22].

En la anterior tabla se muestra la repartición de bandas para la telefonía móvil en nuestro país, mostrando los datos para cada operador (los principales). La repartición específica de la banda que nos incumbe (4G) se detallará en la sección 4.1. Cabe destacar que la tecnología 5G ha sido subastada recientemente y se ubica principalmente en la banda de los 700 MHz.

La gestión en general del espectro corre a cargo de cada Estado, pero siempre debe cumplir con la regulación internacional. A nivel nacional, el CNAF establece unas notas de Utilización Nacional (UN) que recopilan para cada banda de frecuencias comentarios e información técnica sobre el uso de esta.

Como nos incumbe en este proyecto, tendremos en cuenta las notas UN-153 y UN-36, que tratan sobre la televisión digital terrestre y la banda que utiliza.

3.2 Televisión digital terrestre

3.2.1 Múltiplex Digital y TDT

El múltiplex digital es una porción de ancho de banda contenida en el espectro radioeléctrico que permite llevar a cabo o alojar un servicio, como la transmisión simultánea de distintas informaciones[23]. En España estos múltiplex constan de un ancho de banda de 8 MHz para la transmisión de la televisión digital, elegida esta cifra por el Gobierno, siguiendo las recomendaciones que indica la Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sección Radiocomunicación (ITU-R) y una serie de parámetros óptimos para la orografía de España[24]. Se emplea el estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), utilizado también en el resto de Europa y gran parte del mundo. Este estándar emplea una modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiple Access), apropiada para este tipo de emisiones, modulando portadoras ortogonales tanto en amplitud como en fase[24].

Toda la información relativa a este hito (TDT) queda plasmada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) en marzo de 2007, en el cual el Secretario de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información realiza la descripción y desarrolla la reglamentación relativa a las transmisiones de televisión digital[25].

En la siguiente tabla se muestra el anexo del BOE que contiene dicha información.

ANEXO

INTERFAZ RADIOELÉCTRICA REGLAMENTADA

Descripción: Transmisores para radiodifusión de televisión digital terrenal en UHF (TDT)

IR: 71

	Parámetro	Datos técnicos
1	Banda de frecuencias.	470-862 MHz.
2	Canalización/Anchura de banda.	8 MHz. Tipo de emisión 8M00X7FXF.
3	Modulación.	COFDM.
4	Separación dúplex.	No se aplica.
5	Nivel de potencia.	La potencia de cada estación se indica en la concesión.
6	Servicio radioeléctrico/ tipo de dispositivo.	Radiodifusión de televisión.
<i>Parámetros de información opcional</i>		
7	Autorización/uso.	Si. Uso privativo del espectro con concesión.
8	Evaluación/notificación.	Clase II.
9	Norma técnica de referencia.	ETSI EN 300 744. ETSI EN 301 489-14. ETSI EN 302 296.
10	Otras observaciones.	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias: UN-35 y UN-36.

Tabla 2. Anexo BOE IR71[25].

Con la rápida evolución tecnológica que se sufrió en la primera década del siglo (impulsada por internet), sobre todo con el desarrollo e implantación de las comunicaciones móviles, esta resolución queda obsoleta y es en el año 2013 cuando el mismo organismo decide actualizarla. En este caso se modifica el anexo para detallar que la parte alta del espectro que antes solo se empleaba para la radiodifusión de la televisión digital, ahora pasa a ser reservado exclusivamente para las comunicaciones móviles de cuarta generación (4G)[26]. Esto da lugar al llamado “Primer dividendo digital”, del que se hablará en la sección 3.2.2.

Esta actualización del anexo se muestra en la siguiente tabla.

ANEXO

Interfaz Radioeléctrica		Televisión digital terrestre en UHF (TDT)		Referencia IR- 71
Parte normativa	N.º	Parámetro	Descripción	Comentarios
	1	Servicio de Radiocomunicación.	Radiodifusión (terrestre).	
	2	Aplicación.	TDT.	Televisión digital terrestre (TDT/DVB-T).
	3	Banda de frecuencias.	470-790 MHz. 790-862 MHz.	
	4	Canalización.	8 MHz.	
	5	Modulación/ Ancho de banda.	QAM/COFDM. Tipo de emisión 8M00X7FXF.	
	6	Dirección/ Separación duplex.	No se aplica.	
	7	Potencia transmitida/ Densidad de potencia.	Potencia de emisión de cada estación, conforme a los términos indicados en la licencia.	
	8	Método de acceso al canal y condiciones de ocupación.		
	9	Tipo de autorización.	Requiere licencia.	Uso privativo del dominio público radioeléctrico.
	10	Requisitos esenciales adicionales.		
11	Planificación de frecuencias.	La frecuencias de emisión de conformidad con los Planes Técnicos Nacionales.		
Parte informativa	12	Cambios previstos.	La banda 790-862 MHz se utiliza para la TDT hasta la fecha que se establezca para el cese de las emisiones de televisión en estas frecuencias. A partir de dicha fecha, se destinará a sistemas capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas.	
	13	Referencias.	ETSI EN 302 296. ETSI EN 300 744. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF): UN-36.	
	14	Notificación.	2013/0211/E.	Sustituye a la notificación 2006/575/E.
	15	Observaciones.	La presente interfaz sustituye a la publicada en la Resolución 6598 de 12 de marzo de 2007 («BOE» de 28 de marzo de 2007).	

Tabla 3. Actualización del anexo BOE[26].

En la fila número 3 de la tabla es donde se puede observar cómo la banda que antes era solo una, ahora queda dividida en dos. Esta banda se podrá seguir utilizando para servicios de radiodifusión de televisión digital hasta que finalice el dividendo digital, es decir, hasta la fecha establecida para el fin de las emisiones de televisión. También vemos cómo se mantienen esos 8 MHz de ancho de banda para cada múltiplex digital.

El Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre establece que cada múltiplex digital puede albergar como máximo cuatro canales en definición estándar o 3 canales de televisión en alta definición. Este plan queda abierto a futuras modificaciones en cuanto a número de canales que pueda integrar cada múltiplex en función de la

evolución y mejora en las técnicas de compresión y codificación y la capacidad de régimen binario disponible.

Este plan también detalla que existen ocho múltiplex digitales, que se dividen en 3 subgrupos. Tenemos RGE (Red Global Estatal) y MPE (Múltiplex Privado Estatal). Existe un tercer tipo que no aparece en la tabla 4, que es MAUT (Múltiplex Autonómica).

Los RGE son los múltiplex que emiten canales de televisión públicos de ámbito estatal, los MPE los que emiten canales de televisión privados de ámbito estatal y el MAUT emite canales públicos y privados de ámbito autonómico[27].

Dos de los subgrupos de múltiplex los observamos en la siguiente tabla proporcionada por el ministerio, viendo en la primera fila el nombre del múltiplex y en cada columna los proveedores de servicios con derechos a emitir en dicho múltiplex. Más adelante, en la figura 16, se observarán los canales de TV específicos que se emiten en cada múltiplex.

RGE1	RGE2	MPE1	MPE2	MPE3	MPE4	MPE5
Corporación RTVE	Corporación RTVE	Net TV	Atresmedia Televisión	Mediaset España	Atresmedia Televisión	Atresmedia Televisión
Corporación RTVE	Corporación RTVE	Net TV	Atresmedia Televisión	Mediaset España	Mediaset España	Mediaset España
Corporación RTVE	Corporación RTVE	Veo Televisión	Atresmedia Televisión	Mediaset España	Mediaset España	Real Madrid Televisión
Corporación RTVE	Radio Blanca	Veo Televisión	Atresmedia Televisión	Mediaset España	TRECE TV	Grupo Secuoya

Tabla 4. Canales por múltiplex digital[27].

Todos estos múltiplex alojan los canales de televisión que el usuario final puede disfrutar en su televisión a través de la conocida Televisión Digital Terrestre (TDT). La TDT es el resultado directo de la aplicación de tecnologías digitales sobre la señal de televisión, para posteriormente transmitir las a través de la atmósfera sin la necesidad de un cable o un satélite. Estas señales se reciben a través de antenas Ultra High Frequency (UHF).

3.2.2 Dividendo digital

Se llama dividendo digital al conjunto de frecuencias que se han liberado y han quedado disponibles en la parte del espectro utilizada anteriormente para la televisión digital[4].

Este conjunto de frecuencias es la banda de los 800 MHz, comprendida entre 790 MHz y 862 MHz, que fue elegida al igual en toda Europa con el objetivo de que todos los ciudadanos del continente pudieran disfrutar de los nuevos servicios de banda ancha inalámbrica sin la necesidad de un hardware específico en cada país.

Es necesario, para poder prestar correctamente estos servicios de banda ancha móvil inalámbrica, disponer de un conjunto de frecuencias contiguo, por lo que en nuestro país en concreto hubo que desplazar ciertos canales de la TDT que ocupaban espectro en la banda de 800 MHz.

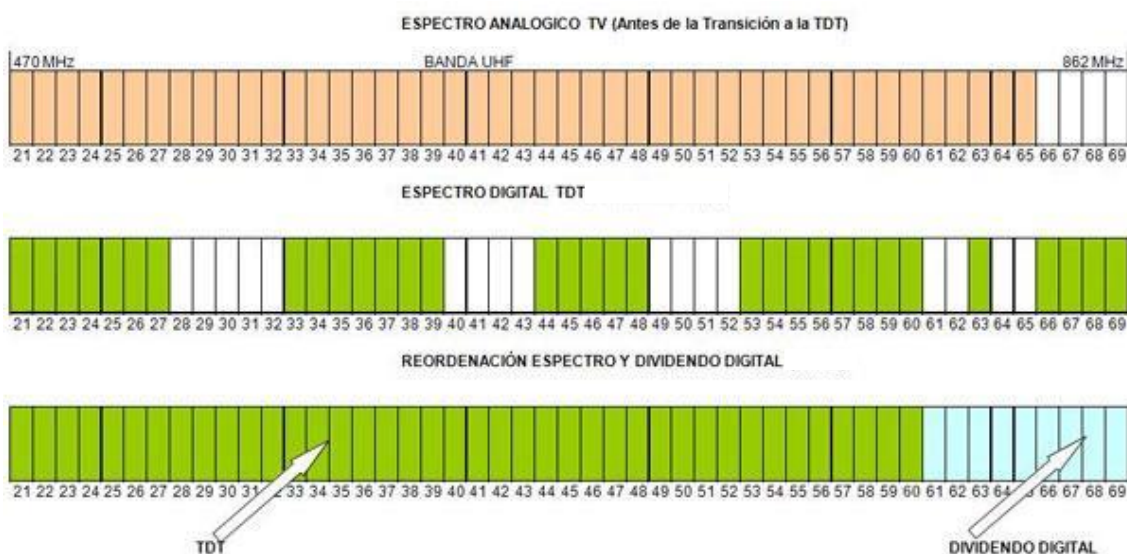


Figura 9. Evolución del Espectro radioeléctrico [4].

En la anterior figura observamos cómo ha ido evolucionando el uso y la forma de repartir el espectro radioeléctrico en nuestro país. Es evidente que la evolución de la tecnología (técnicas de compresión y multiplexación) ha ayudado mucho a que cada vez el espacio utilizado para la emisión de televisión sea menor, de ahí que haya sido posible realizar el primer dividendo digital (2015).

Al final de la figura vemos que se han liberado los canales entre el 61 y el 69 (color azul), dejándolos liberados y a disposición de los operadores de telefonía móvil para poder prestar servicios de banda ancha inalámbrica de cuarta generación (4G).

Cabe destacar que en junio de 2020 se finalizó el segundo dividendo digital, liberando así la banda de los 700 MHz, que comprende entre los 694 MHz y 790 MHz, esta vez liberando esa parte del espectro para alojar en ella los servicios de quinta generación de comunicaciones móviles (5G)[28].

En la siguiente figura se muestra la situación actual en cuanto a la ordenación del espectro radioeléctrico.

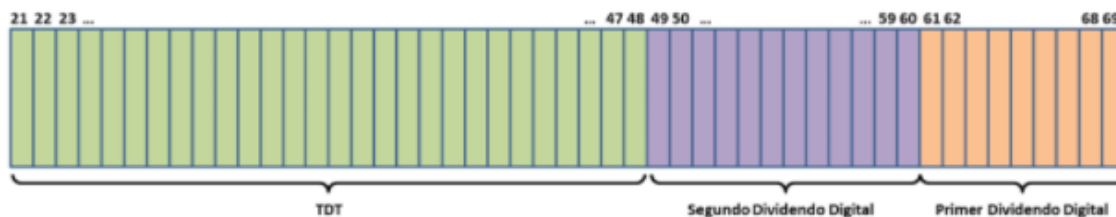


Figura 10. Estado actual espectro radioeléctrico tras segundo dividendo digital (2020)[28][28].

3.3 Interferencias

Se define como una interferencia radioeléctrica al efecto que produce una energía no deseada provocada por una o más radiaciones, materializándose directamente como una degradación de la calidad o pérdida de la información que se obtendría o se pretendía obtener en ausencia de esta energía no deseada[29].

Este fenómeno puede producirse por múltiples razones y puede ser de forma accidental o intencionada. Las consecuencias de éstas pueden extenderse en el tiempo y ser duraderas o ser puntuales y desaparecer rápidamente. De cualquier forma, suelen afectar negativamente al servicio o actividad que se esté llevando a cabo.

Debemos destacar que una interferencia puede o no ser perjudicial. El límite entre estos dos supuestos lo establece la UIT. Se considera perjudicial a una interferencia cuando se compromete el funcionamiento de un servicio o que devalúa significativamente o impide por completo un servicio de radiocomunicación. Cualquier servicio está expuesto a este fenómeno, ya sea un servicio comercial o un servicio esencial[29].

En el caso que nos atañe, existe una normativa clara a la hora de instalar nuevas estaciones base. Estas deberán ser instaladas y explotadas teniendo en cuenta servicios ya existentes de tal forma que no puedan causar interferencias perjudiciales a servicios o comunicaciones ajenas. Con este fin se prohíbe a cualquier estación las transmisiones inútiles o transmitir señales falsas o equívocas.

Con todo esto, definimos a las interferencias en función de su impacto y diferenciamos tres niveles: aceptable, admisible y perjudicial. Estas últimas son las que hay que evitar a toda costa ya que las dos primeras se pueden sobrellevar y evitar en mayor medida con la tecnología existente. A la hora de usar el espectro pueden surgir distintos tipos de interferencias, provocadas por distintas causas, de las cuales vamos a destacar la interferencia co-canal (mismo canal) y la interferencia entre canales adyacentes.

La interferencia co-canal es aquella que se experimenta en un receptor de radiocomunicaciones procedente de otra transmisión cuya portadora coincide en el mismo canal que la del transmisor deseado. Este fenómeno surge porque el receptor no ofrece rechazo a la señal interferente. Este tipo de interferencia se puede explicar mejor como una congestión ya que reduce el rendimiento de la red a base de incrementar el

tiempo de espera de un usuario a la espera de que otro finalice la transmisión[31][31][32].

En la figura 11 se puede observar lo explicado anteriormente, siendo el transmisor/receptor el dispositivo del centro y los dispositivos alrededor los que quieren transmitir a la vez y en el mismo canal. El dispositivo que establezca conexión primero es el que comenzará su transmisión y hasta que este no finalice, el resto de los dispositivos estarán en “espera” en una cola ficticia. Es por este tiempo de espera que se le denomina interferencia, ya que devalúa la calidad del servicio sustancialmente. En el caso de las comunicaciones móviles existe debido a la reutilización de frecuencias empleada, ya que cada cierta distancia se reutiliza una frecuencia ya usada en otra celda.

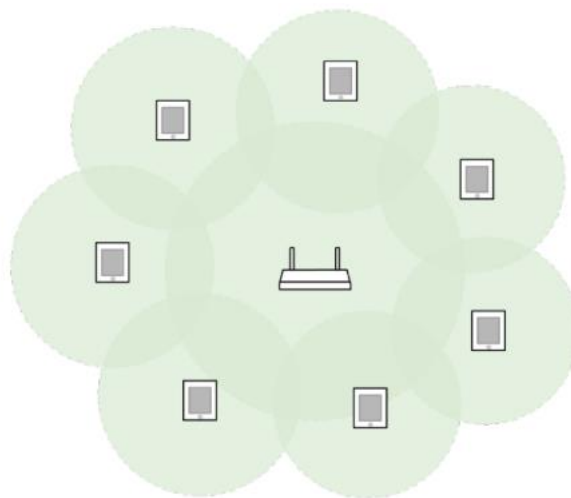


Figura 11. Interferencia co-canal [32].

La interferencia de canal adyacente es aquella que experimenta un receptor procedente de otra transmisión próxima, concretamente de una transmisión que tiene lugar en un canal superior o inferior al deseado. En este caso, la señal interferente es tratada como ruido por el receptor[31][33]. Esto se entiende fácilmente a través de la figura 12.

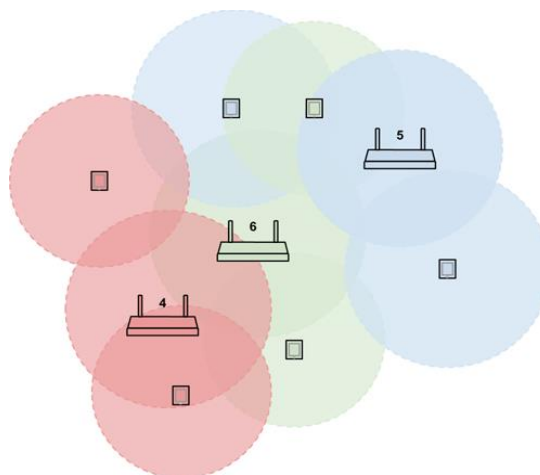


Figura 12. Interferencia canal adyacente [32].

Observamos cómo en este caso existen varios receptores/transmisores situados en el centro, entre los dispositivos externos que intentan establecer comunicación con ellos. El número que tiene cada transmisor/receptor es el canal sobre el que están funcionando y sobre el que cada dispositivo debe funcionar si quiere establecer una comunicación con ellos. Se ilustra cómo cada dispositivo se quiere comunicar con su receptor correspondiente, estando todos ubicados en el mismo sitio. Al ser tratada la señal de otro canal como un ruido, podemos observar como, por ejemplo, el receptor funcionando sobre el canal 6 obtiene ruido tanto de los dispositivos del canal 5 como de los del canal 4. Esto reduce significativamente la calidad del servicio, pudiendo llegar a inutilizarlo si no se gestiona correctamente (mediante filtración, ecualización, etc.).

Este TFG se ocupará de explicar el problema producido por la contigüidad de bandas de la TDT con el 4G (antes del segundo dividendo digital) y de la TDT con el 5G (después del segundo dividendo digital). A pesar de existir una banda de guarda de 1 MHz entre las tecnologías móviles y la de televisión, se pueden llegar a producir interferencias.

IV. Resultados

4.1 Interferencias 4G-TDT

Tal y como hemos comentado a lo largo del trabajo, el 4G llegó debido a las nuevas exigencias de anchos de banda y calidad de la conectividad móvil y es por ello que se le hizo un hueco dentro del espectro en la banda de los 800 MHz, antes ocupada por la TDT exclusivamente. La liberación completa de esta banda se produjo el 31 de marzo de 2015, teniendo únicamente tres operadores adjudicatarios de esta banda: Orange España S.A.U, Vodafone España S.A.U y Telefónica España S.A.U.

Cada uno de estos tres operadores dispondrían a partir de entonces de 2 bloques de 2x5 MHz funcionando en modo dúplex.

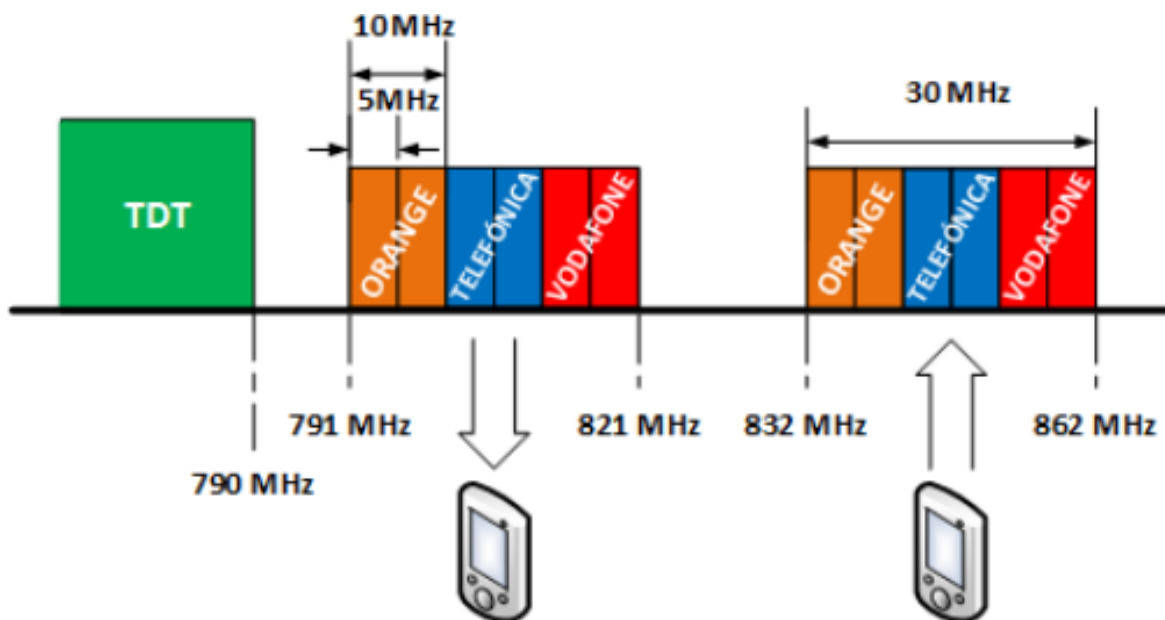


Figura 13. Convivencia 4G y TDT con bandas por operador (previo a segundo dividendo digital) [22].

En la figura anterior observamos la distribución de cada operador de la banda que se ha reservado para el 4G. Destacamos primeramente el intervalo de guarda de 1 MHz aplicado entre el último canal utilizado para la TDT y el comienzo del 4G. Esto se realizó en un principio para evitar interferencias de canal adyacente entre ambas tecnologías, aunque finalmente las hubo de igual manera. Esta repartición se realizó tras el primer dividendo digital y antes del segundo, en el que se incluyó el 5G y, con lo cual, esta distribución cambió.

Observamos también en la ilustración cómo se usa la sub-banda 791 MHz – 821 MHz para la canalización de bajada (enlace descendente) y la sub-banda 832 MHz – 862MHz

para la canalización de subida (enlace ascendente). Se establece un espacio entre ambas canalizaciones de unos 11 MHz.

La posibilidad de que existieran interferencias entre la TDT y el 4G se tenía presente en todo momento durante y antes de la implantación de esta nueva tecnología. Es por ello que el Gobierno a través de un Real Decreto establece que, en el caso de que se produjesen interferencias o perturbaciones el servicio de la TDT, la empresa que presta el nuevo servicio de comunicaciones móviles se verá obligada a realizar los ajustes técnicos que sean necesarios para producir la eliminación de éstas. También se aclara que es la empresa la que se debe encargar de sufragar el coste de estas modificaciones a realizar, ya sea en las instalaciones receptoras que se vean afectadas (antenas de recepción TDT en los domicilios de los clientes) o el coste que conllevaría cualquier tipo de instalación alternativa.

Respecto a este tipo de interferencias, se realizó un estudio intensivo de la hipotética situación de la convivencia del 4G con la TDT previo al despliegue de esta cuarta generación de comunicaciones móviles en Zamora. En esta prueba piloto se establecieron escenarios reales, en los cuales se encendían los nodos 4G pertinentes en toda la ciudad para así poder medir correctamente el impacto que tenían sobre los sistemas de captación TDT dentro de su área de cobertura. Tras realizar los procedimientos, comprobaciones y medidas necesarias se pudo verificar que estos nodos 4G afectaban negativamente a la mayoría de los receptores TDT cercanos, generando interferencias[34].

Tras realizar los estudios correspondientes se llegó a una solución basándose en que los problemas dependían de:

- La posición y distancia de las antenas receptoras de TDT con respecto a las estaciones emisoras tanto de TDT como de 4G.
- La magnitud o nivel de potencia que se emplea en cada una de las estaciones emisoras.
- Estado en general de la instalación de televisión (antenas y distribución de la señal) del usuario final.

La solución propuesta, teniendo en cuenta los problemas citados anteriormente, fue la colocación de un filtro específico en la instalación del usuario final. Este filtro se colocará en un punto en específico en la instalación y se procederá a explicar en la sección 4.1.3.

El propósito principal de la elección de los filtros como medida más efectiva para la mitigación de las interferencias, es la fácil y rápida resolución de estas a través de un filtrado en frecuencia (filtrado paso banda) de la señal recibida, con el objetivo de procesar solo la señal deseada y eliminar así de forma directa las interferencias, aplicándoles un factor de rechazo a las señales presentes en frecuencias fuera de interés.

4.1.1 Protocolo de actuación ante las interferencias

El protocolo de actuación fue diseñado para la eliminación de las interferencias en las instalaciones de los usuarios. Los operadores de telecomunicaciones del país, junto con el Estado, eligieron a la empresa Elecnor S.A. para gestionar todas las incidencias relacionadas con el 4G y llevar a cabo la resolución de éstas.

Actualmente, existen dos formas de comprobar la existencia de interferencias, siendo una de ellas accesible a todo el mundo y relativamente sencilla, sin la necesidad de tener ningún conocimiento técnico avanzado a la hora de realizar las comprobaciones. Existe también otro procedimiento, pero para este sí que es necesario la presencia de un técnico especializado, con el equipamiento necesario para realizar las diversas comprobaciones y posteriores instalaciones si es que son necesarias.

4.1.2 Identificación primaria de interferencias

La detección primaria de las interferencias puede realizarla cualquier usuario de TDT, ya que se encuentra a disposición de todo el mundo la información y herramientas necesarias para la realización del procedimiento. Esta información está proporcionada directamente por el Ministerio competente en materia de telecomunicaciones[35]. Mediante este simple proceso es posible discernir en la mayoría de los casos si las interferencias, en caso de haberlas, están relacionadas con el 4G o si estas son ajenas a esta tecnología.

En primera instancia se deben conocer los signos más frecuentes de la existencia de interferencias de la señal 4G con TDT. Habitualmente se detecta una falta de señal que resulta en el pixelado de las imágenes de los últimos canales de la banda, los adyacentes a la banda 800, es decir, la banda empleada para los servicios 4G. Estos son los canales 58, 59 y 60, tal y como se observa en la figura 7. Dichos canales están pegados a los primeros de la banda de 800 MHz, lo que hace que puedan recibir potencia interferente proveniente de la tecnología 4G. Cabe destacar que el último canal que contiene señal TDT varía según la ubicación dentro de España. Existen zonas en las cuales el último canal que contiene señal TDT es el canal 57, por ejemplo. Esto se comprueba fácilmente de la forma que se explica en el punto 2 del proceso que se explica en esta misma sección.

La existencia de este pixelado no significa necesariamente que existan estas interferencias, también es posible que nuestro dispositivo de recepción/decodificador TDT necesite una resintonización. Realizando este paso podemos descartar que sea el equipo el que tiene los problemas.

Una vez realizada la resintonización se debe comprobar de nuevo si persisten los problemas de pixelado en los últimos canales. En el caso de que siga habiendo problemas, se debe consultar en la página web habilitada por el Ministerio en qué canal

del espectro se encuentran estos canales afectados. Para realizar este procedimiento se recomienda seguir los siguientes pasos:

1. Buscar en el navegador la dirección web <https://televisiondigital.mineco.gob.es> y acceder al apartado “Consulta la cobertura TDT de tu localidad”.



Figura 14. Búsqueda de localidad [28].

2. Una vez en esta página introducir el código postal de la localidad en la que nos encontremos realizando la prueba y presionar el botón “Buscar”.



Figura 15. Búsqueda de localidad (2) [28].

3. A continuación, si apareciera un menú desplegable, seleccionamos nuestra localidad y pulsamos de nuevo “Buscar”.
4. Nos aparece entonces una página con información variada sobre cómo identificar tu tipo de vivienda y cómo acceder a las ayudas que concede el gobierno para adaptar las antenas al segundo dividendo digital. Al final de toda esta página encontramos un enlace que dice “Continuar leyendo”. Pulsamos sobre él y se muestran entonces las siguientes figuras:

Si quieres conocer información al detalle sobre las frecuencias y los centros emisores de tu localidad, [continúa leyendo](#).

Un múltiple digital es un conjunto de canales de televisión. En cada localidad, cada múltiple digital se emite por una frecuencia diferente.

La tabla que se ofrece a continuación muestra las frecuencias por las que se emite cada múltiple digital y el nombre del centro emisor de señales de televisión que cubre el código postal consultado.

El número de frecuencias que cambian en el código postal consultado es: 4

Múltiple digital	Situación Previa		Situación Definitiva	
	Centro	Canal	Centro	Canal
RGE	TORRESPAÑA	58	TORRESPAÑA	33
RGE2	TORRESPAÑA	41	TORRESPAÑA	41
MPE1	TORRESPAÑA	33	TORRESPAÑA	32
MPE2	TORRESPAÑA	59	TORRESPAÑA	34
MPE3	TORRESPAÑA	49	TORRESPAÑA	25
MPE4	TORRESPAÑA	26	TORRESPAÑA	26
MPE5	TORRESPAÑA	22	TORRESPAÑA	22
MAUT	TORRESPAÑA	55	TORRESPAÑA	38

Figura 16. Canales del espectro en la localidad buscada [28].

La siguiente figura nos muestra tanto los nombres de los múltiplex en la primera fila (RGE1, RGE2...), las empresas adjudicatarias en el primer bloque de contenido de la tabla (RTVE, Atresmedia...) y por último, en el bloque final los canales existentes dentro de cada múltiplex (La 1, TDP, Antena 3...).



Figura 17. Canales en cada múltiplex [28].

Observando la figura 16, distinguimos dos columnas. La columna “situación previa” corresponde al primer dividendo digital, es decir, a cómo quedó organizado el espectro tras la primera reordenación para incluir el 4G. La columna “situación definitiva” corresponde al segundo dividendo digital, es decir, a como ha quedado organizado el espectro tras la segunda reordenación para incluir el 5G.

Para la detección de incidencias que se está planteando en este proyecto solamente nos fijaremos en la columna “situación previa”, ya que es la correspondiente al primer dividendo digital, realizado a causa del 4G. Se aporta información tanto del centro emisor como del canal del espectro en el cual se emite, y esto es así para todos los múltiplex.

Se comentaba anteriormente que los canales conflictivos eran el 58, 59 y 60, siendo posibles otros números según la ubicación de la que se trate, por lo que hay que identificar si en nuestra localidad existe algún múltiplex que se emita en alguno de esos canales.

5. Por último, debemos comprobar en la tabla de la figura 16 y columna “situación previa” los múltiplex que se emiten en los últimos canales del espectro. Una vez hecho esto, se revisa en la figura 17 qué servicios (canales de TV) se dan en esos múltiplex.

Comprobamos en la TV si esos canales presentan algún tipo de pixelado en la imagen.

En el caso de mostrar signos claros de interferencias en estos canales, queda una última comprobación que consiste en cerciorarnos de que en nuestra localidad existe emisión de 4G actualmente. Es cierto que en la actualidad la cobertura es muy elevada, por lo que es muy probable que cualquier municipio esté cubierto por un nodo 4G.

6. La emisión actual de 4G se comprueba fácilmente a través del enlace <https://www.llega800.es/> deslizando hacia abajo en la web hasta el apartado “comprueba si tu domicilio está afectado”.



Figura 18. Comprobación afectación interferencias [35].

7. A continuación, nos aparece un recuadro en el que se debe introducir el código postal de nuestra localidad, presionar la tecla Enter y pulsar el botón “comprueba si esta dirección está afectada”, tal y como se muestra a continuación.

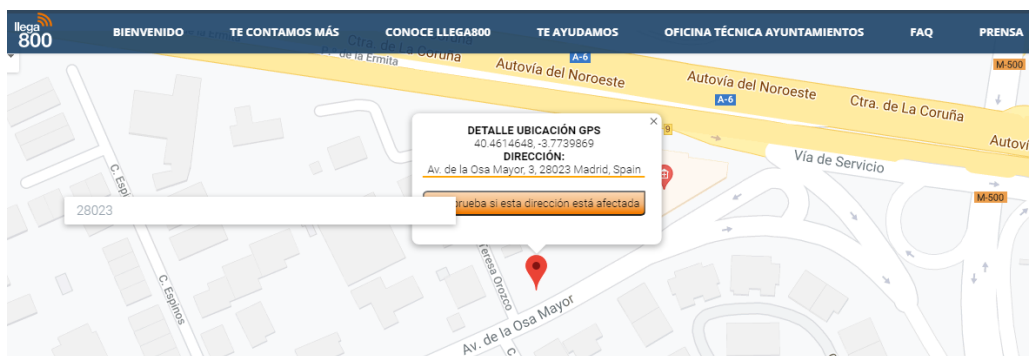


Figura 19. Comprobación de afectación 4G [35].

8. Una vez realizado este paso, sabremos mediante la ventana que aparece si nuestra localidad podría estar afectada o no por las interferencias del 4G.

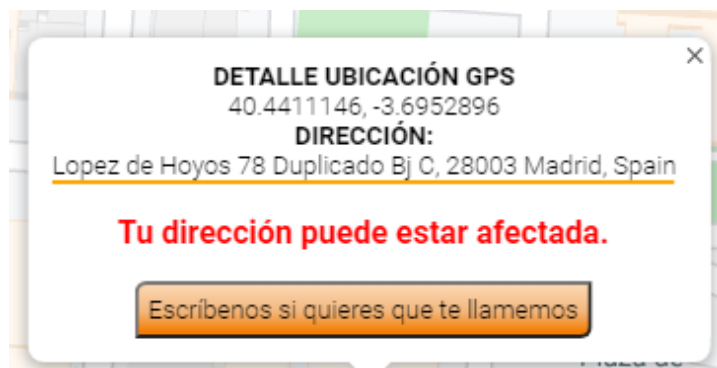


Figura 20. Resultado afectación 4G [35].

Tras la realización del anterior procedimiento es fácil determinar si existe un problema de interferencias reales del 4G sobre la TDT. En el caso de recibir el mensaje “Tu dirección puede estar afectada”, es muy probable que existan estas interferencias mencionadas y por lo tanto es necesaria la visita de un técnico cualificado al domicilio, realizar las pertinentes comprobaciones y proceder a la instalación del filtro correspondiente. En estos casos todos los gastos corren por cuenta de los operadores a través del Ministerio.

En el caso de necesitar asistencia, al pulsar sobre el botón “Escríbenos si quieres que te llamemos”, se procede a generar una incidencia, recibida por el personal del centro de llamadas de Llega800, que se pondrán en contacto con la persona afectada para realizar las preguntas necesarias antes de enviar un técnico cualificado para estudiar el caso.

Durante la llamada se realizarán preguntas para asegurarse de si se trata o no de una antena de una comunidad de vecinos (en este caso debe llamar el presidente de la comunidad habiendo comprobado antes si todos los vecinos tienen problemas), si se tienen problemas en un televisor únicamente o en todos los televisores que haya en el domicilio y de si la antena ha sido resintonizada tras el primer dividendo digital o no.

En el caso de recibir el mensaje “Tu dirección NO se encuentra afectada”, existe algún problema en la red de distribución y/o captación de TDT, ya sea en la antena o en el decodificador TDT. En estos casos la solución la tiene que encontrar el cliente por su cuenta.

4.1.3 Protocolo técnico de actuación

Una vez realizado el proceso descrito en el apartado anterior, el cliente se pone en contacto o pide que se pongan en contacto con él en el caso de tener problemas con las interferencias (a través de la web de Llega800). Es entonces cuando se procede al envío de un técnico cualificado al domicilio de la persona afectada para realizar un estudio y resolver los problemas existentes.

El técnico primeramente debe asegurarse de la existencia de interferencias, pero éste lo hace a través de un equipo que analiza el espectro radioeléctrico, un medidor de campo. Este equipo permite al técnico visualizar el espectro en tiempo real, permitiéndole así analizar la información que este contiene y extraer información valiosa para el estudio. El principal parámetro medido es la potencia recibida ya que a

través de ella se puede conocer al detalle los canales de la TDT que se reciben, así como las características de las señales interferentes provenientes del 4G.

El técnico procederá a realizar la medición del campo, obteniendo una imagen como la que se muestra en la siguiente figura.

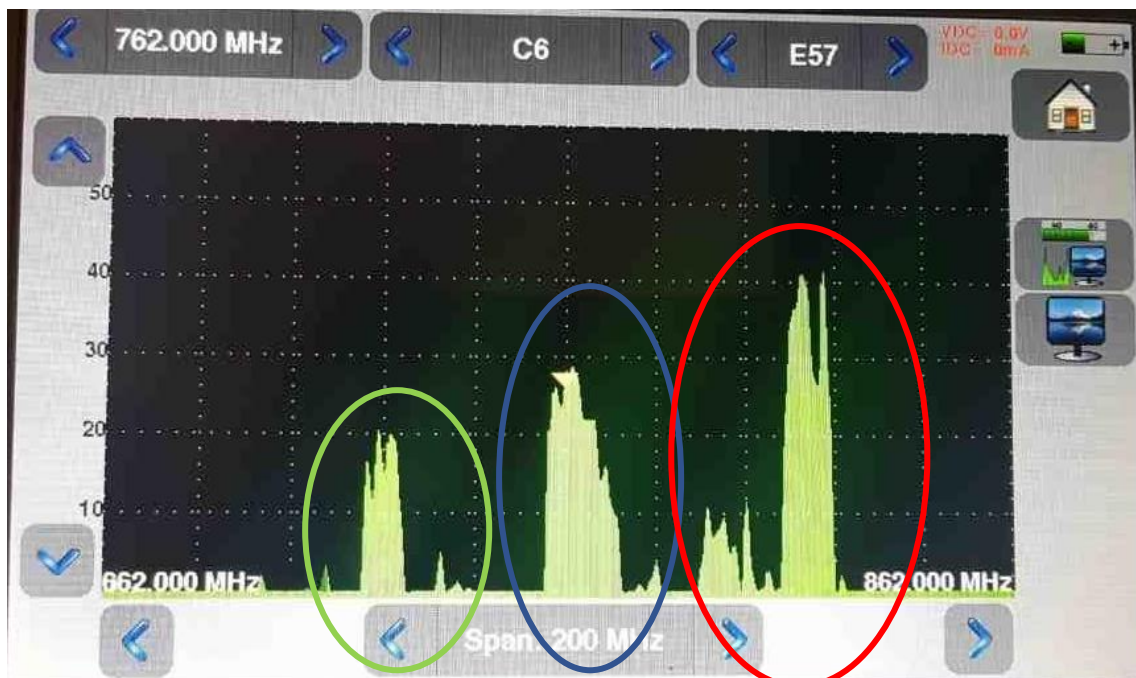


Figura 21. Medición espectro antes de instalación/es.

Podemos observar que la porción del espectro que se analiza es la más cercana al 4G, es decir, el final del espectro disponible para la emisión de TDT. Las frecuencias entre las cuales el medidor de campo representa la potencia recibida son 662 MHz y 862 MHz. Esto se debe a que el span es de 200 MHz, estando éste centrado en 762 MHz, con divisiones en pantalla de 20 MHz cada una. Se adjunta una representación manual en la figura 21 para facilitar la lectura de frecuencias.

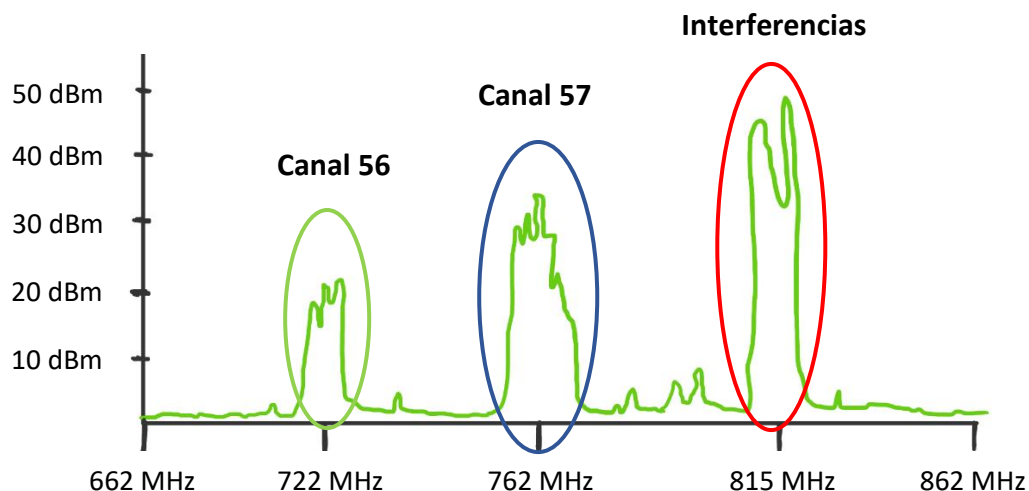


Figura 22. Representación manual espectro.

Tal y como se observa en la parte superior derecha de la captura, se está analizando el canal 57 ("E57"), que es el más próximo a la banda del 4G en la localidad en la que se está realizando la medición (Obtenido siguiendo los pasos explicados en la sección 4.1.2).

Vemos en la ilustración tres círculos de colores. En el caso del círculo azul (espectro centrado en 762 MHz), está indicando que esa representación de potencia es la correspondiente al canal 57, sobre el que se está centrando la medida para observar la afectación del 4G.

Se puede observar también la potencia correspondiente al canal 56 en el espectro, esta vez rodeado en color verde (centrado en 722 MHz). Se aprecia de forma muy clara cada canal y el espacio de guarda que hay entre ellos. Por último, tenemos el círculo rojo que rodea a la potencia percibida interferente, perteneciente al 4G (espectro centrado en 815 MHz). Se sabe que esta potencia proviene del 4G debido a que el último canal en el que se emite algún contenido de la TDT es el 57, sabiendo esto tras haber seguido los pasos indicados en el protocolo de detección primaria detallado más arriba. Se observa cómo la potencia que se recibe del 4G es incluso mayor que la recibida de la TDT, por ello es necesario realizar alguna modificación o instalación en el domicilio.

Al finalizar este estudio y el técnico determinar la existencia de interferencias provocadas por 4G, siempre se intentará actuar sobre los elementos que ya existen en la instalación con el fin de eliminar o reducir lo máximo posible el grado de afectación de las interferencias sobre los servicios de televisión. Esto se puede hacer en 3 casos:

- En caso de que en la instalación haya algún amplificador, se suprimirá la banda de los 800 MHz. A su vez, se disminuirá la ganancia (si es ajustable) siempre manteniendo el nivel de señal de TV suficiente.
- En caso de que en la instalación haya un amplificador modular, se retirarán los módulos que correspondan a los canales entre el 61 y 69 (ambos incluidos, es decir, todos los pertenecientes a 4G).
- En caso de que en la instalación haya una centralita programable se deberá reprogramar para rechazar los canales entre el 61 y 69 (ambos incluidos).

Si tras la ejecución de los casos anteriores existen signos de que la interferencia sigue existiendo, entonces es cuando se procede a la instalación de un filtro que rechace la banda de 800 MHz.

Este tipo de filtros que se usan son fácilmente instalables y hay de varios tipos, pero todos ellos cumplen con la misma finalidad, que es eliminar las frecuencias en las que se recibe potencia del 4G. Estos filtros tienen un funcionamiento sencillo ya que simplemente disponen de una banda de paso y una banda que se elimina, es decir, a partir de una determinada frecuencia la potencia recibida se atenúa tanto que es prácticamente inapreciable a la salida del filtro, lo que hace desaparecer a las interferencias.

Al inicio del proyecto "Llega800" se empleaban distintos tipos de filtros que se limitaban a filtrar la banda de 800 MHz, que era la que en ese momento causaba interferencias. Con la llegada del 5G y por consecuencia el segundo dividendo digital los filtros que se instalaban en ese momento han sido sustituidos por otros más modernos y adaptados a la banda de 700 MHz, en la que se sitúa la tecnología 5G.

Es evidente que estos filtros se han actualizado para ofrecer también un alto rechazo en las frecuencias en las que emite 5G por el hecho de que esta tecnología también puede provocar, en algunos casos, interferencias con la TDT. En el momento de realización de este TFG aún no se había completado el protocolo técnico de actuación frente a las interferencias provocadas por 5G sobre la TDT, pero al tratarse de una situación muy similar a la anterior (contigüidad de las bandas de ambas tecnologías), es deducible que se tratará este problema también de forma similar y el procedimiento de mitigación de las interferencias será muy parecido. La principal diferencia es que actualmente (tras el segundo dividendo digital), la TDT dispone hasta el canal 48 para sus emisiones, perteneciendo los canales entre el 49 y 60 a 5G.

A continuación, se detallan los filtros que se utilizaban en 4G y una propuesta de filtros que podrían ser utilizados en 5G en las bandas de trabajo:

- Filtro de Televes LTE HR "EASYF" 47..782MHz (C21-59) 405403 (antiguo):

Se trata de un filtro diseñado para rechazar la potencia recibida a partir del canal 60 (incluido), es decir, la banda de paso es desde los 47 MHz hasta los 782 MHz.

Se observa en la figura 24 la curva de ganancia del filtro según la frecuencia y se ve claramente cómo a partir de la frecuencia de corte (unos 787 MHz) la ganancia cae en picado, pasando a ser llamada rechazo. Este rechazo es de más de 30 dB, por lo que la potencia que se reciba en esos rangos de frecuencia se verá muy atenuada y no afectará a la correcta recepción de la señal de televisión.



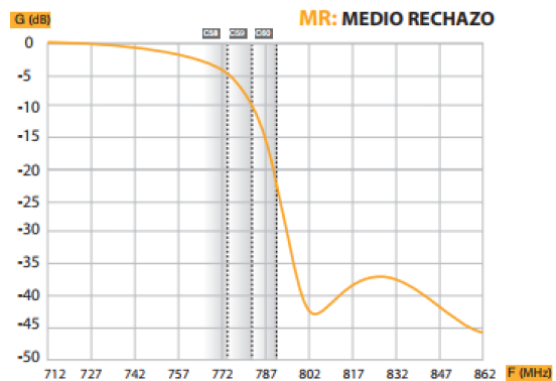
Figura 23. Filtro 405403 [36].



Figura 24. Ganancia del filtro según frecuencia [36].

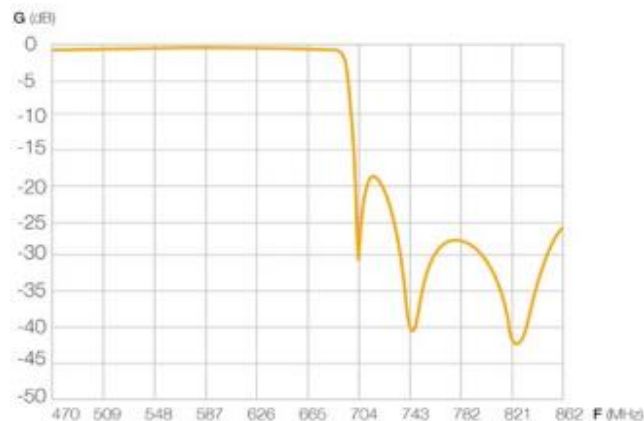
- Filtro de Televes LTE MR "CEI"403101 (antiguo):

En este caso también se trata de un filtro para rechazar la potencia que se recibe a partir de los 774 MHz aproximadamente, es decir, a partir del canal 60, lo que hace que se eliminen la señal del 4G. En la figura 26 observamos cómo la atenuación aumenta a partir de la frecuencia de corte (774 MHz), generando un rechazo de unos 30 dB. La diferencia de ambos filtros es la ubicación en la que se instala, que se detallará al final de esta sección.



- Filtro LTE/5G HR 47..694MHz (C21-C48) 405202 (nuevo):

Se trata del mismo filtro 405403 pero rediseñado para ser útil también a la hora de eliminar interferencias provenientes del 5G. Esto se detecta fácilmente ya que la banda de paso de este filtro es entre los canales 21 y 48 del espectro radioeléctrico (los pertenecientes a la TDT tras el segundo dividendo digital). Según se observa en las figuras siguientes, podemos determinar que el aspecto del filtro antiguo es idéntico al nuevo, lo que cambia es la ganancia según la frecuencia a la que se esté recibiendo la señal. Se ve claramente en la figura 28 cómo la frecuencia de corte del filtro es de unos 694 MHz, frecuencia a partir de la cual la atenuación aumenta significativamente, lo que hace que la señal proveniente de 5G se vean rechazada.



- Filtro LTE/5G HR CEI 47...694MHz 403201 (C21-C48) (nuevo):

Este filtro tiene unas características similares a las del 403101, siendo éste de alto rechazo y el anterior de medio rechazo. Esta variación solo se va a apreciar en la curva de la ganancia según la frecuencia (figura 30), que tendrá una bajada más abrupta. El conector es del mismo tipo que el de su predecesor, teniendo como única diferencia la banda de paso, ya que éste rechaza las interferencias de 5G debido a que su banda de paso es de 47 MHz hasta los 694 MHz.



Figura 29. Filtro 403210 [38].

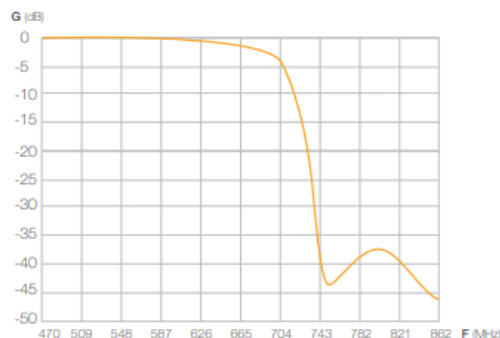


Figura 30. Ganancia según frecuencia [38].

Cabe destacar que estos no son los únicos filtros que se utilizan para la mitigación de las interferencias, sino que son los más utilizados y los más comunes, ya que suelen resolver los problemas de interferencias existentes en las instalaciones de los clientes.

En cuanto a la ubicación, dentro de la instalación de recepción de señal de TV, de los filtros que hemos indicado anteriormente, observamos en la ilustración siguiente cómo los filtros del tipo de los 405202 y 405403 se ubican entre la antena que recibe la señal y el amplificador que la amplifica. En la figura se aprecia claramente el funcionamiento del filtro, ya que se representa cómo entran al filtro frecuencias de todos los canales y cómo salen del filtro frecuencias de solo los canales que queremos, evitando así las interferencias.

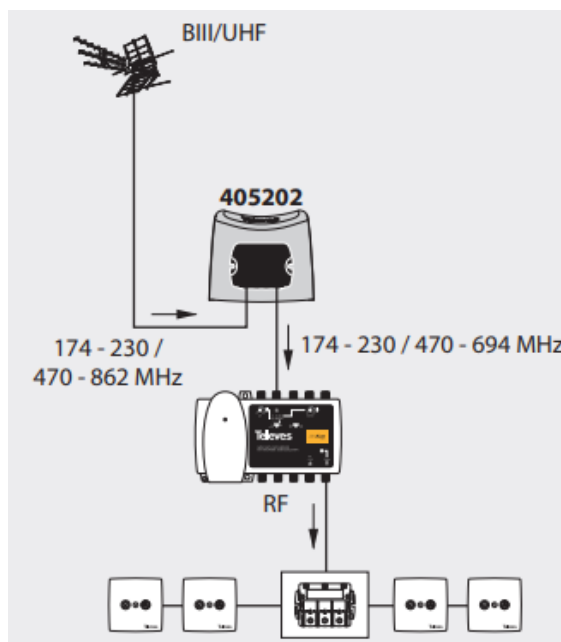


Figura 31. Ubicación filtro 405202 [38].

En el caso de los filtros 403201 y 403101 su instalación es mucho más sencilla, ya que se conecta directamente a la toma de antena de las TVs (o a través de un cable coaxial) que haya en el domicilio, además de al amplificador. Se muestran a continuación dos imágenes reales de un filtro de cada tipo tras haber realizado su instalación:



Figura 32. Filtro 405202 instalado.



Figura 33. Filtro 403201 instalado.

Una vez se ha realizado la instalación de los filtros correspondientes, el técnico procede a realizar una nueva medición del espectro con el medidor de campo para verificar si se

han eliminado por completo las interferencias provenientes del 4G. A continuación, se adjunta una imagen del medidor de campo tras la instalación del filtro o filtros:



Figura 34. Medición espectro después de instalación/es.

Si realizamos una comparación entre ambas capturas del medidor de campo se observa una diferencia clara. Ahora, tras instalar los filtros necesarios las interferencias han desaparecido, simplemente se ve el espectro de los canales 57 (sobre el que se centra la medida) y el anterior canal. El efecto de la filtración se distingue claramente en el círculo rojo, habiendo hecho desaparecer la potencia a esas frecuencias sin haber afectado al resto de frecuencias que sí que deseábamos que se recibieran normalmente.

Una vez comprobado esto, queda resuelta la incidencia y por lo tanto el cliente puede ver la televisión sin ningún tipo de problema.

4.2 Situación actual del despliegue 4G en España

En la actualidad el despliegue 4G en España se encuentra en un estado muy avanzado ya que lleva en pie desde verano del año 2013 y desde entonces no se han dejado de desplegar nuevos nodos por parte de los tres principales operadores del país. Actualmente la cobertura de esta tecnología cubre a la mayor parte del país, siendo esta más fuerte en las grandes ciudades y menor en las zonas más rurales y con menos población. A continuación, se muestran los mapas de cobertura de Telefónica, Vodafone y Orange.

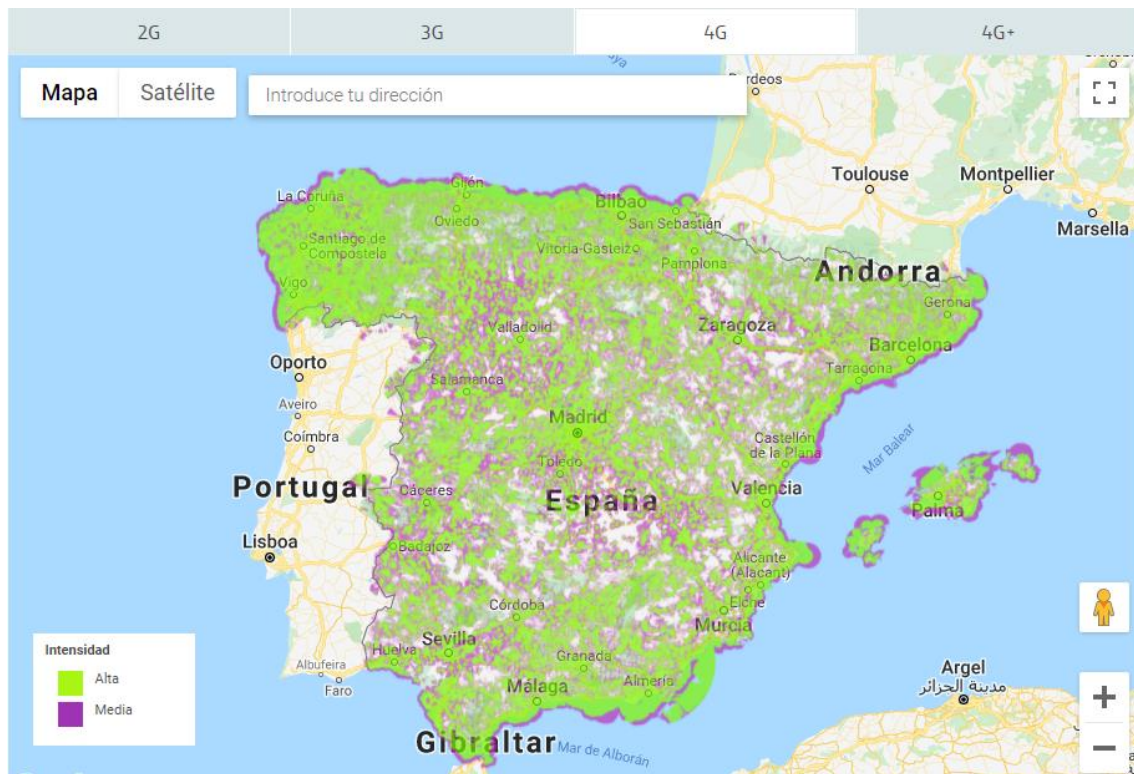


Figura 35. Mapa de cobertura 4G Telefónica [7].

Se observa de forma clara cómo en el caso de Telefónica la cobertura es muy extensa, cubriendo aproximadamente un 93% del territorio nacional. Las zonas con un color verde más claro indican que se tiene en esas ubicaciones una cobertura más fuerte, y suelen coincidir con zonas con una densidad de población bastante alta como por ejemplo ciudades como Madrid, Barcelona, el sur de Andalucía, etc.

Las zonas en las que hay un color morado representan una cobertura con intensidad media, es decir, existe cobertura, pero no es tan potente como en las zonas verdes. Esto se transforma en una reducción de la velocidad a la hora de navegar.

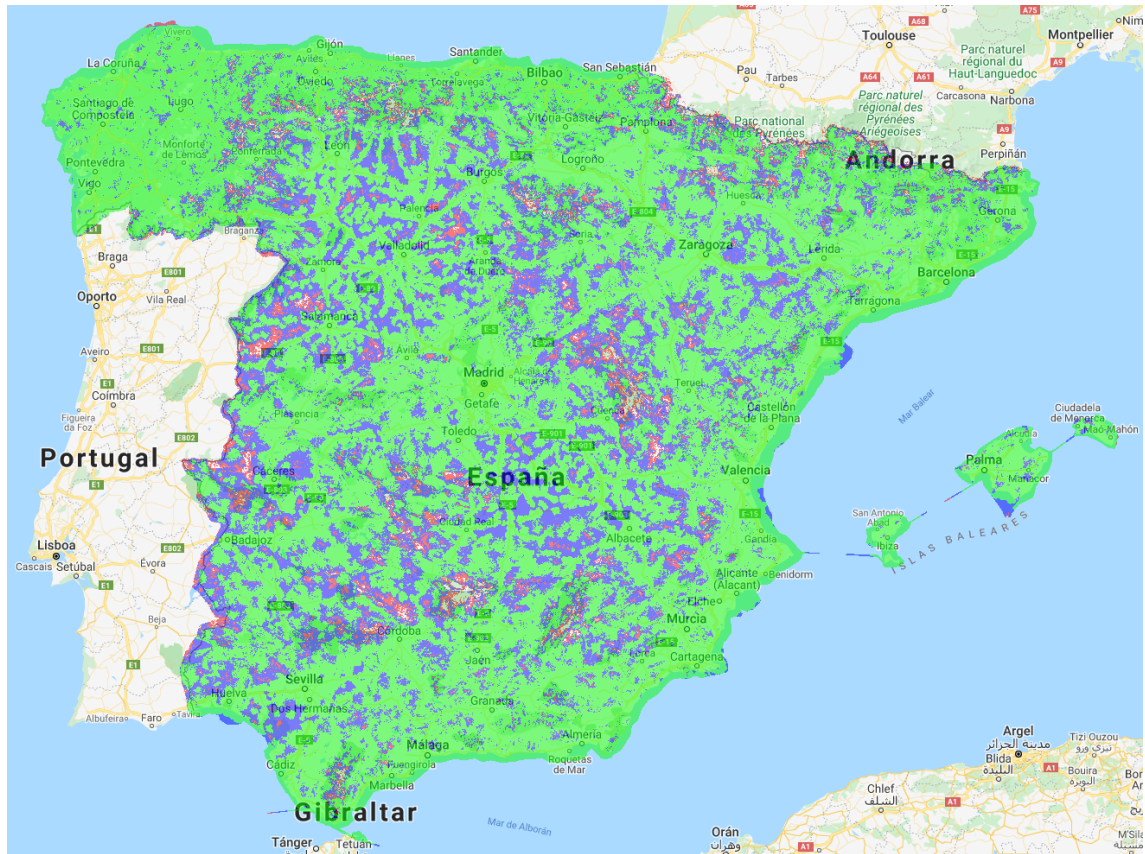


Figura 36. Mapa cobertura 4G Vodafone [8].

Para el caso de Vodafone se observa que también dispone de una cobertura muy buena, aproximadamente de un 95% del territorio español. El código de colores es similar al de Telefónica, siendo el color verde claro las zonas con una intensidad de cobertura muy fuerte, recibiendo aquí una mejor señal y obteniendo una conexión más rápida. Además, hay zonas de color azul que indican una intensidad de cobertura fuerte y zonas de color rojo que indican una intensidad de cobertura baja. También hay zonas en color blanco (apenas apreciables) que representan las zonas en las que no existe ningún tipo de cobertura 4G.

La distribución de la cobertura por parte de Vodafone es muy parecida a la de Telefónica, siendo mayor en zonas muy pobladas (grandes ciudades) y menor en las zonas rurales y más despobladas.



Figura 37. Mapa cobertura 4G Orange [9].

En el caso de Orange, el mapa de cobertura que se muestra incluye las tecnologías 3G, 4G y 5G. Como es el 4G el que nos incumbe, nos fijaremos únicamente en el color naranja, que es el que representa la cobertura de esta tecnología. La cobertura del 4G de Orange cubre aproximadamente un 80% del territorio nacional, centrándose sobre todo en las grandes ciudades, al igual que los otros 2 operadores. En este caso no distinguen entre zonas con alta o baja intensidad de cobertura, ya que se muestran todas las tecnologías simultáneamente.

Por lo tanto, entre los tres principales operadores del país se cuenta con una cobertura muy buena, que cubre más de un 95% del territorio nacional y está muy cerca de cubrir al 100% de la población. Estas cifras se consiguen gracias al gran despliegue de estaciones base o nodos 4G que han ido realizando a lo largo de los años Telefónica, Vodafone y Orange. Este despliegue ha sido progresivo hasta acabar en la actualidad con más de 47600 nodos encendidos y prestando servicio. Se muestra a continuación una tabla con el número de nodos que se han desplegado cada año por parte de cada operador.

	Telefónica	Vodafone	Orange
2015	1248	1402	1140
2016	4025	5420	2724
2017	2428	1938	3326
2018	3491	1580	2309
2019	3853	992	1082
2020	1675	1139	1894
2021	996	2431	2606
TOTAL	17716	14902	15081

Tabla 5. Nodos encendidos por cada operador hasta 31/12/2021.

Esta tabla muestra una clara superioridad de Telefónica en cuanto a número de nodos, habiendo desplegado la mayoría de estos en los primeros años junto con Vodafone, liderando los comienzos de la tecnología 4G en nuestro país. Observamos que contamos en nuestro país con 47699 nodos 4G, siendo el 37% de ellos de Telefónica, el 31% de Vodafone y un 32% de Orange.

El despliegue de todos estos nodos ha conllevado, como se ha comentado anteriormente en este proyecto, la instalación de filtros que eliminen las interferencias provocadas sobre la TDT en los domicilios de los clientes. El número de instalaciones de filtros desde 2015 es mayor de 900000 unidades. A continuación, se muestra una tabla con las instalaciones de filtros correspondientes a cada operador.

	Telefónica	Vodafone	Orange
2015	27184	17399	22161
2016	126335	119574	76268
2017	106823	47941	112331
2018	71246	23758	49412
2019	50296	13713	15159
2020	14342	6339	8521
2021	2839	7636	4879
TOTAL	399065	236360	288731

Tabla 6. Instalaciones filtro por operador hasta 31/12/2021.

Observamos en la tabla cómo existen hasta el día de hoy 924.156 instalaciones de filtros, habiéndose hecho cargo de ellas en un 43% Telefónica, un 26% Vodafone y un 31% Orange.

La forma de asignar el coste de una reparación a un operador u otro es automática, la propia aplicación interna de ELECENOR se basa en la distancia desde un nodo hasta el municipio afectado además de si ese nodo está o no en garantía. Un nodo está fuera de garantía cuando han pasado 6 meses desde que se encendió (empezó a funcionar normalmente para el público) y no se ha notificado ninguna incidencia causada por ese nodo en todo ese tiempo. De esta forma la aplicación determina qué nodo es el que está provocando las interferencias sobre la TDT.

4.3 Estimación de costes del despliegue 4G por operador

El coste estimado de cada operador debido al despliegue del 4G se obtendrá de la suma de las estimaciones de precio de cada estación base, los filtros que se hayan tenido que instalar y el mantenimiento que tenga que hacerles a sus propias estaciones. En estos cálculos no se incluyen gastos de subasta del espectro ni otros gastos relacionados con impuestos, como tampoco de las obras civiles que pueden ser necesarias en ciertos casos. Es importante destacar que se trata de cálculos aproximados realizados a gran escala, son muy genéricos, pero nos permiten tener una pequeña orientación de los costes que ha tenido que asumir cada operador para llevar a cabo el despliegue.

Se sabe que la empresa ELECENOR cobra a cada operador alrededor de 45 euros por cada visita e instalación de filtro (precio que se ha mantenido estable en el tiempo), con lo que obtenemos los siguientes resultados.

	Telefónica	Vodafone	Orange
TOTAL ACTUACIONES	399065	236360	288731
TOTAL GASTO	17.957.925,00 €	10.636.200,00 €	12.992.895,00 €

Tabla 7. Gastos por actuaciones por operador.

En cuanto a los costes por cada estación base desplegada, se va a elaborar una tabla con el material y equipos que se ha empleado en ellas, sumando finalmente el gasto y calculando el gasto total que ha asumido cada operador por el despliegue de estas. En la tabla se muestra un cálculo muy aproximado del coste por cada estación base, teniendo en cuenta los equipos básicos necesarios y 2 antenas. Es evidente que no todas las estaciones base son iguales, ya que algunas tendrán la capacidad de emitir en más frecuencias que otras, necesitarán más antenas, y en general, serán distintas. Existe

también la posibilidad de que se reutilicen y aprovechen equipos de 3G e incluso que se disponga de ambas tecnologías en la misma estación base.

Se ha realizado un cálculo muy genérico para el caso de una estación base con los equipos mínimos necesarios y dos antenas, emitiendo en una única frecuencia, por lo que se tratan de cifras muy aproximadas. A estos gastos también habría que sumarle los correspondientes a la obra civil a realizar en el caso de que sea necesaria (si no se reutiliza una ya existente de 3G) a la hora de instalar una nueva estación base.

ESTACIÓN BASE HUAWEI	
Equipo	Coste
Plataforma y portal Web. Suscripción y soporte	224.000,00 €
Software de control y administración estación base	42.000,00 €
Software QoS	33.000,00 €
Equipos de alimentación y armarios (interior) MTS900A	21.000,00 €
Equipo de climatización con armario (exterior) MTS 9510A	21.000,00 €
Rack y equipos de tarjetas de red	19.000,00 €
Optimización de servicio para GSM	3.000,00 €
Antena ATR4518R25v06 (por unidad)	2.500,00 €
Servicio optimización de red BTS3012	1.900,00 €
Cableado y racks de cableado	500,00 €
Sensores (Temperatura, humedad)	150,00 €
TOTAL	370.550,00 €

Tabla 8. Precio por cada estación base 4G[39].

Una vez tenemos el precio de cada estación, obtenemos el gasto por estas que ha asumido cada operador.

	Telefónica	Vodafone	Orange
TOTAL NODOS	17716	14902	15081
TOTAL GASTO	6.564.663.800 €	5.521.936.100 €	5.588.264.550 €

Tabla 9. Gastos por estaciones base por operador[39].

Una vez obtenidos los 2 principales gastos que cada operador ha asumido, hasta la fecha de hoy, a la hora de realizar el despliegue del 4G sumamos ambos y obtenemos una estimación burda del gasto total que han hecho en estos años, sin tener en cuenta averías, mantenimiento ni otros servicios.

	Telefónica	Vodafone	Orange
TOTAL GASTO DESPLIEGUE 4G	6.582.621.725 €	5.532.572.300 €	5.601.257.445 €

Tabla 10. Estimación del gasto total sin considerar averías, mantenimientos ni otros servicios del despliegue 4G.

V. Conclusiones

Nos encontramos en la etapa final del despliegue 4G en nuestro país, con la quinta generación (5G) a la vuelta de la esquina. Esto no significa el fin de esta tecnología ya que nos encontramos en etapas muy tempranas del 5G y en una madurez completa del 4G. La transición va a ser larga ya que se va a tratar de un proceso de adaptación de todas las estaciones 4G a estaciones 5G, haciendo que ésta primera perdure bastante en el tiempo.

Desde el comienzo en 2015 del despliegue, han sido muchas las estaciones instaladas y, sobre todo, muchos los cambios que se han producido en cuanto a las comunicaciones móviles. Se ha conseguido evolucionar de una tecnología 3G que era útil para mensajería instantánea, correo electrónico y actividades que no requerían de gran ancho de banda ni de una velocidad de conexión elevada, a una tecnología 4G que satisface con creces las necesidades que se han ido generando con el paso de los años, como el auge de los videos en streaming, páginas web cada vez más pesadas, juegos en línea, etc. Además, ha supuesto un gran cambio en cuanto a la movilidad como tal, ya que es posible permanecer conectado y mantener muy buena calidad de conexión y ancho de banda incluso cuando viajas a alta velocidad.

Sin duda todas estas mejoras han sido posibles gracias al muy amplio despliegue de nodos 4G que ha habido en nuestro país por parte de los grandes operadores, con más de 47000 estaciones base que ofrecen una cobertura en conjunto del 95% del territorio y de alrededor de un 99% de la población de nuestro país.

A pesar del amplio y exitoso despliegue, se han producido múltiples problemas que se han ido resolviendo sobre la marcha, siendo uno de los principales las ya mencionadas interferencias de las comunicaciones 4G sobre la TDT debidas a su tan cercana ubicación en el espectro radioeléctrico. Estas interferencias han sido solucionadas por los operadores a través de la empresa ELECNOR, que ha sido la encargada de gestionar todas las incidencias que se han ido produciendo. Esta empresa ha procedido a enviar técnicos a las ubicaciones donde existían problemas con la correcta recepción de la señal TDT, estos han evaluado la situación y han procedido a resolver los problemas. Estos se han resuelto principalmente a través de filtros que rechazaban la señal interferente (4G). Durante los primeros años del despliegue se registraron la mayoría de las incidencias, reduciéndose luego con el paso de los años. Estas han llegado en total a un número mayor de 900.000 incidencias notificadas y resueltas. En este caso al haber sido Telefónica la que ha desplegado un mayor número de nodos, le corresponden cerca de un 43% de las incidencias totales.

No cabe duda de que la cuarta generación de comunicaciones móviles ha supuesto un gran impulso para España y para acercarnos cada vez más a una sociedad completamente conectada. Esto se plasma en estadísticas como que en España más del 97% de la población dispone de un Smartphone o de que el tráfico de los servicios de

banda ancha móvil se ha multiplicado por más de 5 veces desde el comienzo de esta tecnología.

VI. Bibliografía

- [1] S. Kemp. Digital Spain 2021.
<https://datareportal.com/reports/digital-2021-spain> 10/02/2021
Última fecha de consulta el 15/10/2021
- [2] CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia). Datos estadísticos Telecomunicaciones 2021
<http://data.cnmc.es> 2022
Última fecha de consulta el 03/01/2022
- [3] Ente Nacional de Comunicaciones. ¿Qué es el espectro radioeléctrico?
<https://www.enacom.gob.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-> p117
Última fecha de consulta el 30/10/2021
- [4] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Primer dividendo digital.
<https://televisiondigital.mineco.gob.es/DividendoDigital/Paginas/dividendo-digital.aspx>
Última fecha de consulta el 05/11/2021
- [5] ETSI. Long Term Evolution (LTE).
<https://www.etsi.org/technologies/mobile/4G> 2022
Última fecha de consulta el 03/01/2022
- [6] R. García. ¿Quién tiene mejor cobertura 3G, 4G y 5G? Mapas de los operadores.
<https://www.adslzone.net/operadores/en-detalle/cobertura-movil/> 18/03/2022
Última fecha de consulta el 18/03/2022
- [7] Movistar. Mapa de cobertura móvil
<https://www.movistar.es/particulares/coberturas/movil>
Última fecha de consulta el 10/01/2022
- [8] Vodafone. Mapa de cobertura móvil.
<https://www.vodafone.es/c/conocenos/es/vodafone-espana/mapa-cobertura-movil/>
Última fecha de consulta el 10/01/2022

[9] Orange. Mapa de cobertura móvil.

<https://www.orange.es/4g#cobertura>

Última fecha de consulta el 10/01/2022

[10] ETSI. 3rd generation (UMTS).

<https://www.etsi.org/technologies/mobile/3g> 2022

Última fecha de consulta el 14/01/2022

[11] L. Blasco. Cuáles son las diferencias entre E, GPRS, 3G, 4G, 5G y esas otras redes a las que se conecta tu celular (y cómo te afectan tu conexión a internet).

<https://www.bbc.com/mundo/noticias-37247130> 05/09/2016

Última fecha de consulta el 14/01/2022

[12] UAH. Conmutación de circuitos y paquetes.

<http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/ittst/rc1/download/Tema4ApuntesAlumno#:~:text=En%20la%20conmutaci%C3%B3n%20de%20circuitos,de%20direcci%C3%B3n%20de%20estaci%C3%B3n%20destino>

Última fecha de consulta el 20/01/2022

[13] Jing Zhang. Quantum internet using code division multiple access.

<https://www.nature.com/articles/srep02211> 13/07/2013

Última fecha de consulta 20/10/2021

[14] CISCO. What Is OFDMA?

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-ofdma.html> 2022

Última fecha de consulta el 03/01/2022

[15] Sounddevices. Multipath Interference and Diversity Switching.

<https://www.sounddevices.com/multipath-interference-and-diversity-switching/#:~:text=What%20is%20Multipath%20Interference%3F,room%20can%20cause%20reflections%20indoor> 31/03/2021

Última consulta 20/10/2021

[16] ProgrammerClic. Notas de estudio LTE 3: LTE, enlace descendente OFDMA, enlace ascendente SC-FDMA.

<https://programmerclick.com/article/3664844305/>

Última fecha de consulta 20/10/2021

- [17] Fmuser. ¿Cuál es la diferencia entre FDD-LTE y TDD-LTE?

<http://es.fmuser.net/content/?8841.html> 16/07/2021

Última fecha de consulta el 20/01/2022

- [18] R. Millanes. Estacion Base de telefonía Movil.

<https://silexst.com/estacion-base-de-telefonía-movil/> 31/12/2016

Última fecha de consulta el 20/01/2022

- [19] Myciber. El sitio celular 4G, torre de radio Telecom o estación base de telefonía móvil.

https://es.123rf.com/photo_71612035_el-sitio-celular-4g-torre-de-radio-telecom-o-estaci%C3%B3n-base-de-telefon%C3%ADa-m%C3%B3vil.html

Última fecha de consulta el 20/01/2022

- [20] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

<https://avancedigital.mineco.gob.es/espectro/Paginas/cnaf.aspx>

Última fecha de consulta el 30/10/2021

- [21] Gobierno de España. El Gobierno publica la orden de bases para licitar la banda de 700Mhz de espectro, una de las bandas preferentes para el despliegue del 5G

https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/asuntos-economicos/Paginas/2021/310521-despliegue_5g.aspx#:~:text=La%20subasta%20comenzar%C3%A1%20antes%20del,para%20comunicaciones%20ascendentes%20y%20descendentes 31/05/2021

Última fecha de consulta el 30/10/2021

- [22] Repetidoresmovi. Bandas del 5G, 4G, 3G y 2G en España: frecuencias telefonía móvil de cada operador.

<https://blog.repetidoresmoviles.com/bandas-del-5g-4g-3g-y-2g-en-espana-frecuencias-telefonía-movil-de-cada-operador/> 31/07/2019

Última fecha de consulta el 1/11/2021

- [23] Larousse Editorial. Multiplex

<https://es.thefreedictionary.com/m%C3%BAltiplex> 2022

Última fecha de consulta el 03/01/2022

- [24] Josh. Cómo funciona la TDT y el 5G se prepara para el dividendo digital definitivo.

<https://bandaancha.eu/articulos/como-funciona-tdt-multiplex-canales-hd-9839>
15/02/2021

Última fecha de consulta el 1/11/2021

- [25] BOE (Boletín Oficial del Estado). BOE 075 de 28/03/2007 Sec 3.

<https://www.boe.es/boe/dias/2007/03/28/pdfs/A13596-13596.pdf> 28/03/2007

Última fecha de consulta el 03/11/2021

- [26] BOE. Disposición 8741 del BOE núm. 188 de 2013

<https://www.boe.es/boe/dias/2013/08/07/pdfs/BOE-A-2013-8741.pdf> 07/08/2013

Última fecha de consulta el 03/11/2021

- [27] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Televisión Digital.

<https://televisiondigital.mineco.gob.es/TelevisionDigital/Paginas/television-digital.aspx>

Última fecha de consulta el 20/11/2021

- [28] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Segundo Dividendo Digital.

<https://televisiondigital.mineco.gob.es/2DD-5G/Paginas/segundo-dividendo-digital.aspx>

Última fecha de consulta el 20/01/2022

- [29] ITU. Interferencia radioeléctrica.

<https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/radio-interference.aspx#:~:text=La%20interferencia%20radioel%C3%A9ctrica%20se%20define,radiocomunicaci%C3%B3n%20que%20se%20manifiesta%20como>

Última fecha de consulta el 10/11/2021

- [30] Reglamento de Radiocomunicaciones. Edición de 2016: Volumen

<https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.43.48.es.301.pdf>

Última fecha de consulta el 10/11/2021

- [31] ITU. M.589-2. Interferencias Co-Canal y Canal adyacente.
https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.589-2-199203-S!!PDF-S.pdf
Última fecha de consulta el 10/11/2021
- [32] EverythingRF. What is Co-Channel Interference?
<https://www.everythingrf.com/community/what-is-co-channel-interference#:~:text=Co%2Dchannel%20interference%20or%20CCl,is%20used%20by%20different%20devices> 04/04/2019
Última fecha de consulta el 10/11/2021
- [33] Metageek. Adjacent and Co-Channel Interference.
<https://www.metageek.com/training/resources/adjacent-channel-congestion.html>
Última fecha de consulta el 10/11/2021
- [34] Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Zamora ciudad pionera 4G
<https://televisiondigital.mineco.gob.es/DividendoDigital/Paginas/zamora-pionera4G-banda800.aspx>
Última fecha de consulta el 1/11/2021
- [35] Web ayuda Llega800
<https://www.llega800.es/>
Última fecha de consulta el 13/12/2021
- [36] Filtro LTE HR “Easyf” filter 47...782 MHz (C21-59)
[https://sitno.es/-antenas-y-redes/televes/6758-filtro-lte-hr-easyf-47-782mhz-c21-59-8424450181430.html#googtrans\(es|en\)](https://sitno.es/-antenas-y-redes/televes/6758-filtro-lte-hr-easyf-47-782mhz-c21-59-8424450181430.html#googtrans(es|en))
Última fecha de consulta el 20/12/2021
- [37] Filtro enchufable C59
https://www.tdtprofesional.com/es/filtro-lte-para-interior-conector-f-con-corte-en-el-canal-60-2868.html?gclid=Cj0KCQjAk4aOBhCTARIsAFWFP9EG9NRYG2KjgiSSzOz9NqBXgWyDM3E-J-4lqUg0hlqVD0mPyQqaG7QaAq9gEALw_wcB
Última fecha de consulta el 20/12/2021
- [38] Filtro LTE HR “Easyf” filter 47...694 MHz (C21-48)

<https://www.televes.com/es/distribucion-tv/filtrado-y-amplificacion/filtros-lte.html>

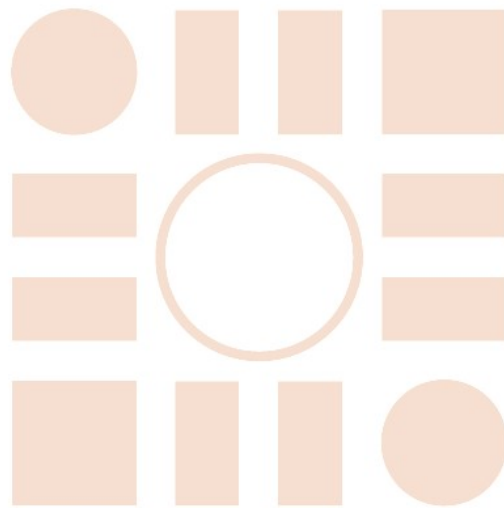
Última fecha de consulta el 20/12/2021

[39] Precios equipos estación base

<https://itprice.com/huawei-price-list/bts.html?p=1>

Última fecha de consulta el 11/01/2022

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá