



**Universidad de Valladolid**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA  
DE SEGOVIA**

**Grado en Ingeniería Informática  
de Servicios y Aplicaciones**

---

**Desarrollo de un sistema de amplificación  
y conexión Wi-Fi en un marco rural**

---

**Alumno: Elena Pascual Frías**

**Tutor: Juan José Álvarez Sánchez**



# Desarrollo de un sistema de amplificación y conexión Wi-Fi en un marco rural

Elena Pascual Frías



# Índice general

Lista de figuras	III
Lista de tablas	V
Resumen	XI
<b>I Memoria del Proyecto</b>	<b>1</b>
<b>1. Descripción del proyecto</b>	<b>3</b>
1.1. Introducción . . . . .	3
1.2. Objetivos y motivación del trabajo . . . . .	4
1.2.1. España vaciada y la brecha digital . . . . .	5
1.3. Entorno de la aplicación . . . . .	7
1.3.1. El estándar 3GPP 5G . . . . .	7
1.3.2. Comparativa 4G vs 5G . . . . .	14
1.3.3. Bandas de frecuencia 5G NR (New Radio) . . . . .	16
1.3.4. Ondas milimétricas MIMO . . . . .	24
1.3.5. Bandas milimétricas (mmWave) . . . . .	25
1.3.6. Propuesta desde Indonesia . . . . .	27
1.4. Datos estadísticos de relevancia . . . . .	29
<b>2. Metodología</b>	<b>33</b>
2.1. Proceso de desarrollo . . . . .	33
2.1.1. Fase I: Tradicional o en cascada . . . . .	33
2.1.2. Fase II: Ágil . . . . .	34
2.2. Herramientas utilizadas . . . . .	37
<b>3. Planificación</b>	<b>39</b>
3.1. Planificación temporal y estimación del esfuerzo . . . . .	39
3.1.1. Fase I: Tradicional o en cascada . . . . .	39
3.1.2. Fase II: Ágil . . . . .	40
3.2. Presupuesto económico . . . . .	41
3.2.1. Hardware y software . . . . .	41

3.2.2. Recursos humanos . . . . .	42
3.2.3. Presupuesto total . . . . .	44
<b>4. Conclusiones</b>	<b>47</b>
<b>II Documentación técnica</b>	<b>49</b>
<b>5. Análisis</b>	<b>51</b>
5.1. Requisitos . . . . .	51
5.2. Atributos de calidad . . . . .	52
<b>6. Marco teórico de telecomunicaciones</b>	<b>55</b>
6.1. Diseño de la arquitectura . . . . .	55
6.1.1. Wi-Fi 2.4 GHz o 5 GHz . . . . .	55
6.1.2. Arquitecturas . . . . .	56
6.2. Cálculos matemáticos . . . . .	59
6.2.1. Cálculos distancia guía-ondas . . . . .	59
6.2.2. Comprobación de la idoneidad del prototipo . . . . .	61
<b>7. Implementación</b>	<b>65</b>
7.1. Construcción del prototipo . . . . .	65
7.2. Construcción del modelo . . . . .	66
7.3. Configuración . . . . .	68
<b>8. Pruebas</b>	<b>69</b>
<b>III Apéndices</b>	<b>71</b>
<b>A. Anexos</b>	<b>73</b>
A.1. Información complementaria . . . . .	73
A.2. Key Words . . . . .	73
<b>Bibliografía</b>	<b>75</b>

# Índice de figuras

1.1. Mapa de la cobertura $\geq 100$ Mbps . . . . .	6
1.2. Mapa de la cobertura de banda ancha actual . . . . .	7
1.3. Organigrama del 3GPP . . . . .	9
1.4. Evolución 5G a través de las Releases . . . . .	11
1.5. Especificaciones para los distintos escenarios de la Release 15. [3GPP TS 22.261 versión 15.7.0 Release 15; ETSI TS 122 261 V15.7.0 (2019-03)] . . . . .	12
1.6. Especificaciones para los distintos escenarios de la Release 15. [3GPP TS 22.261 versión 15.7.0 Release 15; ETSI TS 122 261 V15.7.0 (2019-03)] . . . . .	13
1.7. Tabla comparativa velocidades] . . . . .	14
1.8. Comparación 4G vs. 5G [ <a href="https://www.etsi.org/technologies/5G">https://www.etsi.org/technologies/5G</a> ] . . . . .	15
1.9. Representación tipos de bandas . . . . .	17
1.10. Resumen situación de las bandas en España [Plan Nacional 5G] . . . . .	19
1.11. situación actual del reparto de frecuencias en la banda 3.5GHz . . . . .	20
1.12. Recuento del espectro total y contiguo . . . . .	20
1.13. Resumen de la subasta de espectro 3.6 - 3.8 GHz [Plan Nacional 5G] . . . . .	21
1.14. Precios iniciales de la subasta de la banda de frecuencia de 700MHz . . . . .	22
1.15. Precios iniciales de la subasta de la banda de frecuencia de 700MHz . . . . .	23
1.16. Estaciones base [ <a href="http://www.emfexplained.info/?ID=25916">http://www.emfexplained.info/?ID=25916</a> ] . . . . .	24
1.17. Ondas milimétricas en el espectro radioeléctrico . . . . .	26
1.18. Antena parabólica construida con un Wok . . . . .	27
1.19. Diagrama de implementación VoIP . . . . .	28
1.20. Distribución de la población, viviendas y hogares por CCAA . . . . .	29
1.21. Cobertura por tecnología y provincia . . . . .	30
1.22. Número de habitantes sin cobertura en Segovia . . . . .	30
1.23. Mapa cobertura 2Mbps Segovia [8] . . . . .	31
2.1. Resumen tasa de éxito de los proyectos . . . . .	34
2.2. Resumen tasa de éxito de los proyectos . . . . .	35
3.1. Estimación Gantt del proyecto . . . . .	40
6.1. Diagrama Arquitectura 1 . . . . .	57
6.2. Diagrama Arquitectura 2: Punto de acceso . . . . .	58
6.3. Diagrama Arquitectura 3: Router . . . . .	58

6.4. Diseño matemático de las medidas de la lata . . . . .	60
7.1. Diseño del prototipo de la antena . . . . .	65
7.2. Construcción de la antena . . . . .	66
7.3. Construcción de la antena . . . . .	66
7.4. Construcción de la antena . . . . .	67
7.5. Construcción de la antena . . . . .	67

# Índice de cuadros

2.1. Metodologías ágiles: desglose de roles . . . . .	36
2.2. Metodologías ágiles: desglose de eventos. . . . .	37
3.1. Costes Software . . . . .	41
3.2. Costes Hardware . . . . .	42
3.3. Costes humanos totales . . . . .	44
3.4. Presupuesto total según estimaciones . . . . .	45
5.1. CU-01. Capturar redes con la parabólica . . . . .	52
5.2. CU-02. Solicitar acceso a red . . . . .	52



*Dedicado a  
mi familia*







# Resumen

Dada la conectividad actual de la población a redes inalámbricas, se plantea la necesidad de la comunicación digital en cualquier ámbito geográfico, por lo que a partir de esto surge el problema de cómo se establecen dichas comunicaciones digitales en zonas rurales o que tienen poca cobertura por parte de las compañías telefónicas.

## *Abstract*

Given the current connectivity of the population to wireless networks, the need for digital communication in any geographical area arises, so the problem of how to establish such digital communications in rural areas or areas that have little coverage by telephone companies arises from this.

**Palabras claves:** redes, antenas, conectividad, España Vacía, Segovia, Wi-Fi.



# Parte I

## Memoria del Proyecto



# Capítulo 1

## Descripción del proyecto

Se tratará brevemente de explicar cómo se organiza la Memoria del Trabajo Fin de Grado (TFG), del posible contenido de cada uno de los capítulos y secciones, así como de contenidos mínimos exigibles y algunas recomendaciones prácticas.

### 1.1. Introducción

El 5G es un término que actualmente está teniendo mucha repercusión, ya que cada vez se buscan mayores velocidades de red, mayores anchos de banda, es decir, una mejora constante en la calidad de nuestras conexiones.

Cada vez, nuestro mundo actual es más dependiente de la conectividad y la transferencia de datos, cada vez más las industrias se esfuerzan por ofertar mejores servicios, dando como resultado el 5G (la quinta generación de tecnologías de comunicación móvil), el cual asegura que habrá una transformación digital total en la industria de las tecnologías, ya que promete unas velocidades de datos mucho mayores que las que obteníamos con el 4G, una conectividad más fiable, y un aumento en la privacidad de las comunicaciones. Estas mejoras, aunque lentamente, se están produciendo, y una vez que se termine de implantar el 5G, supondrán una revolución dentro ámbito tecnológico. Según un informe de ABI Research, se estima que para 2026 habrá alrededor de 5,3 millones de conexiones 5G destinadas a la industria, lo que se deriva en hacer una gran inversión en Inteligencia Artificial e IoT, esto supone que para 2026 se espera un crecimiento del 7% de los ingresos

por servicios, es decir, 113 mil millones de dólares .

El 5G promete una mejora en la calidad de vida de las personas, ya que, como consecuencia de esta tecnología, obtendremos ciudades más inteligentes, procesos de fabricación más rápidos y eficientes, es decir, una mejora en el “Internet de las Cosas”. Hoy en día, debido a la rápida evolución de internet, el “Internet de las Cosas” ya no es solo una proyección hacia el futuro, sino que es una realidad, ya que tanto en entornos empresariales como de la vida cotidiana está empezando a ser implantado. Se podría decir que el IoT tiene aplicaciones infinitas, como la domótica, el control de electrodomésticos, control del tráfico, control de plantas de producción. . . y cada vez surgen más dispositivos asociados al IoT con el objetivo de obtener datos, procesarlos para que puedan ser analizados y mandarlos a través de la red, pero para esto la existencia del 5G es indispensable, ya que de alguna manera hay que satisfacer la demanda de todos los usuarios que utilizan estas tecnologías y que precisan de este procesamiento de datos.

Como se ha dicho anteriormente, es evidente la necesidad de la comunicación digital en cualquier ámbito geográfico, por lo que a partir de esto se plantea el problema de cómo se establecen dichas comunicaciones digitales en zonas rurales o que tienen poca cobertura por parte de las compañías telefónicas. En este sentido, cabe destacar el trabajo realizado por Onno W. Purbo, el cual ha facilitado el proceso de conseguir conexiones efectivas y eficientes en un ámbito rural claramente desfavorecido, para la conectividad telefónica.

A raíz de estudiar el documento del trabajo realizado por Onno W. Purbo (Purbo, 2010), nos surge la idea de comprobar: primero, el funcionamiento que podría tener en nuestro ámbito geográfico, y segundo, su posible aplicación en el ámbito municipal de las zonas rurales de Castilla y León.

## 1.2. Objetivos y motivación del trabajo

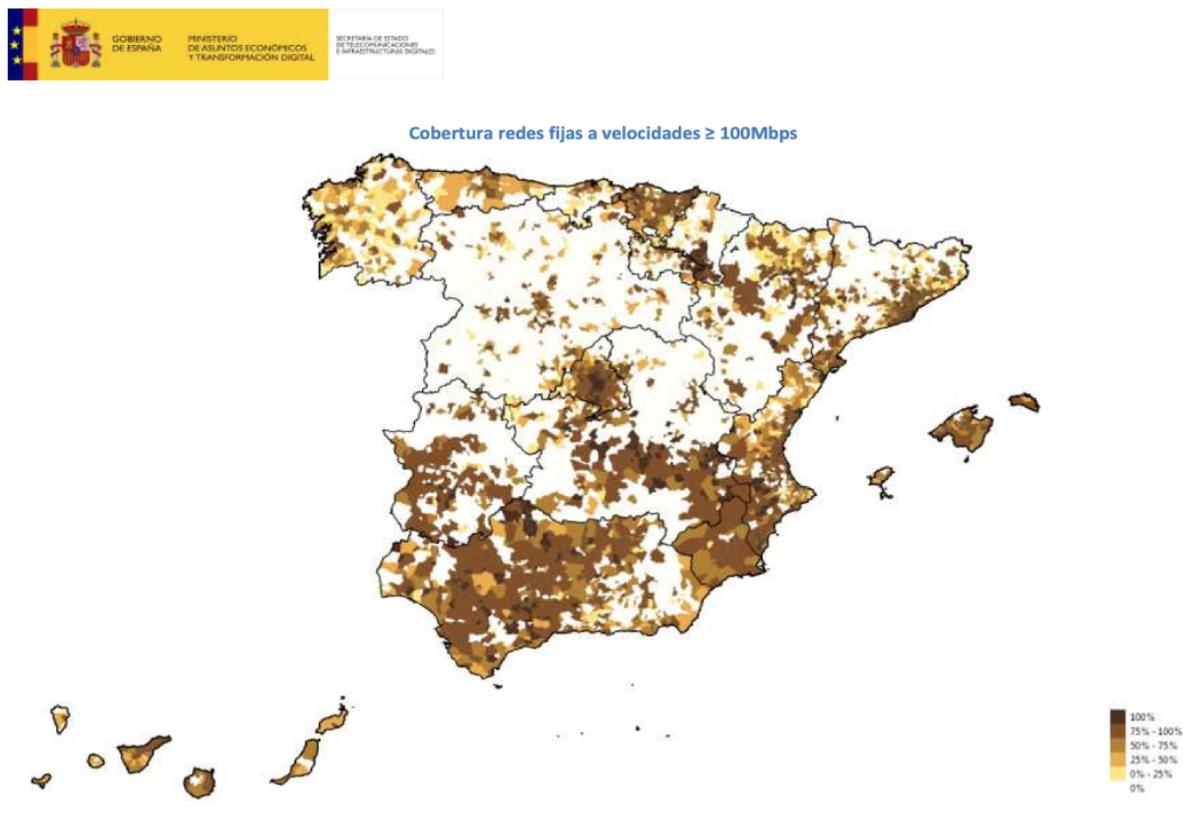
Para ayudar a reducir la brecha digital, nuestra propuesta; desarrollar un prototipo basado en la tecnología desarrollada por Onno W. Purbo, encarrila un camino diferente al de las compañías telefónicas que se están dedicando a desplegar la tecnología 5G en núcleos urbanos.

### 1.2.1. España vaciada y la brecha digital

Cuando hablamos de la España vaciada, hablamos de todos esos territorios que han ido perdiendo progresivamente parte de su población desde mediados del siglo XX, debido a las políticas económicas y estructurales que han producido un desequilibrio en la organización del territorio: concentración de gran parte de la población en grandes ciudades y determinadas zonas geográficas, provocando el declive de otros territorios, ya que han ido perdiendo población, servicios, infraestructuras y oportunidades. Actualmente, en el 53 % del territorio solo vive el 5 % de la población española, la cual no cuenta con las mismas prestaciones que el resto de sus conciudadanos, sino que estas cada vez son menos y están más desactualizadas.

En cuanto a la brecha digital, con la llegada del estado de alarma en marzo de 2020, se alcanzó el punto álgido y la realidad del primer confinamiento. Algunos ejemplos que lo justifican: la educación online, muchos estudiantes se volvieron a sus pueblos origen, desde los cuales, conectarse a Internet para poder asistir a las lecciones online era una tarea prácticamente imposible; o el teletrabajo, igual que en el anterior caso, sin conexión era imposible estar en contacto con el mundo.

Para subsanar la brecha digital, se presenta a principios de 2019, el Plan 300x100, el cual pretendía garantizar el acceso del 95 % de la población de cada provincia de España a redes de banda ancha ( $\geq 300$  Mbps) antes de finales de este año, 2021. Pero debido a que este Plan es solo una ampliación del Programa de Extensión de Banda Ancha de Nueva Generación PEBA-NGA, y que no deja de sufrir retrasos y problemas económicos, este plan es imposible de aplicar. Además, sumado a que las operadoras no les interesa instalar sus tecnologías, ya que, al haber pocas personas, el beneficio que obtienen no merece la pena. En el Informe de Cobertura de Banda Ancha en España del Ministerio de Economía y Avance Digital, se puede comprobar que la mayoría de los municipios medianos y pequeños no llegan a alcanzar velocidades de 20 Mbps, y que alrededor de 2500 municipios no alcanzan ni siquiera los 10 Mbps.



---

INFORME COBERTURA BANDA ANCHA A 30 DE JUNIO DE 2019

Figura 1.1: Mapa de la cobertura  $\geq 100$  Mbps

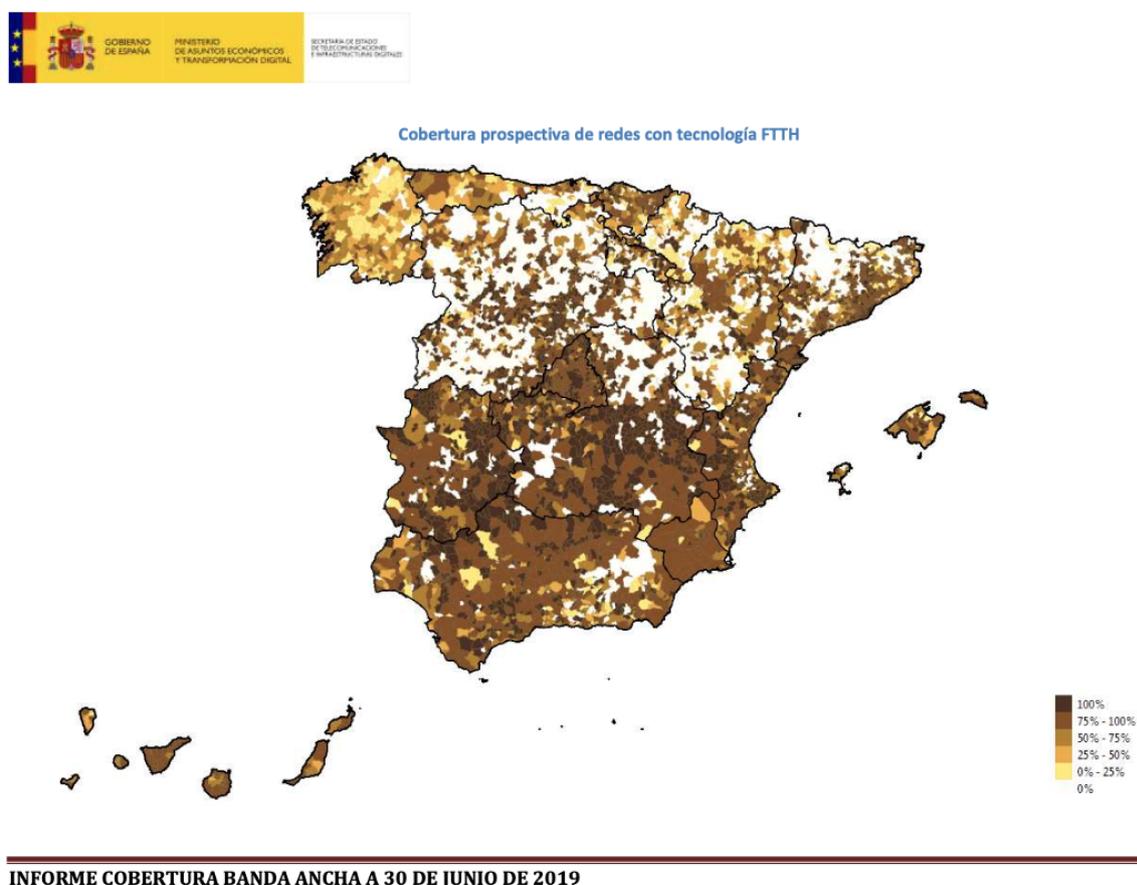


Figura 1.2: Mapa de la cobertura de banda ancha actual

## 1.3. Entorno de la aplicación

### 1.3.1. El estándar 3GPP 5G

El proyecto de Asociación de Tercera Generación (The 3rd Generation Partnership Project), une a organizaciones que se encargan del desarrollo de estándares de telecomunicaciones, los cuales son conocidos como “Socios Organizativos”: ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC; y se encargan de proporcionar a sus miembros un entorno estable en el cual se puedan producir tanto los informes como las especificaciones que definen las tecnologías del 3GPP.

Este proyecto, el 3GPP, abarca las tecnologías de telecomunicaciones, incluyendo el acceso radioeléctrico, las redes básicas y las capacidades de servicio, las cuales proveen una descripción bastante completa del sistema de comunicaciones. Además, el 3GPP también proporciona las especificaciones para el acceso no radioeléctrico a la red central y para el funcionamiento con otras redes que no pertenecen al estándar 3GPP.

Los tres grupos de especificación técnica (TSG, Technical Specification Group) de 3GPP:

- Redes de acceso radioeléctrico (RAN)
- Aspectos de Servicios y Sistemas (SA)
- Red Central y Terminales (CT).

Dentro de los grupos de especificación técnica (TSG) hay grupos de trabajo que se reúnen regularmente para presentar los resultados de su trabajo, para después discutirlos y aprobarlos o denegarlos.

Las tecnologías que se incluyen en estos grupos de trabajo van evolucionando constantemente a través de las generaciones de los sistemas móviles, como por ejemplo la evolución de los trabajos de LTE, LTE-Advanced, LTE Advanced Pro y el 5G. Convirtiendo al estándar 3GPP como el núcleo central a partir de la cual se desarrollan todas estas tecnologías.

El progreso de los estándares 3GPP se mide por los hitos que se han alcanzado en cada Release. Cada vez que una release se completa, las nuevas características están listas para su aplicación. El 3GPP trabaja a la vez en varias versiones en paralelo, iniciando los proyectos futuros con antelación suficiente a que se finalice la actual versión, debido a que esta forma de trabajo garantiza un progreso continuo y estable, a pesar de ser una forma un tanto compleja de trabajar.

El principal objetivo de la existencia del estándar 3GPP 1.3 es que todas las versiones que se van a ir generando a lo largo de su evolución tienen que ser compatibles las unas con las otras, ya sea con las versiones nuevas o con las versiones anteriores, para que de esta forma se pueda garantizar que el funcionamiento de los equipos de los usuarios no se va a ver afectado y se pueda continuar usando. Como ejemplo, podemos ver la importancia que se le dio para que LTE y LTE-Advanced fueran compatibles, por lo que un terminal LTE-Advanced era capaz de funcionar en una arquitectura LTE y al revés.

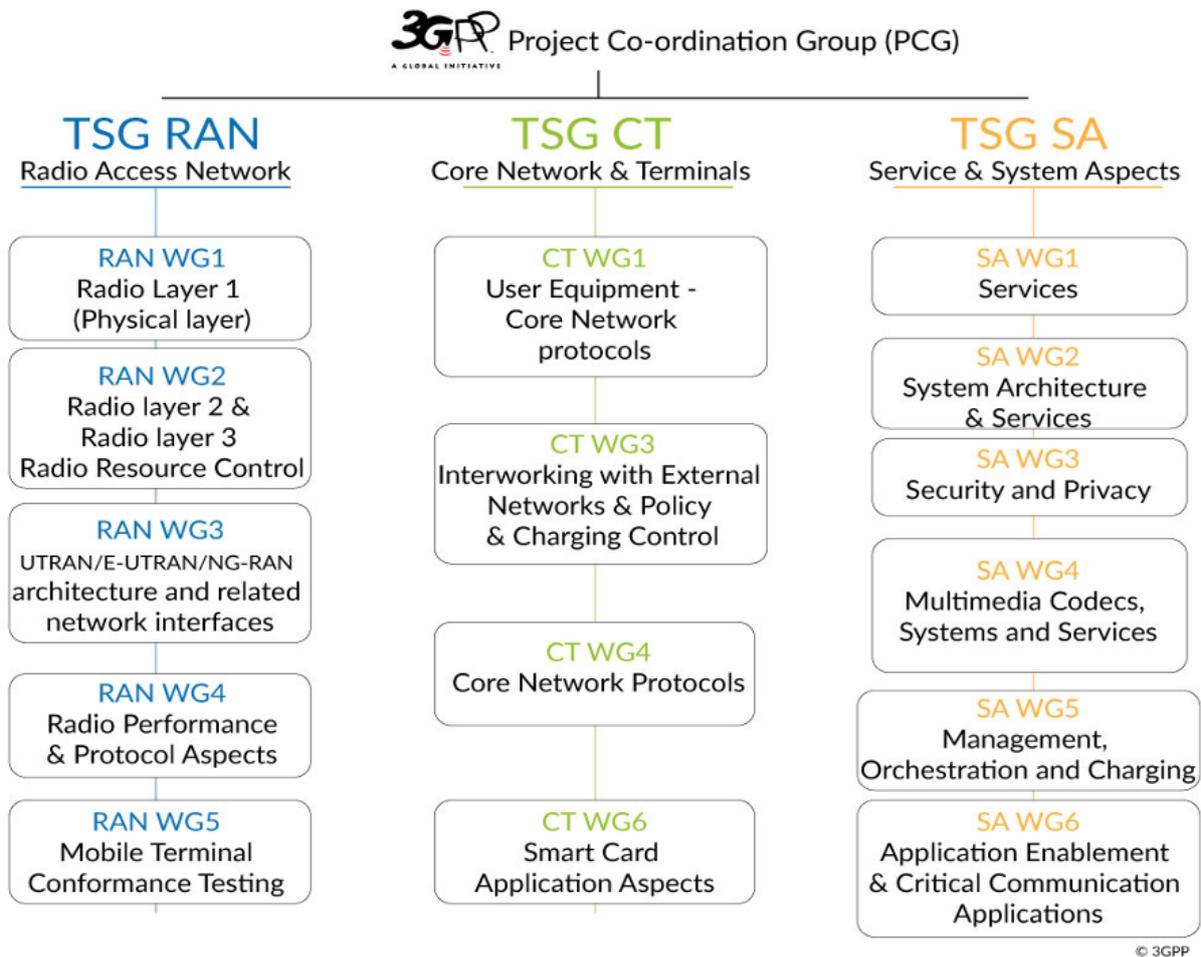


Figura 1.3: Organigrama del 3GPP

Con la implementación del 5G está pasando parecido, ya que muchos operadores están implementando una conectividad dual entre los equipos LTE y 5G NR (New Radio), utilizando el trabajo de “no estandarización” que se completó al principio de la Realease 15. En el proceso de esta primera versión de 5G NR se ha trabajado con el objetivo de crear una futura compatibilidad entre los equipos 5G Non Stand Alone, para así asegurar que estos sean aptos en el uso de los sistemas 5G NR autónomos (5G SA o Stand Alone).

Inicialmente, el término 5G se asoció a la norma IMT-2020 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la cual requeriría una velocidad de descarga máxima teórica de 20 gigabits por segundo y una de subida de 10 gigabits por segundo. Tras esto sería el grupo 3GPP el que elegiría la norma 5G NR (New Radio) junto a LTE como la propuesta para presentarla a la norma IMT-2020. 5G NR es una nueva interfaz aire-desarrollada para la

red 5G.

Como se ha dicho anteriormente, el 5G implica velocidades de transmisión mucho mayores a las que teníamos con el 4G, una conectividad más fiable y una baja latencia para las comunicaciones móviles internacionales (IMT), produciendo comunicaciones de tipo máquina masiva (mMTC).

- **Velocidad de transmisión mejorada:** Con el 5G el ancho de banda aumenta en comparación al 4G. Esto es una mejora importante, ya que el consumo de realidad aumentada (AR) o la transmisión de vídeo en alta definición y en streaming está aumentando considerablemente.
- **Conectividad más fiable y de baja latencia:** reduce la latencia y mejora la fiabilidad porque se centra en aplicaciones que son críticas para procesos y seguridad (controla los procesos y movimientos que están en bucle cerrado y la seguridad).
- **Comunicaciones de tipo máquina masiva (mMTC):** con este tipo de comunicación se intenta aumentar el número de dispositivos que existen en un área determinada usando distintos órdenes de magnitud. Esta característica del 5G está destinada a aplicaciones con tasas bajas de datos, pero de alta densidad espacial.

### Release 15

Como se ha mencionado anteriormente, es el estándar 3GPP el encargado de medir el desarrollo de los estándares y de qué se va a encargar cada uno de ellos.

Dentro del 5G, está la Release 15, en la que podemos encontrar la definición de la fase inicial del 5G. El 5G se va a definir en al menos dos fases, la primera va a estar especificada en la Release 15, mientras que las siguientes fases del 5G estarán definidas a partir de la Release 16.

En este estándar se van a describir los distintos tipos de requisitos para los posibles usos que se le pueden dar al 5G:

- **Banda ancha móvil mejorada (eMBB, Enhanced Mobile Broadband):** Los requisitos para 5G en comparación con el 4G han cambiado, por lo que en la Realease

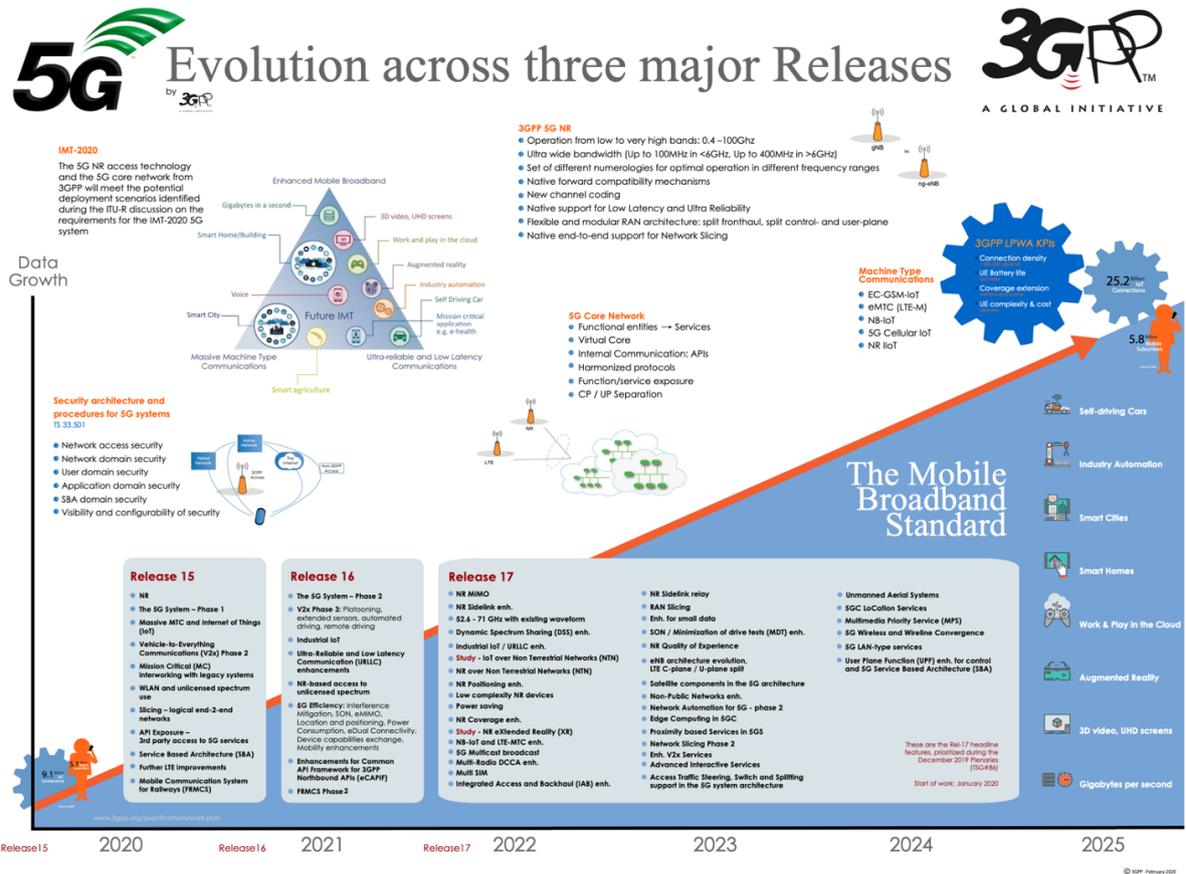


Figura 1.4: Evolución 5G a través de las Releases

15, se especifican los distintos escenarios de despliegue y cobertura posibles y los requisitos necesarios. En la figura 1.3 se puede ver a modo resumen las especificaciones requeridas:

Escenario	Velocidad de datos experimentada (DL)	Velocidad de datos experimentada (UL)	Capacidad de tráfico de la zona (DL)	Capacidad de tráfico de la zona (UL)	Densidad de usuarios	Factor de actividad	Velocidad de los usuarios	Cobertura
Área urbana	50 Mbps	25 Mbps	100 Gbps/km <sup>2</sup>	50 Gbps/km <sup>2</sup>	10.000/ km <sup>2</sup>	20%	Peatones y vehículos (hasta 120km/h)	Red completa
Área rural	50 Mbps	25 Mbps	1 Gbps/km <sup>2</sup>	500 Mbps/km <sup>2</sup>	100/ km <sup>2</sup>	20%	Peatones y vehículos (hasta 120km/h)	Red completa
Puntos de acceso interiores	1 Gbps	500 Mbps	15 Tbps/km <sup>2</sup>	2 Tbps/km <sup>2</sup>	250.000 /km <sup>2</sup>	Solo algunos necesitan las máximas velocidades	Peatones	Oficinas y residencias
Acceso al ancho de banda en multitudes	25 Mbps	50 Mbps	3,75 Tbps/km <sup>2</sup>	7,5 Tbps/km <sup>2</sup>	500.000/ km <sup>2</sup>	30%	Peatones	Espacios limitados
Áreas urbanas densas	300 Mbps	50 Mbps	750 Gbps/km <sup>2</sup>	125 Gbps/km <sup>2</sup>	25.000/ km <sup>2</sup>	10%	Peatones y vehículos (hasta 60km/h)	Centro de la ciudad
Servicios de difusión	Máximo 200 Mbps por canal de TV	500 kbps por usuario	-	-	15 canales TV de 20Mbps cada uno	-	Usuarios fijos, peatones y vehículos (hasta 500km/h)	Red completa
Trenes de alta velocidad	50 Mbps	25 Mbps	15 Gbps/tren	7,5 Gbps/tren	1.000/ tren	30%	Usuarios en trenes (hasta 500km/h)	A lo largo de la red ferroviaria
Vehículos de alta velocidad	50 Mbps	25 Mbps	100 Gbps/km <sup>2</sup>	50 Gbps/km <sup>2</sup>	4.000/ km <sup>2</sup>	50%	Usuarios en vehículos (hasta 250km/h)	A lo largo de la carretera
Conectividad en aviones	15 Mbps	7,5 Mbps	1,2 Gbps/avión	600 Mbps/avión	400 /avión	20%	Usuarios en aviones (hasta 1.000km/h)	-

Figura 1.5: Especificaciones para los distintos escenarios de la Release 15. [3GPP TS 22.261 versión 15.7.0 Release 15; ETSI TS 122 261 V15.7.0 (2019-03)]

- Comunicaciones críticas (CC) y Comunicaciones Ultra Fiables y de Baja Latencia:** Varios de los escenarios que se especificaban en la tabla anterior, necesitan tener unas latencias muy bajas, además de una disponibilidad alta del servicio de comunicaciones. La latencia del servicio va a depender del retardo que haya en la interfaz de radio, en la transmisión dentro del sistema 5G, la posible transmisión fuera del sistema 5G (servidor externo) y el procesamiento que se haga de los datos. Algunos de estos factores van a depender directamente del propio sistema 5G, mientras que otros, como el alojamiento de servicios, van a depender de las conec-

xiones que se hagan entre el propio sistema 5G y los servidores. Por ejemplo, en el caso del control remoto para la automatización de procesos, se espera una fiabilidad del 99,9999 %, con una velocidad de hasta 100 Mbps y una latencia de extremo a extremo de 60 ms. Los posibles escenarios que se contemplan y los requisitos que se necesitan pueden encontrarse en la figura 1.4.

Escenario	Maximo latencia permitida	Tiempo de supervivencia	Disponibilidad del servicio de comunicación	Fiabilidad	Velocidad de datos experimentada	Tamaño de la carga (payload)	Densidad de tráfico	Densidad de conexión	Dimensión del área de servicio
Automatización	10 ms	0 ms	99,99%	99,99%	10 Mbps	De paquetes inferiores a 256 bytes a superiores	1 Tbps/km <sup>2</sup>	100.000/km <sup>2</sup>	1000 x 1000 x 30 m
Control remoto para la automatización de procesos	60 ms	100 ms	99,9999%	99,999%	1 Mbps hasta 100 Mbps	De paquetes inferiores a 256 bytes a superiores	100 Gbps/km <sup>2</sup>	1.000/km <sup>2</sup>	300 x 300 x 50 m
Monitorización para la automatización de procesos	60 ms	100 ms	99,9%	99,9%	1 Mbps	Paquetes inferiores a 256 bytesbytes	10 Gbps/km <sup>2</sup>	10.000/km <sup>2</sup>	300 x 300 x 50 m
Distribución eléctrica (voltaje medio)	40 ms	25 ms	99,9%	99,9%	10 Mbps	De paquetes inferiores a 256 bytes a superiores	10 Gbps/km <sup>2</sup>	1.000/km <sup>2</sup>	100km a lo largo de la línea de voltaje
Distribución eléctrica (voltaje alto)	5 ms	10 ms	99,9999%	99,999%	10 Mbps	Paquetes inferiores a 256 bytes	100 Gbps/km <sup>2</sup>	1.000/km <sup>2</sup>	200km a lo largo de la línea de voltaje
Sistema de transporte inteligente	30 ms	100 ms	99,9999%	99,999%	10 Mbps	De paquetes inferiores a 256 a superiores	10 Gbps/km <sup>2</sup>	1.000/km <sup>2</sup>	2km a lo largo de la carretera

Figura 1.6: Especificaciones para los distintos escenarios de la Release 15. [3GPP TS 22.261 versión 15.7.0 Release 15; ETSI TS 122 261 V15.7.0 (2019-03)]

- **Internet de las cosas masivo (mIoT):** Varios de los escenarios descritos dentro del sistema 5G llevan implícito el uso de dispositivos, por lo que es necesario que se soporten densidades de tráfico muy altas. Los requisitos del internet de las cosas masivo incluyen los aspectos que se han descrito en el marco temporal del 5G [Tabla 1].
- **Operaciones de red flexibles:** Son un conjunto de especificaciones ofrecidas por el 5G, abarcando aspectos como la fragmentación de la red, la exposición de las capacidades de red, la escalabilidad, movilidad, seguridad, la entrega eficiente de los contenidos o la posible migración de datos.

### 1.3.2. Comparativa 4G vs 5G

El 5G llega por la necesidad de tener velocidades mayores, pero todo dependerá de factores como, la red a la que estemos conectados, de lo saturada que esté, o del dispositivo que decidamos usar.

Generación	2G	3G	4G	4G-LTE	5G
Máxima Velocidad	0.3 Mbps	7.2 Mbps	150 Mbps	300 Mbps - 1Gbps	1-10 Gbps
Velocidad Media	0.1 Mbps	1.5 Mbps	10 Mbps	15 Mbps - 50 Mbps	50 Mbps

Figura 1.7: Tabla comparativa velocidades]

Para poder comparar generaciones hay que tener en cuenta términos como la latencia y la cobertura. La latencia es el tiempo que van a tardar los datos de tu terminal en cargarse desde que se emite la petición. Esta magnitud se mide en milisegundos (ms).

Con las redes 4G, la latencia media es de unos 50 ms, sin embargo, con el 5G la latencia media podría verse reducida hasta el 1 ms. Esta reducción de la latencia es indispensable para poder implantar tecnologías como conducción remota o juegos online en streaming. Si se necesitan al menos unos 10 ms para que una imagen que es vista por el ojo humano sea procesada por el cerebro, las latencias deberán ser menores para que se puedan realizar acciones en tiempo real, en el caso de coches autónomos, reacciones como frenar o evitar obstáculos. O en el caso de juegos online, la toma de decisiones rápidas en el momento que ocurren.

La cobertura es otro de los puntos clave. Se han tardado años en que las redes 4G se expandieran por todo el mundo y dieran cobertura; incluso hay zonas de la España rural donde todavía hay cierta dependencia a las redes 3G. Además, dentro de una misma zona de red, como la 4G, las velocidades pueden variar bastante.

Por eso es importante la cobertura que ofrecen estas redes. Con el 5G todavía se espera que tarden algo en llegar, y de momento en España solo son unas pocas ciudades las que disfrutan de 5G, ya que no solo las operadoras tienen que poner en marcha sus equipos de red (bandas de frecuencias adecuadas), sino tener los equipos necesarios que sean capaces de soportar el 5G.

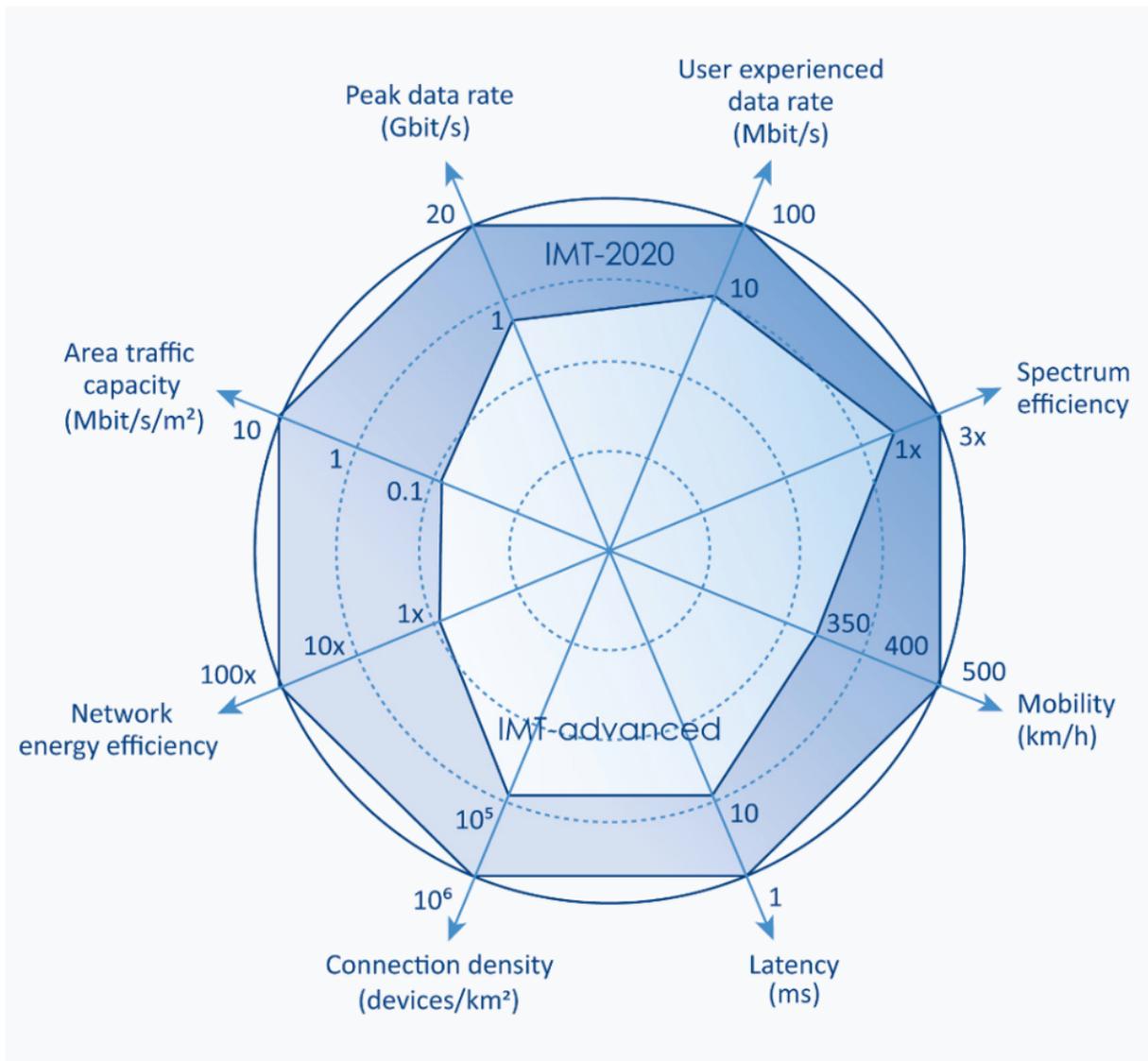


Figura 1.8: Comparación 4G vs. 5G [<https://www.etsi.org/technologies/5G>]

Con la llegada del 5G no significa que el 4G vaya a desaparecer, tal y como pasó con el 3G, que hoy en día se sigue utilizando. Ya que actualmente las redes 4G se siguen actualizando y mejorando (4G, 4G-LTE...).

### 1.3.3. Bandas de frecuencia 5G NR (New Radio)

Para que el 5G tenga sentido, es necesario hablar de uno de sus componentes principales, el espectro. El espectro son las bandas de frecuencia en las que se va a transmitir.

El estándar del 5G contempla el uso de tres nuevas bandas de frecuencia:

- **Banda baja (700 MHz):** esta todavía no está disponible en España, pero en el momento en el que se encuentre a disposición de las operadoras va a permitir que haya un gran despliegue territorial, equiparándolo al despliegue que tenemos con el 4G. La subasta de este espectro en España ha tenido lugar en julio.
- **Banda media (3,5 GHz):** tanto el alcance de la cobertura como la capacidad de propagación es menor que la banda baja respecto a la estación base. En esta banda es en la que se han hecho los despliegues comerciales de 5G en España.
- **Banda alta (26 GHz):** tiene poco alcance, pero un gran ancho de banda. Esta es la que nos va a permitir alcanzar los grandes anchos de banda prometidos por el 5G (hasta 10 Gbps).

En el futuro también las actuales bandas de 4G progresivamente pasarán a ser asignadas a 5G según evolucione el parque de los teléfonos móviles de los abonados. El 5G tiene como requisito para su correcto funcionamiento la existencia de unas bandas de frecuencia específicas. Actualmente, están desplegadas las bandas de ondas milimétricas (26, 28, 38 y 68 GHz), estas ondas son las que soportan 5G y ofrecen un rendimiento de hasta 20 gigabits por segundo. Las tecnologías de MIMO Masivo (Múltiple Input Múltiple Output: 64-256 antenas) ofrecen un rendimiento de hasta 10 veces más rápido que las redes 4G actuales. Y, por último, las bandas bajas 5G y las bandas medias 5G que usan frecuencias desde los 600 MHz hasta los 6 GHz, especialmente en el rango de 3.5-4,2 GHz.

El 5G NR incluye desde frecuencias bajas (FR1), por debajo de los 6 GHz, hasta frecuencias más altas (FR2), por encima de los 24 GHz. Sin embargo, tanto la velocidad como la latencia que hay de diferencia entre las frecuencias bajas (FR1) son solo ligeramente mejores que los sistemas 4G nuevos que se están lanzando al mercado.

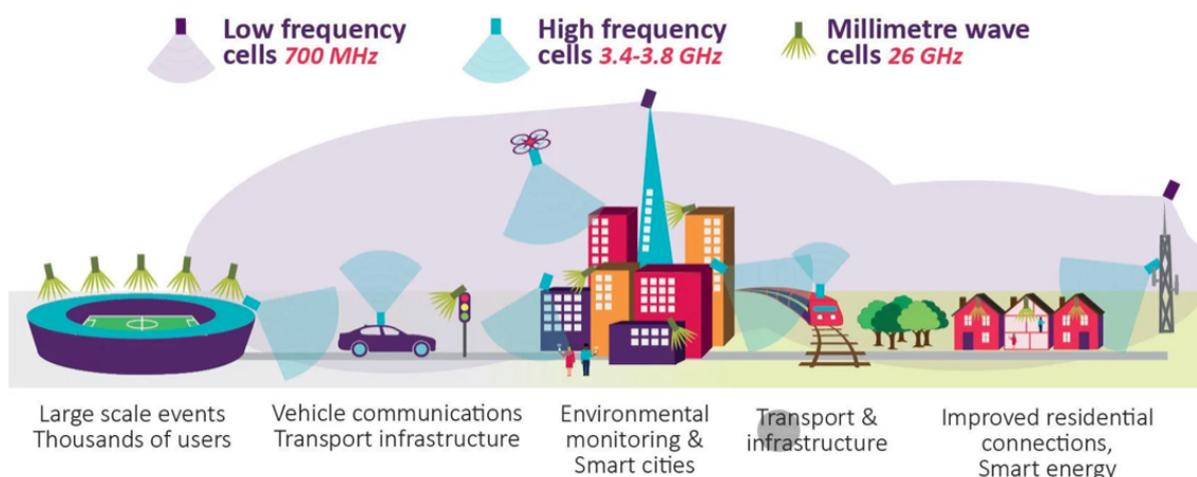


Figura 1.9: Representación tipos de bandas

- **Bandas de frecuencias bajas (<6 GHz)** La máxima capacidad del ancho de banda para este canal, definido para las frecuencias más bajas (FR1) es de 100 MHz, debido a que el espectro es limitado en este rango de frecuencias. La banda de frecuencia más utilizada para el 5G en este rango es la de 3,3 a 4,2 GHz.
- **Bandas de frecuencias altas (<24 GHz)** La mínima capacidad del ancho de banda para este canal, definido para las frecuencias más altas (FR2) es de 50 MHz y la máxima es de 400 MHz, y según la Release 15 del estándar 3GPP admite la agregación de dos canales, ya que cuanto mayor sea la frecuencia, mayor deberá ser la capacidad para poder soportar altas velocidades de transferencia de datos
- **FR2 cobertura** El 5G en el rango de los 24 GHz o superior, utiliza frecuencias más altas que las que usa el 4G, por lo que, como resultado, alguna de las señales del 5G son incapaces de viajar largas distancias, a diferencia del 4G o de señales 5G que usan frecuencias más bajas (por debajo de los 6 GHz). Para evitar esto, se necesita colocar estaciones base 5G cada pocos cientos de metros para poder utilizar bandas de frecuencias más altas. Además, estas señales 5G de mayor frecuencia no pueden penetrar fácilmente objetos sólidos, como pueden ser casas, coches, árboles... debido a la naturaleza de estas ondas electromagnéticas.

## Nivel Europeo

Las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones son las encargadas de destinar un grupo de bandas de espectro para

que se puedan usar para desplegar el 5G. Dentro de la Unión Europea, el Grupo de Política del Espectro Radioeléctrico (Radio Spectrum Policy Group, RSPG) es el que en 2016 se encargó de identificar las bandas de frecuencia que iban a ser utilizadas en el lanzamiento del 5G dentro de la Unión Europea.

- **Banda principal:** para la introducción de los servicios basados en el 5G en Europa, se utilizará la banda de 3,4-3,8 GHz. La cual podría situar a Europa como una de las líderes de la tecnología 5G.
- **Bandas armonizadas:** Para que pueda haber un despliegue, el 5G necesitará desplegarse en bandas por debajo de 1 GHz que ya estén armonizadas, incluyendo la banda de 700 MHz.
- **Banda pionera:** necesidad de apoyarse en la industria móvil con la banda de 26 GHz, para poder hacer una implementación temprana del 5G en frecuencias superiores a los 24 GHz.

Para esto podemos distinguir distintos tipos de bandas de frecuencia:

- **Altas frecuencias >6 GHz:**
  - Gran capacidad para transmitir datos en casos específicos.
  - eMBB, comunicaciones ultrafiabiles.
- **Frecuencias medias (3,2 - 3,8 GHz):**
  - Mejor relación entre cobertura y capacidad.
  - eMBB, comunicaciones ultrafiabiles, M2M (menos cobertura).
- **Bajas frecuencias (700 MHz):**
  - Mayor cobertura y uso en el interior de los edificios.
  - eMBB, comunicaciones ultrafiabiles, M2M masiva.

### Nivel Nacional: España

Para poder implementar el servicio 5G en el territorio español, es necesario tener una infraestructura específica y adecuada a esto. La situación en el territorio español de las bandas de frecuencias es la siguiente:

Bandas de frecuencia		Situación en territorio nacional
3,4 - 3,6GHz	3,4-3,6GHz	Es la que se ha adjudicado para ser utilizada en la prestación de los servicios 5G.
	3,6-3,8GHz	Actualmente se está liberando de su uso de transportar señales de televisión.
700MHz		Se está utilizando en la difusión TDT. Pero está pendiente en ser liberada de este uso para empezar a ser usada en comunicaciones electrónicas.  Posiblemente su uso se vea restringiendo en ciertas zonas geográficas para poder realizar pruebas piloto.
26GHz		La parte baja de la banda (400MHz) está disponible para su uso inmediato, así como la parte alta de la banda pero con algunas limitaciones (500MHz).  El resto de la banda está siendo usada por redes de telefonía móvil.

Figura 1.10: Resumen situación de las bandas en España [Plan Nacional 5G]

La banda de frecuencia de 700MHz tiene, como una de sus principales características, la amplia capacidad de propagar la señal. Es decir, que es capaz de cubrir un área con menos estaciones base que las que se necesitarían en frecuencias más altas, debido a que las bandas bajas tienen una mayor capacidad de penetración en estos espacios.

**El problema de la banda de 3.5GHz** La banda más importante para la implementación del 5G es la que se conoce como n78 en 3,5GHz, la cual está comprendida entre los 3,4 y 3,8 GHz. Esta banda está repartida entre los principales operadores (MásMóvil, Movistar, Orange y Vodafone), el problema está en que para que estos pudieran ofrecer un 5G con velocidades de hasta 1Gbps los bloques. La que tienen asignados deberían estar contiguos unos a otros, sin embargo, estos bloques actualmente en España están fragmentados, además de que algunos están siendo ocupados por el Ministerio de Defensa.

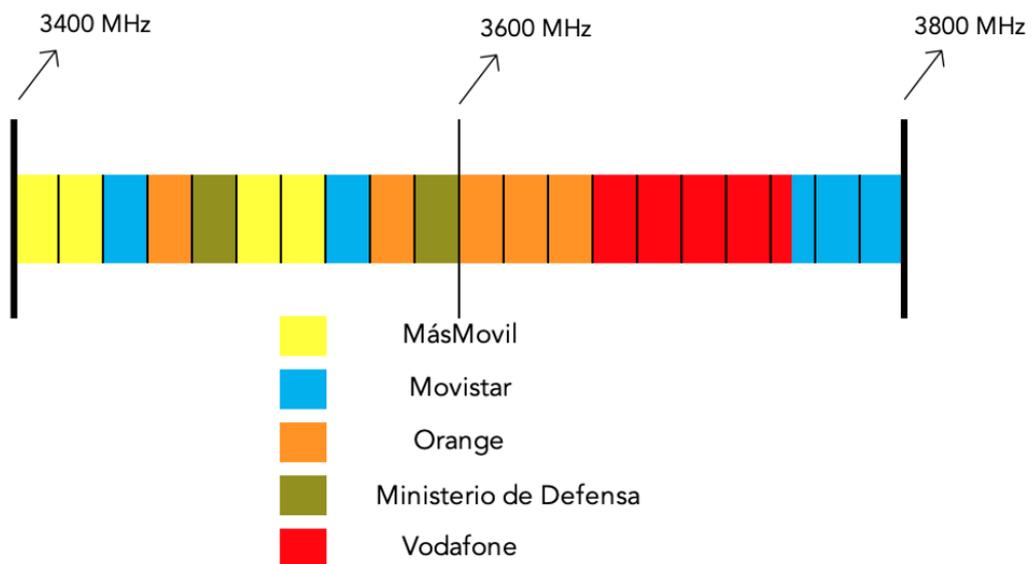


Figura 1.11: situación actual del reparto de frecuencias en la banda 3.5GHz

		Espectro total	Espectro contiguo
	MásMóvil	80MHz	40MHz
	Movistar	90MHz	50MHz
	Orange	100MHz	60MHz
	Ministerio de Defensa	40MHz	20MHz
	Vodafone	90MHz	90MHz

Figura 1.12: Recuento del espectro total y contiguo

Esta fragmentación es debido a que en un principio las bandas de la mitad inferior (3400-3600MHz) iban a ser utilizadas para el FDD, es decir, para canales de frecuencia independientes, ya que uno sería el canal de bajada y otro el de subida. Cada canal necesitaría un tamaño de unos 20MHz sin la necesidad de estar contiguos. Otra de las causas esta fragmentación son las dos bandas fragmentadas usadas por el Ministerio de Defensa, que utiliza estos 40MHz para tener servicios de radiolocalización en las algunas zonas geográficas determinadas. El resultado de esta gran fragmentación del espectro es un rendimiento del 5G menor del que podríamos esperar con esta infraestructura a nuestra disposición, ya que el 5G puede utilizar portadoras con un ancho de banda de 100MHz y no de los 20MHz en los que se dividió originariamente, además en esta banda las portadoras son TDD (Time Division Duplex), es decir se utiliza la misma frecuencia para la bajada y la subida de datos, al repartir el tiempo en cada sentido, por esto a las operadoras móviles, les interesa que todo el espectro del que disponen esté contiguo. Como podemos ver en la Ilustración 4, Vodafone es la única operadora con tanto espectro contiguo (90 MHz), por lo que será la única que podrá conseguir velocidades mucho más rápidas que el resto de las operadoras, seguida por Orange con 60MHz, Movistar con 50MHz y MásMóvil con 40MHz.

Las frecuencias que se encuentran en la mitad superior (3600-3800Mhz) para adjudicar las concesiones de uso de estas fueron sacadas a un periodo de pujas que duró un total de 34 rondas.

Ganador	Ancho de banda adjudicado	Precio total
Vodafone España S.A.U	90MHz	198.141.528,48
Orange Espagne S.A.U	60MHz	132.044.533,56 €
Telefónica Móviles España S.A.U	50MHz	107.462.458,56 €

Figura 1.13: Resumen de la subasta de espectro 3.6 - 3.8 GHz [Plan Nacional 5G]

**La subasta de la banda de frecuencia de 700MHz** Tras constantes retrasos debido a la pandemia, el Gobierno de España anunció que la subasta se realizaría antes del 21 de julio, con el 2 de julio como límite para las operadoras para presentar las solicitudes de participación. Esta subasta estaba siendo muy esperada por las operadoras, ya que el despliegue de esta banda resulta crucial para el despliegue del 5G.

El gobierno ofertará dos bloques de 2x10MHz, 2 bloques de 2x5MHz, los 4 destinados a las comunicaciones “pareadas” y 3 bloques más de 5MHz destinado solo a las comunicaciones descendentes. La subasta comenzará con un precio de 995,5 millones de euros, lo que supone un 15 % menos de lo que el Gobierno había anunciado en un principio, que era de 1.170 millones de euros.

Banda de frecuencias	Rango de frecuencias	Ancho de banda	Precio de salida
Banda pareada de 703-733 y 758-788Mhz	Bloque abstracto	2x10MHz	270.000.000,00 €
	Bloque abstracto	2x10Mhz	350.000.000,00 €
	Bloque abstracto	2x5MHz	175.000.000,00 €
	Bloque abstracto	2x5MHz	175.000.000,00 €
Banda 738-753MHz	Bloque abstracto	5MHz (solo descendente)	8.500.000,00 €
	Bloque abstracto	5MHz (solo descendente)	8.500.000,00 €
	Bloque abstracto	5MHz (solo descendente)	8.500.000,00 €
<b>Total</b>			<b>995.500.000,00 €</b>

Figura 1.14: Precios iniciales de la subasta de la banda de frecuencia de 700MHz

Una vez que las operadoras adquieran los distintos bloques de frecuencia, se espera que la velocidad y el ancho de banda de las redes aumenten, a la vez que la latencia disminuya y así se resuelva uno de los grandes problemas del 5G NSA, la cobertura dentro de los edificios.

El 21 de julio de 2021 finalizó la subasta de espectro relativa a la banda de 700MHz con 75MHz divididos en 2 bloques de 2x10MHz, 2 bloques de 2x5MHz y 3 bloques de 5MHz que forman el total de las 7 concesiones.

Durante este proceso de subasta se han llevado a cabo 12 rondas en total, en la cual han sido admitidos 3 operadoras en la subasta: Telefónica, Vodafone y Orange. Aunque en un principio se esperaba que Más Móvil también participara, esta se ha retirado de la subasta. En la siguiente tabla vemos un resumen de la subasta de la banda de 700MHz, en la que Telefónica ha conseguido un bloque de 2x10MHz por 310.089.000,00€, Vodafone ha conseguido el otro bloque de 2x10MHz por 350.000.000,00€y, por último, Orange se ha hecho con los dos bloques de 2x5MHz cada uno, por el total de 350.000.000,00€.

Banda de frecuencias	Rango de frecuencias	Ancho de banda	Precio de adjudicación	Adjudicatario
Banda pareada de 703-733 y 758-788Mhz	Bloque abstracto	2x10MHz	310.089.000,00 €	TELEFÓNICA
	Bloque abstracto	2x10Mhz	350.000.000,00 €	VODAFONE
	Bloque abstracto	2x5MHz	175.000.000,00 €	ORANGE
	Bloque abstracto	2x5MHz	175.000.000,00 €	ORANGE
Banda 738-753MHz	Bloque abstracto	5MHz (solo descendente)	Desierta	-
	Bloque abstracto	5MHz (solo descendente)	Desierta	-
	Bloque abstracto	5MHz (solo descendente)	Desierta	-
<b>Total</b>			<b>1.010.089.000,00 €</b>	

Figura 1.15: Precios iniciales de la subasta de la banda de frecuencia de 700MHz

### 1.3.4. Ondas milimétricas MIMO

Actualmente, de las redes de radio se espera un crecimiento continuo de tasa de datos, por lo que necesitamos técnicas más avanzadas, debido a que las técnicas de transmisión de datos clásicas, como los esquemas de modulación de orden mayor y anchos de banda mayores, han llegado a sus límites, pero para superar este límite, se puede hacer uso de una tecnología bastante compleja denominada MIMO (Multiple Input Multiple Output, o en español, múltiple entrada múltiple salida), pero con el uso de un elevado número de antenas. Esta tecnología se ha utilizado previamente en estándares de comunicación como 3G y 4G, en los que usaban arreglos de 2x2 hasta 8x8, pero ahora con la llegada del 5G se ha apostado por ampliar el número de antenas en los arreglos para de esta manera poder aprovechar las ganancias que se obtendrían al tener matrices (arreglos bidimensionales) con cientos de estas. Esta nueva forma de arquitectura es lo que se conoce como MIMO Masivo.

Los sistemas de MIMO Masivo aportan gran cantidad de ventajas respecto al MIMO convencional, como puedes ser las tasas de datos más altas, un enlace mucho más fiable y la eficiencia energética, ya que la transmisión de la energía se optimiza al explotar los numerosos grados de libertad que nos ofrecen las múltiples antenas, además el ruido térmico y la interferencia co-canal disminuyen su impacto considerablemente.

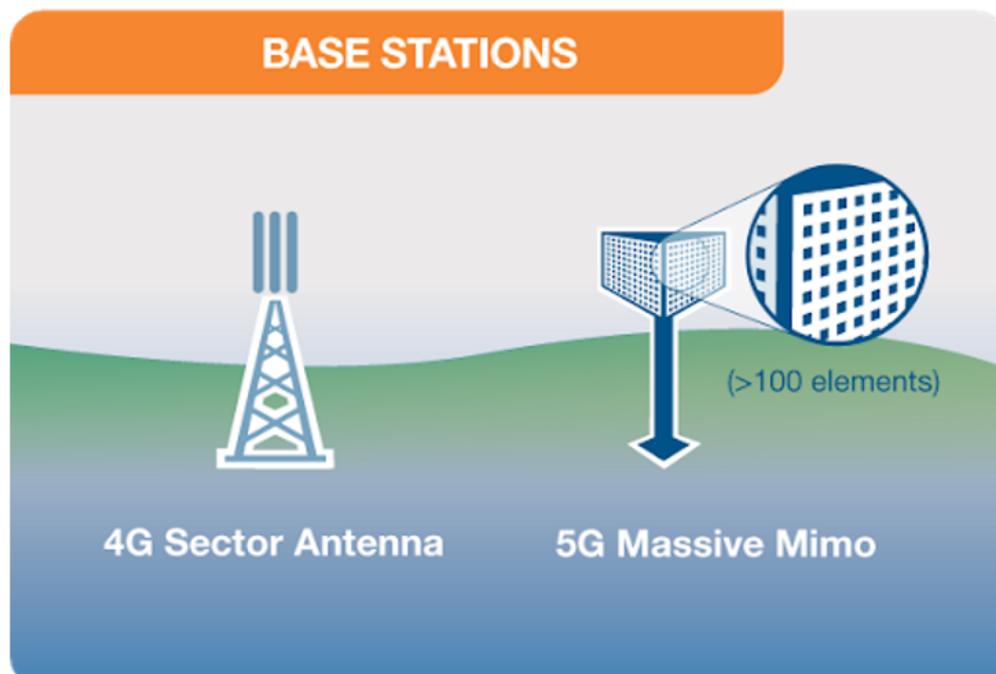


Figura 1.16: Estaciones base [<http://www.emfexplained.info/?ID=25916>]

Como hemos dicho antes, MIMO Masivo se refiere al uso de un gran número de antenas situadas en la estación base para atender a múltiples equipos de usuarios con una sola antena en el mismo intervalo de tiempo-frecuencia. Con lo cual está pensando para que pueda funcionar con Duplexación por División de Tiempo (TDD) combinado con pilotos en el uplink para poder estimar el estado en el que se encuentra el canal (CSI, Channel State Estimation), además en esta estimación tiene en cuenta la posible interferencia entre celdas, la sobrecarga y los errores que se puedan producir en el canal.

La idea de tener y colocar un número infinito de antenas en las estaciones base, no es posible, aparte del espacio, por el reto que supone a la hora de ponerlo en práctica en el ámbito comercial, sobre todo en las bandas inferiores a 6GHz. Aunque a diferencia del 4G, en el que hay un espacio limitado para poder colocar las antenas en el espacio geográfico y en los dispositivos móviles, con el MIMO Masivo eliminamos ese problema, ya que esas antenas se colocarían en las estaciones base, además se prevé que cada vez esas estaciones se irán modernizando para poder instalar sistemas de arreglos que incluso puedan instalarse en las fachadas de los edificios.

Hasta ahora, el uso de esta tecnología (MIMO Masivo) es considerada como la solución a las necesidades que requiere el 5G, ya que ofrece una mayor eficiencia espectral y aumento de la capacidad del sistema y de las velocidades que se ofrecen al usuario. También se obtiene un nivel de seguridad mayor, ya que la capa física es más compleja, por lo que el sistema es más robusto frente a ataques como la escucha pasiva (el atacante escucha o monitoriza la información que está siendo transmitida, con el objetivo de interceptar datos o analizar el tráfico), esta tecnología presenta también robustez en el sistema, ya que gracias al elevado número de antenas reduce el impacto de que un error impacte en el funcionamiento general del sistema.

Además, gracias al elevado número de antenas y el procesamiento óptimo que hacen estas, la cantidad de potencia que se requiere es inferior a sistemas convencionales, por lo que se la incluye en el grupo de tecnologías verdes.

### 1.3.5. Bandas milimétricas (mmWave)

El nombre de la banda milimétrica tiene su origen en una de las características de las ondas que se encargan de transportar los datos: la frecuencia. A medida que la frecuencia aumenta, el sistema es capaz de alcanzar velocidades mayores de transferencia, es decir, a mayor frecuencia, mayor velocidad. Pero esta mejora en la velocidad, a su vez, tiene un coste, ya que, al aumentar la frecuencia, se reduce la capacidad de penetración y su

longitud de onda.

La banda milimétrica es la parte alta del espectro radioeléctrico, la cual utiliza frecuencias muy altas, por lo que su longitud de onda va a ser bastante reducida, de ahí que reciba el nombre de “milimétrica”. Como ya se ha dicho anteriormente, esta banda de frecuencia está situada en lo alto del espectro radioeléctrico (en torno a los 26GHz), lo cual significa que va a haber mucha capacidad disponible, por lo que se va a poder asignar grandes anchos de banda a los operadores (de 100 a 800MHz).



Figura 1.17: Ondas milimétricas en el espectro radioeléctrico

El objetivo principal de la banda milimétrica es asegurarle al usuario una velocidad óptima, independientemente de si está en una gran concentración de personas. Para esto será necesario que las operadoras combinen ambas tecnologías, frecuencias altas, bajas e intermedias, para que de esta forma haya una gran cobertura, con velocidades altas y gran longitud de onda.

### 1.3.6. Propuesta desde Indonesia

#### Qué se ha hecho

Cuando el acceso a Internet empezó a cobrar importancia, no todos los países tuvieron la facilidad de acceder a la red, como fue en el caso de Indonesia. Es en este contexto donde aparece Onno W. Purbo, un activista que luchaba para que todas las personas, independientemente de su clase social y los recursos que tuvieran, pudieran acceder a Internet. Debido a esto, junto a Pak Gunadi, inventan la Wokbolik, una antena parabólica fabricada con una sartén ‘wok’.



Figura 1.18: Antena parabólica construida con un Wok

Básicamente, es una sartén conectada a un adaptador inalámbrico USB, que en el centro tiene una tubería de PVC forrada de papel aluminio, pero que cuando se conecta a un ordenador y se orienta hacia un router, es capaz de aumentar el alcance de la red gracias a la forma parabólica de la sartén “wok”. Según Onno W. Purbo, si el wifi alcanza una distancia de entre 50 y 100 metros, con este diseño es capaz de lograr distancias de hasta 2 y 3 kilómetros. Por lo que la señal de internet es capaz de llegar a zonas de difícil

acceso, o a personas que no tienen recursos suficientes para pagar la conexión.

### Cómo se ha hecho

Como podemos ver simplificada en la Ilustración 9, el núcleo de la red VoIP es el softswitch, en el que se almacena toda la información de los clientes. En la imagen, podemos ver que el softswitch tiene una tabla que mapea los números de teléfono de los abonados sobre las direcciones IP que serán utilizadas para la comunicación de VoIP.

Cada vez que un cliente quiera realizar una llamada a otro cliente, el cliente preguntará al softswitch por cuál es la dirección IP que se corresponde con el número de teléfono consultado.

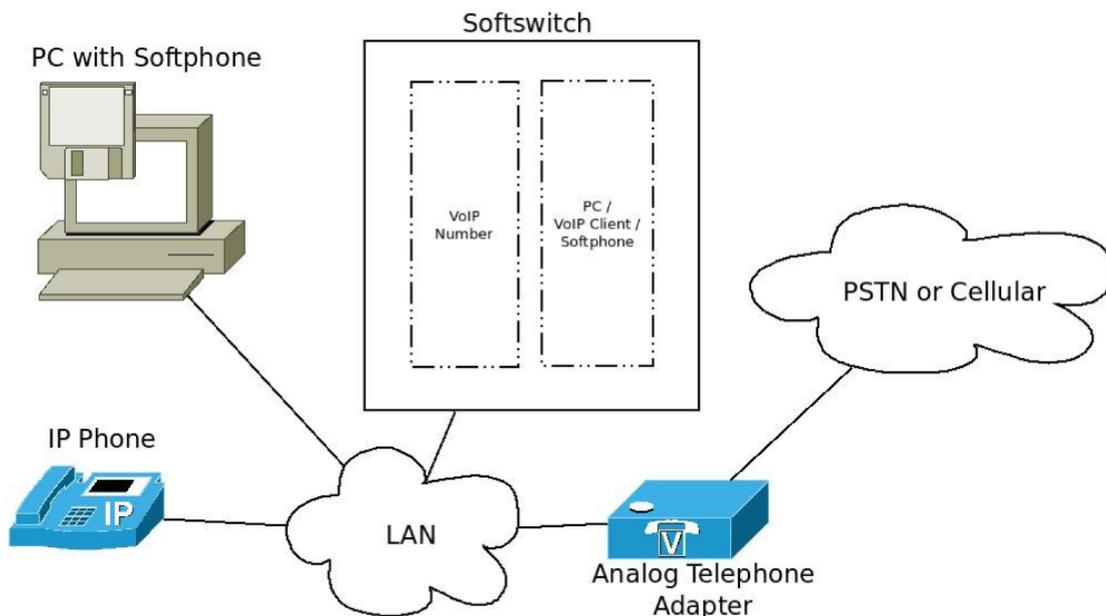


Figura 1.19: Diagrama de implementación VoIP

## 1.4. Datos estadísticos de relevancia

Según datos del Intituto Nacional de Estadística (INE) en 2019 la población en España era de 47.026.208 habitantes. Los cuales están repartidos en 8.131 municipios. En el informe de cobertura de banda ancha hecho por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital [5], se estima que hay 18.145.456 viviendas y 25.166.838 viviendas, con la siguiente distribución por comunidades autónomas.

Comunidad autónoma	Habitantes CCAA	viviendas familiares 2019	Hogares 2019
Andalucía	8.414.240	4.377.338	3.100.151
Aragón	1.319.291	755.195	528.512
Asturias (Principado de)	1.022.800	582.339	435.731
Balears (Illes)	1.149.460	612.522	448.625
Canarias	2.153.389	1.078.593	817.290
Cantabria	581.078	350.463	231.987
Castilla y León	2.399.548	1.602.221	978.856
Castilla-La Mancha	2.032.863	1.183.558	758.078
Cataluña	7.675.217	3.935.130	3.004.782
Ciudad Autónoma de Ceuta	84.777	27.054	25.279
Ciudad Autónoma de Melilla	86.487	27.899	26.232
Comunidad Valenciana	5.003.769	3.126.055	1.982.949
Extremadura	1.067.710	621.365	410.140
Galicia	2.699.499	1.556.564	1.032.248
Madrid (Comunidad de)	6.663.394	3.001.642	2.558.663
Murcia (Región de)	1.493.898	792.789	526.314
Navarra (Comunidad Foral)	654.214	313.922	253.763
País Vasco	2.207.776	1.027.673	897.768
Rioja (La)	316.798	194.516	128.088
<b>TOTAL</b>	<b>47.026.208</b>	<b>25.166.838</b>	<b>18.145.456</b>

Figura 1.20: Distribución de la población, viviendas y hogares por CCAA

Considerando que este proyecto se quiere implementar en Segovia, los datos de la distribución que a nosotros nos interesan son los de dicha provincia, teniendo: 153.129 habitantes, y contabilizándose un total de 114.486 viviendas y 60.133 hogares.

De nuevo, refiriéndonos al informe de cobertura de banda ancha [5], podemos ver la

## Capítulo 1. Descripción del proyecto

cobertura que tienen las distintas tecnologías (ADSL, FTTH, LTE...) por provincia:

Provincia	ADSL ≥ 2 Mbps	ADSL ≥ 10 Mbps	VDSL	HFC	FTTH	Inalámbricas ≥ 30 Mbps	UMTS con HSPA	LTE
Lugo	67,44%	50,12%	9,96%	52,01%	41,82%	39,00%	99,95%	99,93%
Madrid	93,48%	69,46%	12,12%	48,03%	96,84%	2,85%	100,00%	99,99%
Málaga	89,11%	65,79%	11,44%	28,62%	92,73%	70,42%	99,99%	99,99%
Murcia	81,85%	66,99%	8,94%	54,60%	84,06%	83,58%	99,97%	99,94%
Navarra	87,90%	74,18%	15,10%	49,83%	71,25%	85,76%	99,98%	99,91%
Ourense	70,38%	50,58%	11,66%	51,77%	50,41%	38,74%	99,97%	99,84%
Asturias	78,92%	63,18%	10,16%	72,26%	75,19%	18,09%	99,95%	99,73%
Palencia	87,80%	79,33%	12,24%	48,41%	71,42%	30,74%	99,78%	98,92%
Palmas, Las	81,62%	58,39%	9,57%	30,71%	84,97%	20,57%	99,98%	99,95%
Pontevedra	70,38%	54,17%	10,76%	52,82%	65,47%	45,14%	99,99%	99,99%
Salamanca	85,55%	75,69%	13,08%	55,36%	70,17%	34,26%	99,78%	98,88%
Santa Cruz de Tenerife	84,83%	59,06%	9,59%	26,37%	83,39%	63,00%	99,99%	99,94%
Cantabria	87,07%	66,06%	11,38%	59,58%	72,29%	28,56%	99,97%	99,82%
Segovia	87,39%	78,81%	17,06%	27,21%	70,11%	53,39%	99,89%	99,51%
Sevilla	95,09%	76,97%	11,87%	50,03%	91,75%	10,54%	100,00%	100,00%
Soria	80,01%	71,93%	14,90%	43,35%	65,64%	33,06%	99,83%	98,30%
Tarragona	87,77%	73,46%	11,79%	15,68%	73,92%	23,44%	99,98%	99,89%
Teruel	82,35%	73,32%	17,02%	0,00%	58,75%	86,11%	99,84%	98,09%
Toledo	93,72%	83,18%	11,72%	20,16%	75,97%	35,68%	99,99%	99,95%
Valencia/València	93,10%	76,69%	10,58%	76,50%	86,01%	19,66%	99,99%	99,94%
Valladolid	88,49%	71,56%	11,83%	65,50%	88,49%	13,57%	99,92%	99,53%
Bizkaia	94,70%	77,20%	13,02%	92,27%	91,25%	7,33%	99,99%	99,99%
Zamora	82,98%	73,27%	18,84%	45,40%	52,67%	37,80%	99,46%	98,41%
Zaragoza	89,67%	75,62%	14,75%	50,91%	90,73%	92,18%	99,96%	99,75%
Ceuta	95,22%	78,59%	17,49%	0,00%	92,78%	1,40%	100,00%	99,88%
Melilla	92,43%	57,18%	9,77%	29,28%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%
<b>TOTAL</b>	<b>89,13%</b>	<b>71,13%</b>	<b>11,64%</b>	<b>45,90%</b>	<b>84,93%</b>	<b>29,79%</b>	<b>99,97%</b>	<b>99,87%</b>

Figura 1.21: Cobertura por tecnología y provincia

Con los datos de la tabla anterior, podemos obtener el número y porcentaje de habitantes que se quedarían sin cobertura:

Población 153.129

SEGOVIA	ADSL 2Mbps	ADSL 10Mbps	VDSL	HFC	FTTH	Inalambrica 30Mbps	UMTS	LTE
	87,39%	78,81%	17,06%	27,21%	70,11%	53,39%	99,89%	99,51%
Les llega	133819	120681	26124	41666	107359	81756	152961	152379
Habitantes sin cobertura	19.310	32.448	127.005	111.463	45.770	71.373	168	750
% fuera	12,61%	21,19%	82,94%	72,79%	29,89%	46,61%	0,11%	0,49%

Figura 1.22: Número de habitantes sin cobertura en Segovia

A pesar de que el ADSL es la forma más barata y más sencilla de llevar a cualquier zona geográfica, aún vemos que hay un 21,19 % que no les llega ADSL de 10Mbps e incluso otro 12,61 % que ni siquiera les llegan 2Mbps. A día de hoy es casi imprescindible tener al menos una velocidad de 10Mbps si se quiere tener un par de dispositivos conectados a la misma red en un mismo hogar, que sean capaces de reproducir contenido multimedia y/o usar aplicaciones de mensajería.

Por lo que, partiendo de esto, es evidente que tecnologías más modernas como VDSL (Evolución más rápida del ADSL, con el doble de conexiones y velocidad), O la Fibra Óptica (HFC y FTTH) están mucho menos implementadas. La fibra óptica solo llega a un 70 % de los hogares de la provincia de Segovia, dejando sin esta conexión a 45.770 personas.

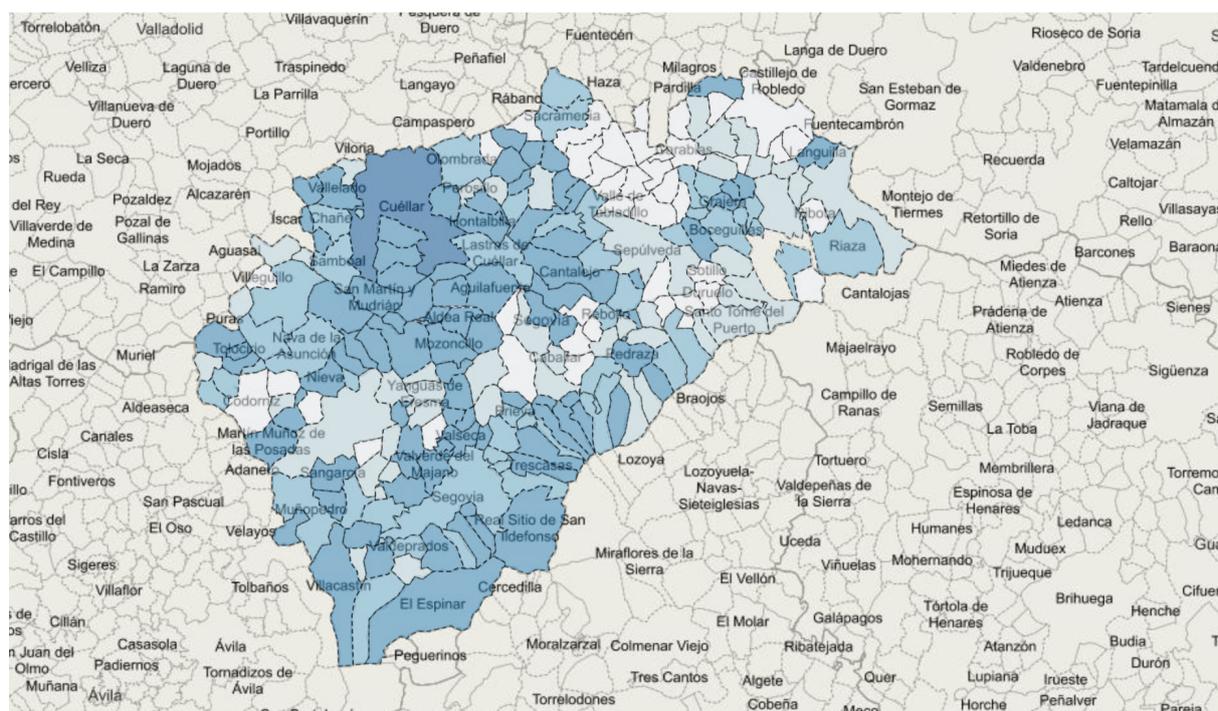


Figura 1.23: Mapa cobertura 2Mbps Segovia [8]

Es remarcable, que justo la franja central 1.23 sea la que menos cobertura le llegue. Es decir, los pueblos más alejados de las capitales y/o municipios importantes cercanos a otras comunidades, como Segovia, y/o Cuéllar.



# Capítulo 2

## Metodología

En este capítulo se va a detallar y a justificar la elección de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, las herramientas que se han utilizado y la arquitectura del proyecto.

### 2.1. Proceso de desarrollo

#### 2.1.1. Fase I: Tradicional o en cascada

Originalmente, el proyecto tenía la intención de implementar la idea recogida en el documento 'Cookbook' de Onno. Purbo [10]. El cual, como se explica en el capítulo 1, sección 1.3.6 Propuesta desde Indonesia, tenía como objetivo establecer una comunicación VoIP mediante el uso de sartenes Wok.

Con el objetivo de replicar su proyecto se estableció que una metodología tradicional o en cascada era la adecuada, ya que se tenían unos objetivos establecidos.

Las características del modelo tradicional o en cascada:

1. Sigue una secuencia lineal, por lo que se pueden diferenciar claramente etapas específicas.
2. Proceso sistemático y ordenado: Análisis de requisitos, diseño, codificación, pruebas y mantenimiento.

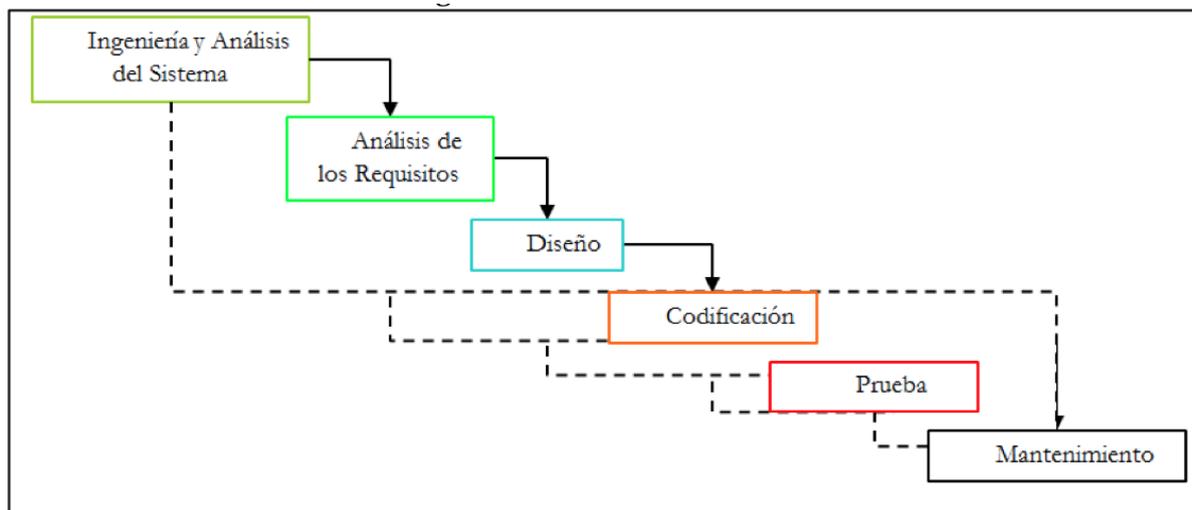


Figura 2.1: Resumen tasa de éxito de los proyectos

### 2.1.2. Fase II: Ágil

En el momento en el que el objetivo, ya no es solo establecer una conexión VoIP, sino dar cobertura Wi-Fi, se plantea un cambio de metodología, debido a que, semana a semana, íbamos viendo los problemas que iban surgiendo, y a partir de estos, íbamos sacando nuevos objetivos para el desarrollo del proyecto.

Por lo que para el desarrollo del proyecto hemos elegido una tecnología ágil, basándonos en el desarrollo iterativo e incremental, ya que como se cita en uno de los principios del manifiesto ágil [7], este tipo de metodología se adapta bien a nuestro desarrollo ya que en:

1. Satisfacer al cliente mediante la entrega continua y con valor del proyecto.
2. Aceptación de que los requisitos cambien, aun estando el proyecto avanzado.
3. Revisión continua del proyecto que se está realizando con el fin de asegurar un progreso.

SIZE	METHOD	SUCCESSFUL	CHALLENGED	FAILED
<b>All Size Projects</b>	Agile	39%	52%	9%
	Waterfall	11%	60%	29%
<b>Large Size Projects</b>	Agile	18%	59%	23%
	Waterfall	3%	55%	42%
<b>Medium Size Projects</b>	Agile	27%	62%	11%
	Waterfall	7%	68%	25%
<b>Small Size Projects</b>	Agile	58%	38%	4%
	Waterfall	44%	45%	11%

Figura 2.2: Resumen tasa de éxito de los proyectos

Además, como podemos ver en la figura 2.1: “Resumen, tasa de éxito de los proyectos”, extraída del Informe del Caos de 2015[4], en el que se hizo un estudio comparando las probabilidades de éxito o fallo que tendrían distintos proyectos, atendiendo a sus características y metodologías; y viendo las características de nuestro proyecto: un proyecto de desarrollo de una tecnología experimental en la que nos tenemos que ir adaptando a las dificultades que surjan, unido a que es un proyecto pequeño, nos situamos en la franja de mayor tasa de éxito de la tabla. A nuestra elección hay que sumarle que el proyecto tiene una parte de investigación, por lo cual se adquiere una continua incertidumbre y la alta probabilidad de tener que hacer cambios en los requisitos o que estos desaparezcan o aparezcan nuevos.

Cómo hemos tenido la posibilidad de tener reuniones periódicas, hemos elegido la metodología Scrum, la cual según la Guía Scrum [11] se basa en:

### 1. Definición:

Es un marco que ayuda a las personas, equipo y organizaciones a generar valor a

través de soluciones adaptables para problemas complejos. En esta metodología solo se definen las partes necesarias para que se pueda implementar dicha teoría, pero en vez de proporcionar las personas instrucciones detalladas, dejan que ellas, mediante la inteligencia colectiva, sean capaces de resolver un trabajo y a la vez que puedan realizar mejoras.

**2. Metodología y equipo:**

Los proyectos que utilizan esta metodología necesitan partir con una visión general del proyecto, de la cual se empezará a profundizar y a detallar. Para esto, se detallará las herramientas de trabajo y los roles necesarios:

<b>ROLES</b>	
<b>Rol</b>	<b>Tareas</b>
Desarrolladores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Personas que tienen el objetivo de generar contenido funcional en cada Sprint.</li> <li style="padding-left: 40px;">- Trabajan de forma colaborativa.</li> <li>- Se autoorganizan (capacidad de decidir cómo se cumplen los objetivos marcados).</li> <li style="padding-left: 40px;">- Participan en las Daily Sessions.</li> </ul>
Propietarios (Product Owner)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsable de maximizar el valor del producto resultante del trabajo del equipo de Scrum.</li> <li style="padding-left: 40px;">- Para esto tiene que conocer al completo el producto y las necesidades.</li> <li style="padding-left: 40px;">- Autoridad total sobre lo que hay que hacer.</li> <li style="padding-left: 40px;">- Ayuda a tener una visión clara y transparente del proyecto.</li> </ul>
Scrum Master	<ul style="list-style-type: none"> <li style="padding-left: 40px;">- Mantiene el contacto con el Product Owner.</li> <li>- Intenta resolver todas las dudas y problemas que puedan surgir.</li> <li style="padding-left: 40px;">- Lidera y guía al equipo sin necesidad de imponerse.</li> <li style="padding-left: 40px;">- Se asegura que se realicen todos los eventos.</li> </ul>

Cuadro 2.1: Metodologías ágiles: desglose de roles

<b>EVENTOS</b>	
<b>Evento</b>	<b>Objetivo del evento</b>
Sprint	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Periodo inferior a 4 semanas.</li> <li>- Tiene como objetivo proporcionar funcionalidad al finalizar el sprint.</li> </ul>
Sprint Planning	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reunión inicial a cada sprint, donde se marcarán los objetivos del siguiente sprint.</li> <li>- En estas reuniones participa todo el equipo.</li> </ul>
Daily Scrum	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reunión diaria para alinear y planear el trabajo las siguientes 24h.</li> <li>- Acude todo el equipo y opcionalmente el Scrum Master.</li> <li>- No puede ser superior a 15 mins.</li> </ul>
Sprint Review	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se enseñan las tareas que se han finalizado a los stakeholders.</li> <li>- Su duración máxima es de 4 horas al finalizar un Sprint.</li> </ul>
Sprint Retrospective	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El Scrum Team analiza lo que puede mejorar o mantener con el fin de mejorar y avanzar.</li> <li>- Se hace antes de planificar un nuevo Sprint y al acabar un Sprint Review.</li> </ul>

Cuadro 2.2: Metodologías ágiles: desglose de eventos.

Dado el carácter del presente proyecto, los paradigmas de programación han sido sustituidos por un estudio pormenorizado de soluciones de telecomunicación (antenas), así como su interconexión a un sistema inalámbrico con un estudio de eficiencia en la transmisión de la potencia de la señal.

## 2.2. Herramientas utilizadas

En esta sección se entrará más en detalle en las tecnologías específicas que se han empleado para desarrollar el proyecto.

Asimismo, se defenderán los criterios por los que se han seleccionado las herramientas elegidas, de entre otras posibles, haciendo referencia a posibles ventajas e inconvenientes.

Herramienta	Especificación
Overleaf	Es un editor colaborativo que usa el lenguaje LaTeX. La ventaja en comparación a otros editores que usan este lenguaje, es que está guardado en la nube, por lo que guardarlo y compartirlo con otros usuarios se convierte en una tarea bastante sencilla.
Ekiga	Es una aplicación de software que sirve para hacer video llamadas y llamadas VoIP.
Netspot	Herramienta de software que sirve para escanear y evaluar redes Wi-Fi. En ella se pueden ver parámetros como la señal, la gráfica de la señal, el nombre de la red...
Microsoft 365	Conjunto de aplicaciones de ofimática. Para el desarrollo del proyecto, solo hemos utilizado Excel, con el objetivo de realizar operaciones con formato de tabla.

# Capítulo 3

## Planificación

En este capítulo se abordarán las cuestiones relativas a la planificación que se ha seguido en la evolución de las fases del proyecto, tanto en la fase I: metodología tradicional, como en la fase II: metodología ágil. Así como la comparativa entre ambas planificaciones.

### 3.1. Planificación temporal y estimación del esfuerzo

#### 3.1.1. Fase I: Tradicional o en cascada

Como se ha hecho referencia en el capítulo 2.1.1 de la planificación, al principio decidimos seguir una metodología tradicional o en cascada, por lo que teniendo los objetivos fijos, realizamos un Gantt para planificar el proyecto.

En el siguiente diagrama de Gantt podemos observar de forma gráfica la distribución temporal estimada que hicimos de las tareas.

La estimación del proyecto comenzaba el 4 de octubre de 2021 y se estimaba una finalización en torno al 25 de febrero de 2022.

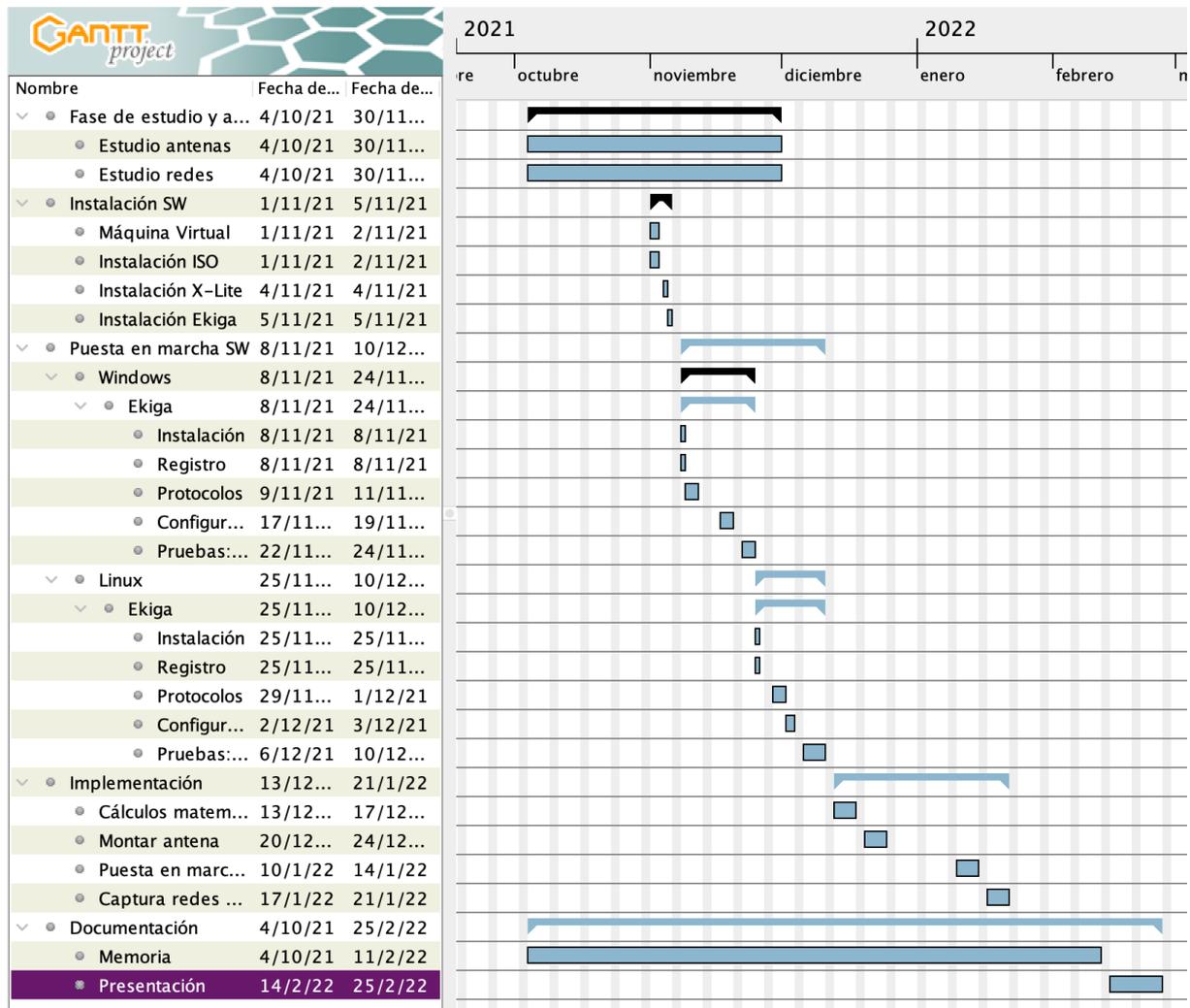


Figura 3.1: Estimación Gantt del proyecto

### 3.1.2. Fase II: Ágil

En el momento en el que se empieza a intentar replicar el proyecto de [10] vemos que el transcurso del tiempo y la geolocalización donde se quiere establecer el proyecto, provocan un cambio total en las necesidades que quiere abordar el proyecto.

Es decir, el grupo social al que está destinado tiene unas necesidades que van más allá de la necesidad de establecer llamadas VoIP, como le ocurría a los indonesios, y esta es la conectividad a Internet. Además, debido al paso del tiempo, las tecnologías han avanzado, por lo que es mucho más accesible reutilizar routers y antenas parabólicas de televisión,

que utilizar una sartén wok.

Por esto, el cambio de necesidades a las que necesitamos hacer frente, nos lleva a elegir esa metodología ágil a la que hacemos referencia en el capítulo 2.1.2, por lo que nos reunimos todas las semanas y tomamos decisiones según lo que se ha realizado la semana previa.

## 3.2. Presupuesto económico

En este apartado se hará un desglose tanto del uso de tecnologías software y hardware, como los recursos humanos empleados para el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta para los cálculos el tiempo de uso, la frecuencia con la que se han usado los recursos y el coste mensual de estos.

### 3.2.1. Hardware y software

#### 1. Coste software

En este sub apartado se hará el desglose de las herramientas software que han sido necesarias utilizar-. Al ser la mayoría de las aplicaciones Open Source y de licencia libre, no será necesario pagar por ninguno de ellos. Por otro lado, la licencia de Microsoft Office es licencia educativa-universitaria, por lo que no se pagará nada por ella, aun así, en la tabla de desglose aparecerá como si se tuviera que adquirir una licencia de uso normal.

Nombre del dispositivo	Precio	Porcentaje de uso	Tiempo de uso	Precio Final
Microsoft Office 365	7€/mes	10 %	8 meses	5,6 €
Ekiga	0€		8 meses	0€
Overleaf	0€		4 meses	0€
GanttProject	0€		8 meses	0€
<b>TOTAL</b>				<b>5,6€</b>

Cuadro 3.1: Costes Software

## 2. Coste hardware

En este subapartado se hará el desglose de los materiales que hemos necesitado. Para calcular el precio del ordenador, consideramos que un ordenador tiene un tiempo de vida de 4 años (48 meses), por lo que sabiendo esto podemos calcular el coste mensual. Además, se considerará que se ha utilizado el 20 % del tiempo de vida del portátil durante el tiempo de trabajo. Esto se hará igual para obtener el precio de la Fibra, tomando solo el tiempo de uso dedicado al proyecto.

Nombre dispositivo	Precio	Tiempo de vida	Porcentaje de uso	Tiempo de uso	Precio final
MacBook air	1739,00 €	48 meses	20 %	8 meses	116,12 €
Fibra 1Gb	14,95 €/ mes		15 %	8 meses	17,94 €
Antena Parabolica 60 cm					24, 73 €* 
USB autoalimentado					13,99€* 
TP- Link TL Adaptador Wi-Fi					8,77 €* 
Router					18,90 €* 
<b>TOTAL</b>					<b>281,55 €</b>

Cuadro 3.2: Costes Hardware

En los precios acompañados del \* no se ha calculado el precio en relación con el tiempo de vida ni al tiempo de uso, ya que se han comprado específicamente para el desarrollo del proyecto.

### 3.2.2. Recursos humanos

Para el coste de recursos humanos, vamos a establecer que en este proyecto habría trabajado un ingeniero de software que sería el encargado de la parte de software y un ingeniero de hardware.

Como estimación, se ha calculado una media diaria de 4 horas de trabajo durante 8 meses dedicadas al proyecto, por lo que para obtener el total de horas se multiplicará este

número por los 5 días de la semana, por 4 semanas que tiene un mes y por la duración total del proyecto:  $horas\ de\ trabajo\ totales = 4 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 8 = 640\ horas$ .

Para cada rol realizado se realiza este desglose:

### INGENIERO SOFTWARE:<sup>1</sup>

1. Sueldo bruto ingeniero software: **33.000€/año**
2. Sueldo bruto mensual: **2750€/mes**
3. Coste seguridad social:  $649€ + 151,25€ + 5,5€ + 19,25€ = 825€$ 
  - 23,60 % contingencias comunes: el 23,6 % de 2750€ es **649€**
  - 5,5 % tipo general de desempleo para contrato indefinido: el 5,5 % de 2750€ es **151,25€**
  - 0,20 % FOGASA (fondo de Garantía Social): el 0,20 % de 2750€ es **5,5€** -
  - 0,70 % para formación profesional: el 0,70 % de 2750€ es **19,25€**
  - Coste total:  $2750 - 825 = 1925€$

### INGENIERO HARDWARE:<sup>2</sup>

1. Sueldo bruto ingeniero hardware: **37.100€/año**
2. Sueldo bruto mensual: **3091€/mes**
3. Coste seguridad social:  $729,47€ + 170€ + 6,2€ + 21,63€ = 927,31€$ 
  - 23,60 % contingencias comunes: el 23,6 % de 3091€ es **729,47€**
  - 5,5 % tipo general de desempleo para contrato indefinido: el 5,5 % de 3091€ es **170€**
  - 0,20 % FOGASA (fondo de Garantía Social): el 0,20 % de 3091€ es **6,2€** -
  - 0,70 % para formación profesional: el 0,70 % de 3091€ es **21,63€**
  - Coste total:  $3091 - 927,31 = 2163,69 €$

<sup>1</sup><https://es.talent.com/salary?job=ingeniero+software>

<sup>2</sup><https://es.talent.com/salary?job=ingeniero+hardware>

Para obtener el precio de una hora trabajada, tomamos como referencia el salario neto mensual de un Ingeniero con un contrato de 40 horas, que en un mes sumarían 160. Por lo que para obtener el precio de la hora, se divide el salario neto mensual entre el número de horas totales del mes.

$$\text{Hora Ingeniero Software} = \frac{1925}{160} = 12,03 \text{ euros}$$

$$\text{Hora Ingeniero Hardware} = \frac{2163,69}{160} = 13,52 \text{ euros}$$

Para el desarrollo del proyecto, hemos dividido el tiempo, llevándose el Ingeniero del Software el 65 % y el Ingeniero Hardware el otro 35 %.

Al hacer este cálculo, obtenemos que el Ingeniero Software ha usado

$$(0,65 \cdot 640) = 416 \text{ horas}$$

y que el Ingeniero Hardware ha usado

$$(0,35 \cdot 640) = 224 \text{ horas}$$

Rol	Salario bruto	Salario neto mensual	€/hora	horas	Total
Ingeniero Software	33.000 €	1925€	12,03€	416	5004,48€
Ingeniero Hardware	37.100€	2163,69€	13,52€	224	3028,48€
<b>TOTAL</b>					<b>8032,96€</b>

Cuadro 3.3: Costes humanos totales

### 3.2.3. Presupuesto total

En este apartado aparecerán presentados los conceptos económicos en una tabla.

Por las características del proyecto, un proyecto eminentemente orientado a resolver el problema de la conectividad de la España vaciada de manera desinteresada, se ofrecería este servicio de forma gratuita a instituciones públicas que pudieran necesitarlo (principalmente municipales). Sin embargo, se hará la estimación que costaría instalar cada antena.

Por lo que dos estimaciones, la que es el coste del proyecto y la que incluiría la instalación y montaje de la antena en algún sitio de cara a presentarlo al concurso.

Para calcular el coste de instalación, hemos calculado que la persona que instalará la antena con un mástil en la fachada de la casa, tardaría en torno a una hora, ya que consistiría en subir el tejado, anclar los mástiles a una de las paredes de la casa, y en estos mástiles colocar la antena para tener una buena visibilidad con el punto de emisión Wi-Fi que queremos recoger. También tendrá que pasar el cable desde la antena hasta el interior de la casa para poder conectarlo a un ordenador o a un punto de acceso.

Además, habrá que añadirle una hora extra que será la del desplazamiento. Hemos decidido que sea una hora, ya que la mayoría de los pueblos de la franja con menos acceso a Internet se encuentran a una distancia de Segovia capital de unos 30 minutos. Por lo que, de esta forma, el desplazamiento estaría totalmente cubierto.

Resumiendo esta última parte de la instalación, serían dos horas en las que habría que pagar al Ingeniero del Hardware, por lo que  $\text{coste instalacion antena} = 13,53 \cdot 2 = 27,06 \text{ euros}$ .

Estimaciones	Software	Hardware	Recursos humanos	Instalación antena	TOTAL
Estimación I	5,6 €	281,55 €	8032,96 €	- €	8320,11€
Estimación II	5,6 €	281,55 €	8032,96 €	27,06€	$8320,11 + (n \cdot 27,06) \text{ €}^*$

Cuadro 3.4: Presupuesto total según estimaciones

Siendo  $n$ , el número total de antenas que habría que instalar.



# Capítulo 4

## Conclusiones

Concluyo que he abordado un problema real, resolviéndolo con la construcción de un prototipo. Este proceso ha dado pie a pensar que existen formas razonables y económicas de disminuir la brecha digital en la España Vacía.

Tal vez cabría plantear la vuelta a lo local, para resolver este tipo de problemas tan característicos de nuestra topografía, en vez de mirar las regiones de la España Vacía, en especial Segovia, desde el punto de vista de la globalización. Entiendo que para resolver problemas particulares que involucren derechos fundamentales, como puede ser el de la comunicación hoy en día, han de primar consideraciones de bienestar social sobre las económicas y estandarizadas por las compañías de telecomunicaciones. Aún así, este proyecto pone de manifiesto que existen formas económicas y eficaces para resolver problemas locales como el que nos ocupa.

A medida que se ha ido desarrollando el proyecto, se han ido cambiando los objetivos, ya que la idea original se ha ido adaptando al momento de ejecución y al ámbito geográfico en el que se quería desplegar.

Han surgido constantes inconvenientes, como por ejemplo, las dificultades de poner en marcha software que a día de hoy estaba obsoleto o que tras ponerlo en marcha, nos dábamos cuenta de que no lo necesitábamos porque esas características ya estaban cubiertas teniendo que volver a replantearse los objetivos concretos que perseguíamos con el presente trabajo.

Para finalizar este apartado de conclusiones, y como estudiante del Grado de Ingeniería Informática de Servicios y Aplicaciones, me gustaría notar que estoy orgullosa de haber desarrollado un proyecto en el que su objetivo es resolver una problemática de carácter social, como puede ser la Brecha Digital que hay actualmente en mi provincia.

Para resaltar la utilidad de este proyecto me gustaría destacar que hemos presentado el mismo al Concurso universitario de Proyectos Fin de Estudios vinculados a la agenda rural sostenible de la provincia de Segovia"que organiza la Diputación de Segovia.

## Parte II

### Documentación técnica



# Capítulo 5

## Análisis

### 5.1. Requisitos

En este apartado se describen los requisitos del sistema que se va a desarrollar: requisitos funcionales, de interfaz de usuario, de información, etc.

Para una mejor descripción de los requisitos, se usan los llamados casos de uso, basados en la identificación de actores y tareas.

1. Captar una señal de radiofrecuencia (FR) que esté a una distancia relevante (3-4 km)
2. Remitirla a un punto de acceso o un router inalámbrico.
3. Generar una red de área local accesible para usuarios con una capacidad mínima de 3G-4G, con el objetivo de que puedan hablar por teléfono y estar conectados a la red, como mínimo, en una zona rural.
4. En el caso de que se implementara, habrá que valorar unos cursos para enseñar a las personas mayores a utilizar estas tecnologías.

<b>Nombre e ID del CU</b>	CU-01. Captar señal FR a una distancia
<b>Actor</b>	Antena y Usuario

<b>Descripción</b>	La antena parabólica tendrá que captar una señal Wi-Fi, para que el dispositivo que elijamos pueda repetir esta señal.
<b>Precondiciones</b>	PRE-1. La antena se encuentra en el rango de señal la red Wi-Fi.
<b>Flujo normal</b>	FN1 Se conecta la tarjeta de red de la antena al ordenador. FN2 Aparece la lista de redes Wi-Fi capturadas por la antena.
<b>Prioridad</b>	Alta
<b>Otra info</b>	El primer usuario que acceda a la red, será el que tenga que establecer la relación con el punto de acceso.

Cuadro 5.1: CU-01. Capturar redes con la parabólica

<b>Nombre e ID del CU</b>	CU-02. Usuario se conecta a la red Wi-Fi capturada
<b>Actor</b>	Usuario
<b>Descripción</b>	Al capturar la red Wi-Fi, el usuario tendrá que acceder a la red con las credenciales.
<b>Precondiciones</b>	PRE-1. La red ha sido capturada.
<b>Flujo normal</b>	FN1 El usuario detecta la red Wifi que está siendo amplificada por la antena. FN2 El usuario se conecta a ella.
<b>Prioridad</b>	Alta
<b>Otra info</b>	

Cuadro 5.2: CU-02. Solicitar acceso a red

## 5.2. Atributos de calidad

Se analizarán aquí los posibles indicadores de calidad de la aplicación desarrollada, a saber:

**Rendimiento:** Para que el sistema pueda funcionar es necesario establecer un límite mínimo de decibelios que tienen que llegar. Este límite se encuentra en los 20 dbm. tiene que ver con los tiempos de espera y de ejecución, así como la gestión de la memoria y posibles problemas de concurrencia.

**Seguridad:** De este atributo no tendremos que preocuparnos, ya que la señal Wi-Fi ya viene con su cifrado estándar, que normalmente es WPA2. El cual pedirá una contraseña para poder acceder a la red.

**Robustez:** Los requisitos de robustez están fundamentados en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, ya que, según se está trasladando, la señal solo se ve afectada -según estudios de Telecomunicaciones [9]- en un orden de 1.8 dbm en el 99 % del tiempo, ya que esta señal tiene un comportamiento ondulatorio.



# Capítulo 6

## Marco teórico de telecomunicaciones

En este capítulo se pondrán de manifiesto las operaciones matemáticas que se han realizado para justificar la utilización de una antena parabólica para recepción de televisión vía satélite como captadora de una señal Wi-Fi. También se detallará el posicionamiento de la tarjeta de red utilizada para tal efecto dentro de una guía de ondas.

### 6.1. Diseño de la arquitectura

#### 6.1.1. Wi-Fi 2.4 GHz o 5 GHz

Actualmente, la mayoría de enrutadores usan dos frecuencias de emisión: la de 2.4 GHz y la de 5 GHz. En nuestro caso, ¿cuál es conveniente elegir?[6]

Lo primero es necesario saber cuáles son las características de ambas, así como sus diferencias.

- **2.4 GHz:** La principal característica es que además de tener una mayor área de cobertura, tiene mayor capacidad de evitar objetos sólidos. Aunque su velocidad de transmisión de datos es inferior a la de 5G (entre 50-60 Mbps frente a 867

Mbps). Además, hay que tener en cuenta que por lo general habrá mayor número de dispositivos conectados, dando la posibilidad de que la red sufra más interferencias.

- **5 GHz:** En contraposición a la banda de frecuencia de 2.4 GHz, tiene una menor área de cobertura y menor capacidad de evitar objetos sólidos. Pero su velocidad de transmisión es mayor y como tendremos conectados menos dispositivos a esta frecuencia, será menos probable que se sufran interferencias.

Debido a los requisitos (5.1) de nuestro proyecto, es evidente que la banda de frecuencia de 2.4 GHz se adapta a ellos, ya que buscamos conectarnos a una señal que tiene su origen en torno a los 2 km de distancia, por lo que se cumple la cobertura de gran distancia y la capacidad de transmisión a través de objetos sólidos. A tener en cuenta, que donde se quiere implementar el proyecto es en zonas donde no ha llegado la última tecnología, por lo que si usáramos bandas de frecuencia de 5 GHz posiblemente nos veríamos afectados por la inutilidad de algunos aparatos, ya que muchos todavía no son capaces de conectarse a esta banda de frecuencia (5 GHz).

### 6.1.2. Arquitecturas

En este subapartado se presentará una explicación de las posibles arquitecturas que podrían utilizarse para convertir la señal capturada por la antena, en una red a la que pueda conectarse más de un usuario.

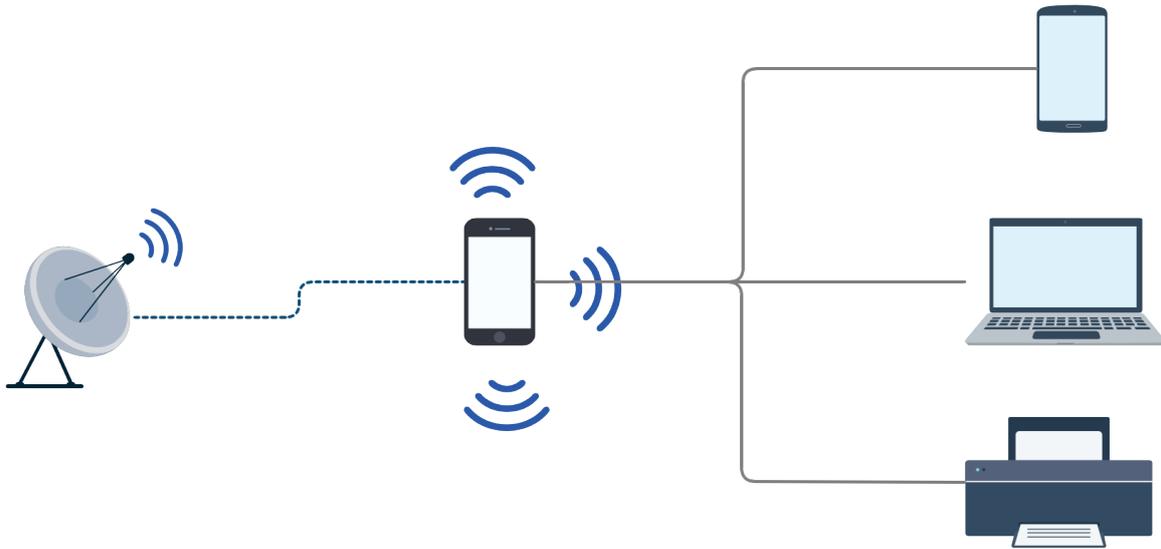


Figura 6.1: Diagrama Arquitectura 1

Como se puede ver en la figura 6.1, se ha recogido la señal de una red Wi-Fi amplificada por la antena mediante la tarjeta de red que está situada en el centro de estas. El móvil se conectará a la red Wi-Fi amplificada por la antena, y con la característica “Conexión Compartida”, se podrá convertir al smartphone en un punto de acceso. Desde nuestro móvil solo habrá que configurar el nombre de la red que queremos configurar, la contraseña y la banda de frecuencia sobre la que queremos emitir. En nuestro caso elegiremos la banda de 2,4GHz.

Las otras dos arquitecturas restantes necesitan de un punto de acceso 6.2 o de un router 6.3. El funcionamiento es el mismo que el de la Arquitectura con el Smartphone 6.1, la principal diferencia es que no se necesitaría tener al smartphone siempre ahí, sino que se conectaría un router o un punto de acceso, al que los usuarios se conectarían.

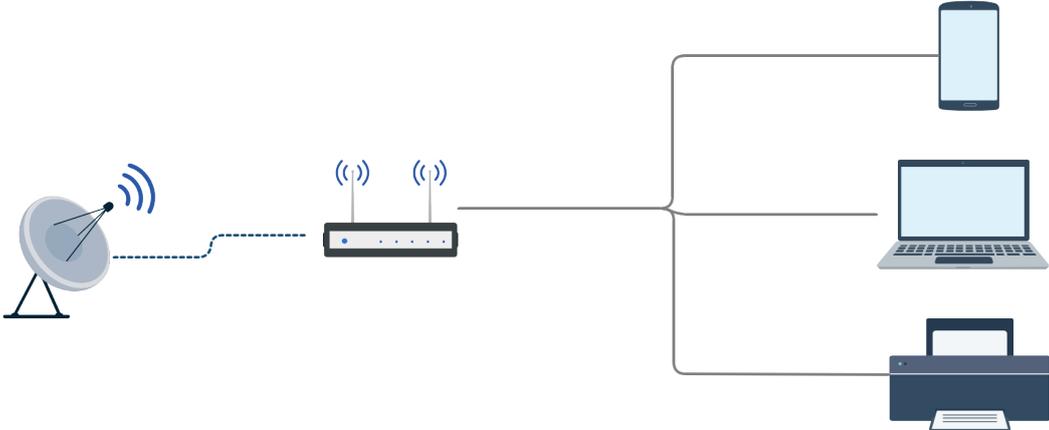


Figura 6.2: Diagrama Arquitectura 2: Punto de acceso

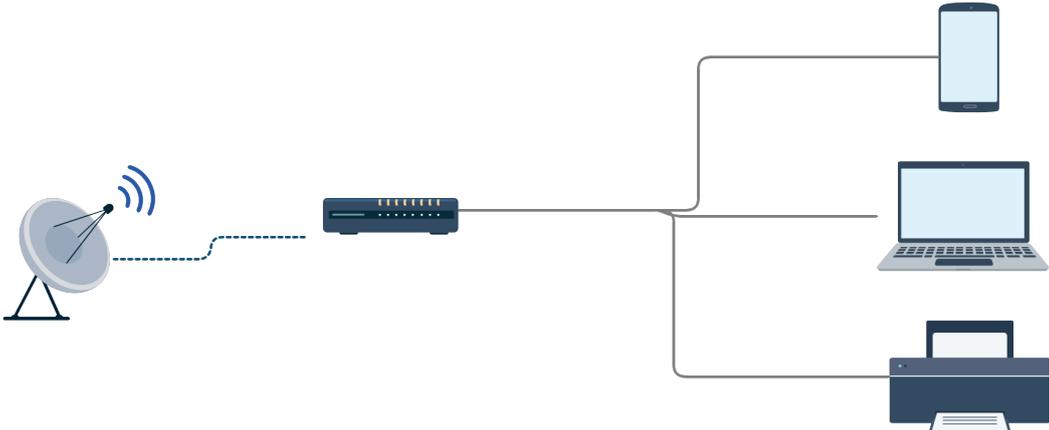


Figura 6.3: Diagrama Arquitectura 3: Router

## 6.2. Cálculos matemáticos

### 6.2.1. Cálculos distancia guía-ondas

Todas las operaciones se expresarán en el sistema internacional, representándose las longitudes finales en centímetros por ser las unidades naturales de las dimensiones del problema que nos ocupa.

Para una frecuencia de 2.4 GHz hay que hacer la transformación a Hz, por lo que:

$$f = 2,4GHz \cdot \frac{10^9MHz}{1GHz} = 2440 \cdot 10^6 Hz \quad (6.1)$$

$$c = f \cdot \lambda \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{2440 \cdot 10^6} = 0,1229 m = 12,29 cm \quad (6.2)$$

Valores recomendados para el diámetro:

Diámetro mínimo de la lata:  $(0,6) \cdot (12,29) = 7,32 cm$

Diámetro máximo de la lata:  $(0,75) \cdot (12,29) = 9,22 cm$

Longitud de onda dentro de la lata:

$$\lambda_G = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{1,706 \cdot D}\right)^2}} = \frac{12,29}{\sqrt{1 - \left(\frac{12,29}{1,706 \cdot 10}\right)^2}} = 17,72 cm$$

$\lambda_G = 17,72 cm$  dentro de la lata.

$$\lambda_G = 17,72 cm; \quad (6.3)$$

Longitud total:

$$l = 0,75 \cdot \lambda_G = 13,29 \text{ cm} \quad (6.4)$$

Espacio desde el final de la lata:

$$S = \lambda_G \cdot 0,25 = 4,43 \text{ cm} \quad (6.5)$$

Altura:

$$H = 0,25 \cdot \lambda = 3,07 \text{ cm} \quad (6.6)$$

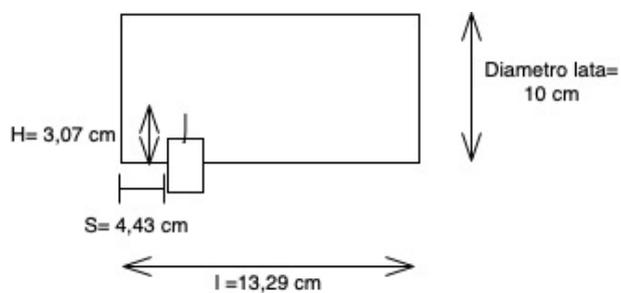


Figura 6.4: Diseño matemático de las medidas de la lata

### 6.2.2. Comprobación de la idoneidad del prototipo

Para comprobar la idoneidad del sistema de comunicaciones vamos a realizar una serie de cálculos divididos en tres fases. [9]

- **Fase I:** ¿Cuál debería ser la ganancia para la antena parabólica de televisión si en lugar de las frecuencias de televisión utilizamos una frecuencia de 2,4GHz (Wi-Fi)?

Para obtener la ganancia de la antena con una frecuencia de 2,4GHz utilizaremos las siguientes fórmulas. Haciendo un sistema entre ambas:

$$S(m^2) = \frac{(ga \cdot \lambda^2)}{4 \cdot \pi \cdot e}$$

$$S(m^2) = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

- $D$  es el diámetro de la antena parabólica; 60cm.
- $ga$  es la ganancia en W.
- $e$  es la eficiencia de recepción, en nuestro caso del 80 %.
- $\lambda$  es la longitud de onda de nuestra señal, en nuestro caso, de 0,125 m.

$$S(m^2) = \pi \cdot (0,3)^2 = 9 \cdot \pi \cdot 10^{-2} (m^2)$$

Para obtener esta ecuación:

$$4 \cdot \pi \cdot 0,8 S(m^2) = ga \cdot \lambda^2$$

Al sustituir y resolver, obtenemos una ganancia de 182,082 W,

$$ga = \frac{4 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot 0,283}{0,125^2} = 182,082 W$$

la cual hay que pasar a dB,  $Ga(dB) = 10 \log ga$  por lo que:

$$Ga(dB) = 10 \cdot \log 182,082 = 22,603 dB$$

▪ **Fase II:** Cálculo del ruido para la frecuencia considerada.

Para calcular el ruido del sistema utilizaremos la fórmula de Thompson[9], para el cálculo del ruido térmico  $N(W)$  donde:

- $k$  es la constante de Boltzmann, con un valor de  $1,38 \cdot 10^{-23}$  en el S.I.
- $B$  es el ancho de banda, en nuestro caso con un valor de 2,4GHz (Wi-Fi), que habrá que pasarla a Herzios, por lo que:  $2,4 \cdot 10^9$  Hz.
- $f_{sis}$ , el factor de ruido del conjunto del sistema se supondrá que tendrá un valor de 1.174[9].
- $T_a$  es la temperatura que equivale al ruido de la antena (35 °K).
- $T_o$  es la temperatura de operación del sistema (298 °K).
- $T_{sis}$  es la temperatura de ruido de todo el sistema.

Partiendo de estas dos fórmulas 6.7 y 6.8, obtenidas de la referencia [9].

$$N(W) = k \cdot T_{sis} \cdot B \quad (6.7)$$

$$T_{sis}(^{\circ}K) = T_a + T_o \cdot (f_{sis} - 1) \quad (6.8)$$

Al sustituir valores obtenemos:

$$T_{sis}(^{\circ}K) = 35 + 298 \cdot (0,174)$$

$$T_{sis}(^{\circ}K) = 86,85^{\circ}K$$

Una temperatura del sistema de 86,85 °K.

$$N(W) = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 86,85 \cdot 2,4 \cdot 10^9$$

$$N(W) = 2,876 \cdot 10^{-12} W$$

$$N(dBW) = -115,411 dB$$

Y un factor de ruido de -115,411 dB.

- **Fase III:** [9] Cálculo de la relación señal-ruido que obtenemos con la ganancia y el ruido considerado en las Fases I y II. El resultado debería ser del orden de 20dBW a una distancia de unos 2 km para tener una recepción suficientemente operativa.
  - $PIRE^1$ . Potencia Isotrópica Radiada Equivalente, en nuestro caso de 100W.
  - $d$  distancia entre la fuente emisora y la antena receptora (2km).
  - $A$  Ruido isotrópico asociado al ambiente, en un 99 % de las veces se corresponde con 1.8dB[9].

$$C/N \text{ (dB)} = PIRE(dBW) + Ga(dB) + 20 \cdot \log \left( \frac{\lambda}{4 \cdot \pi \cdot d} \right) - A(dB) - N(dBW)$$

$$C/N \text{ (dB)} = -10(dBW) + 22,603(dB) + 20 \cdot \log \left( \frac{0,125}{4 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^3} \right) - 1,8(dB) + 115,411(dBW)$$

$$C/N \text{ (dB)} = -10(dBW) + 22,603(dB) - 106,067 - 1,8(dB) + 115,411(dBW)$$

$$C/N \text{ (dB)} = 20,147 \text{ dB}$$

<sup>1</sup><https://www.adslzone.net/2017/01/12/wifi-podria-mas-potente-espana-esta-limitado/>



# Capítulo 7

## Implementación

### 7.1. Construcción del prototipo

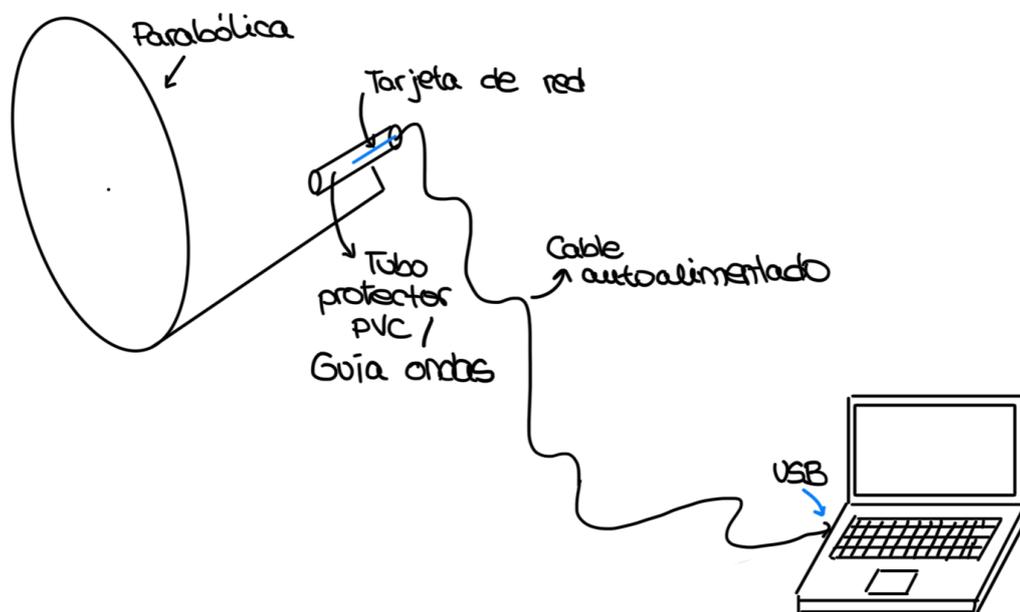


Figura 7.1: Diseño del prototipo de la antena

## 7.2. Construcción del modelo



Figura 7.2: Construcción de la antena



Figura 7.3: Construcción de la antena



Figura 7.4: Construcción de la antena



Figura 7.5: Construcción de la antena

## 7.3. Configuración

### **Configuración del router como punto de acceso:**

1. Conectar el router mediante un cable Ethernet al ordenador. Es importante que el Wi-Fi del ordenador esté desactivado, ya que habrá que acceder a la configuración del router que queremos establecer como punto de acceso. En el caso de que el Wi-Fi del ordenador estuviera encendido, estaríamos accediendo a la configuración del router que está emitiendo Internet, ya que por configuración predeterminada ambos routers van a tener establecido la IP: 192.168.1.1
2. Escribir en el buscador la dirección IP: 192.168.1.1 para acceder a la configuración del router.
3. Configuraremos el router como punto de acceso dentro de su menú de opciones. Habrá que darle el mismo nombre que la red de la que se emite Internet, y habrá que cambiar la dirección IP, por ejemplo, a 192.168.1.2 o 192.168.1.3

# Capítulo 8

## Pruebas

Este capítulo es muy importante, y muestra las pruebas que se han realizado para demostrar el funcionamiento del sistema.

Las pruebas para verificar el correcto funcionamiento de la recepción de la red Wi-Fi, se han grabado en vídeo, debido a que para realizarlas hubo que cambiarse de geolocalización varias veces.

El vídeo con las pruebas realizadas está en la documentación adicional del repositorio de One Drive.



## Parte III

## Apéndices



# Apéndice A

## Anexos

### A.1. Información complementaria

En los anexos se pueden incluir todas aquellas cosas que pueden servir, a nivel teórico o práctico, para ayudar al lector a profundizar en ciertos aspectos de la memoria, como los prerrequisitos teóricos, descripción de alguna herramienta en particular, etc.

### A.2. Key Words

- **5G NSA o Non Stand Alone** Redes que no tienen una arquitectura 5G al 100 % sino que están desplegadas sobre una arquitectura 4G+.
- **5G o Stand Alone** Redes con arquitectura 5G al 100 %.
- **Capilaridad** Número de dispositivos conectados al mismo nodo o celda.
- **CSI** Channel State Estimation
- **Datagrama** paquete de datos que representa el mínimo bloque de información, el cual se usa para mandar información a los nodos que forman una red, por lo que este tipo de bloque de información no está orientado a comunicación. Los datagramas solo tienen la cabecera de control (puerto origen y puerto destino), y los datos que se quieren enviar.

- **Espectro radioeléctrico-** paquete de datos que representa el mínimo bloque de información, el cual se usa para mandar información a los nodos que forman una red, por lo que este tipo de bloque de información no está orientado a comunicación. Los datagramas solo tienen la cabecera de control (puerto origen y puerto destino), y los datos que se quieren enviar.
- **FDD o Frequency Division Duplexing o Full Duplex:** Capacidad de una conexión para recibir o enviar datos al mismo tiempo.
- **Frecuencia:** número de veces que se repite una onda en una unidad de tiempo. Se mide en hercios (Hz). A mayor longitud de onda, menos ciclos, es decir, menos Hz y viceversa.
- **IoT:** Internet de las cosas ('Internet of Things').
- **Latencia:** Tiempo de respuesta desde que se emite una orden desde un dispositivo hasta que se hace efectiva en el de destino. Se mide en milisegundos.
- **LMDS:** sistema de distribución local multipunto (en inglés "Local Multipoint Distribution Service), es una tecnología de conexión vía inalámbrica que permite, debido al ancho de banda que tiene, el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a Internet y comunicaciones de datos en redes bajo demanda.
- **LTE 4G o Evolución a Largo Plazo o 'Long Term Evolution'.**
- **mMTC:** massive machine type communications o comunicaciones de tipo máquina masiva.
- **RSPG:** Grupo de Política del Espectro Radioeléctrico (Radio Spectrum Policy Group).
- **TDD o Time Division duplexing o Half Duplex:** Capacidad de una conexión de recibir o enviar datos, pero no ambos a la vez.
- **URLLC:** Ultra Reliable Low Latency Communications, o Comunicaciones muy fiables de baja latencia.
- **Velocidad/Ancho de banda:** Capacidad de subida o bajada de datos de una conexión. Se expresa en Mbps (megabytes por segundo) o Gbps (gigabytes por segundo).

# Bibliografía

- [1] *Comparación de las metodologías cascada y ágil para el aumento de la productividad en el desarrollo de software*. URL: <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/1208/COMPARACI%20DE%20LAS%20METODOLOG%20EAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [2] *Cómo la España Vacía llena su tiempo en Internet*. URL: [https://www.eurona.es/sobre\\_nosotros/wp-content/uploads/2021/11/Presentacion-Ejecutiva\\_Informe-consumo-Internet-Rural-Eurona.pdf](https://www.eurona.es/sobre_nosotros/wp-content/uploads/2021/11/Presentacion-Ejecutiva_Informe-consumo-Internet-Rural-Eurona.pdf) (visitado 04-02-2022).
- [3] *Determining the focal length of a parabolic dish*. 15 March 2005. URL: <https://www.satsig.net/focal-length-parabolic-dish.htm> (visitado 30-04-2022).
- [4] Standish Group. *Chaos Report 2015*. 2015. URL: [https://www.standishgroup.com/sample\\_research\\_files/CHAOSReport2015-Final.pdf](https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf) (visitado 29-04-2022).
- [5] *Informe cobertura banda ancha a 30 Junio de 2020*. URL: <https://avancedigital.mineco.gob.es/banda-ancha/cobertura/Documents/Cobertura-BA-2020.pdf?csf=1&e=1VCXmu> (visitado 12-04-2022).
- [6] *La diferencia entre el WiFi de 2.4 GHz y el de 5 GHz*. URL: <https://espanol.centurylink.com/home/help/internet/wireless/which-frequency-should-you-use.html> (visitado 11-05-2022).
- [7] *Manifiesto Ágil*. 2001. URL: <https://agilemanifesto.org/iso/es/principles.html> (visitado 30-04-2022).
- [8] *Mapa de Cobertura de Banda Ancha en España*. URL: <https://avancedigital.mineco.gob.es/banda-ancha/cobertura/consulta/Paginas/consulta-cobertura-banda-ancha.aspx> (visitado 09-06-2022).
- [9] Francisco Ramos Pascual. *Radiocomunicaciones*. Marcombo. Ediciones Técnicas. 2007.
- [10] Onno W. Purbo y Anthon Raharja. *VoIP Cookbook: Building your own Telecommunication Infrastructure*. Internet Society Innovation Fund (ISIF). 2010.

## Bibliografía

---

- [11] Ken Schwaber y Jeff Sutherland. *La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego*. Noviembre 2020. URL: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-European.pdf> (visitado 30-04-2022).
- [12] *Why do we need 5G?* URL: <https://www.etsi.org/technologies/5G> (visitado 14-02-2022).

# Índice alfabético

3GPP, 8

4G, 10, 14

5G, 10, 14

5G NR, 10

5G SA, 10

LTE, 8, 10

Release 15, 10