



## **Diseño de una red de fibra metropolitana para servicios avanzados s-Health en Smart Cities**

**Yolanda Hernández Sánchez**

## Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Justificación y formulación del problema .....	1
1.2 Estado del arte .....	2
1.3 Objetivos del proyecto.....	3
1.4 Planificación del proyecto.....	4
1.5 Productos de salida.....	5
2. Análisis de las características de una muestra de servicios avanzados s-Health.....	7
3. Análisis sobre requisitos del sistema.....	14
3.1. Análisis de los requisitos del sistema.....	14
3.2. Análisis del área de implantación del servicio .....	16
4. Análisis de tecnologías a utilizar en el desarrollo del sistema .....	18
4.1. Dispositivos de comunicación .....	18
4.2. Tecnologías a utilizar en el desarrollo del sistema .....	21
4.2.1. Red de acceso .....	21
4.2.1.1 Tecnología 4G LTE (Long-Term Evolution).....	21
4.2.1.2.Tecnología 5G .....	24
4.2.2. Red troncal.....	27
4.2.2.1. Fibra óptica monomodo .....	31
4.2.2.2. DWDM .....	32
4.2.2.1.1 Topologías DWDM.....	36
4.2.2.1.2 Elementos de la red DWDM.....	40
4.3. Análisis sobre plataformas de datos.....	43
5. Diseño de la red sHealth 5G – DWDM.....	44
5.2. Arquitectura y topología global de la red sHealth 5G-DWDM.....	44
5.3. Dimensionamiento de la red global 5G-DWDM.....	46
5.3.1 Dimensionamiento de la red de acceso .....	48
5.3.2. Dimensionamiento de la red troncal DWDM .....	49
5.3.2.1. Número de nodos .....	50
5.3.2.2. Componentes .....	50
5.3.2.3 Viabilidad del enlace .....	53
5.3.2.3.1. Sistema detección directa IM/DD a 10Gb/s.....	53
5.5.2.3.2. Sistema coherente a 100 Gb /s.....	54
5.3.2.4. Plan de longitudes de onda .....	55
5.3.2.5. Redundancia.....	57
6.Conclusiones.....	59
7. Bibliografía .....	61
8. Glosario .....	66

## Lista de figuras

Figura 1. Ilustración de un escenario de servicios eHealth [54].....	2
Tabla 1. Asignación temporal de tareas.....	5
Figura 2. Diagrama Gantt inicial de planificación de proyecto .....	5
Figura 3. Contextualización de sHealth, dentro de la eHealth y mHealth y ejemplo de sHealth en una Smart city [9], [15] .....	7
Figura 4. Ecosistema s-Health centrado en el paciente [13] .....	8
Figura 5. Servicios e-Health, habilitadores y estructura de red.....	10
Tabla 2. Clasificación de aplicaciones e-Health basadas en parámetros de calidad de servicio QoS [6] .....	12
Tabla 3. Resumen de requisitos QoS para servicios e-Health [7]. .....	13
Figura 6. Esquema QoS de servicios sHealth.[76] .....	14
Figura 7. Servicios e-Health, habilitadores y estructura de red [77]. .....	14
Tabla 4. Resumen de los requisitos del sistema .....	15
Figura 8. Ubicación de los principales Hospitales de la Ciudad [56]. .....	16
Figura 10. Zonas con alta densidad de población de la ciudad [56].....	17
Figura 11:Uso de smartwatch en eHealth [28]. .....	19
Figura 12. Uso de hololens en eHealth [30].....	20
Figura 13: Hololens en el investigación académica [31].....	20
Figura 14:small cell en 5G [36].....	22
Figura 15: Arquitectura de red con tecnología small cell [37] .....	22
Figura 16: arquitectura de una macrocell [38].....	23
Tabla 5. Tipos de small cells y características .....	23
Tabla 6. Características del 4G LTE.....	24
Figura 17: Cronograma de desarrollo 5G [33].....	24
Tabla 7. Características del 5G .....	25
Figura 18: Diferencia entre antenas 4G LTE y MIMO [64] [65].....	27
Figura 19: Arquitectura 5G Smart city [65].....	27
Tabla 8. Características de la fibra óptica.....	29
Tabla 9. Características de CWDM y DWDM [79].....	34
Figura 20: Esquema OTN [79].....	35
Figura 21: Esquema capas OTN sobre DWDM [72].....	35
Figura 22: Esquema tráfico OTN sobre DWDM [72].....	36
Figura 23: Topología punto a punto DWDM [66].....	37
Figura 24: Topología en anillo DWDM [66] .....	37
Figura 25: Topología en doble anillo DWDM [67].....	38
Figura 26: Topología en anillo DWDM [66] .....	39
Tabla 10. Análisis topologías DWDM.....	39
Figura 27: Enlace DWDM [74].....	40
Figura 28: Nodo OADM [79].....	42
Figura 29: EDFA [79] .....	42
Figura 30: Arquitectura de red sHealth 5G-DWDM [80] .....	45
Figura 31: Arquitectura y topología de red sHealth 5G-DWDM [73].....	46
Figura 32: Mapa de centros asistenciales y distribución de población.....	46
Figura 33: Red FO/5G para servicios sHealth en Smart city .....	48
Figura 34: Esquema fronthaul .....	49
Figura 35: Esquema red troncal, backhaul y fronthaul [82].....	50
Tabla 11. Recomendación UIT-T G.694.1para asignar lambdas [68] .....	55
Tabla 12. Longitudes de onda asignadas a la red sHealth .....	56
Tabla 13. Atenuación de Longitudes de onda en bandas C y L [71].....	56
Figura 36: Gráfico de la atenuación de bandas C y L [72] .....	57
Figura 36: Esquema BLSR/4 [45].....	57
Figura 37: Span protection BLSR/4 [45] .....	58
Figura 38: Line protection BLSR/4 [45].....	58

# 1. Introducción

## 1.1 Justificación y formulación del problema

El continuo interés global en las ciudades como áreas sostenibles e interconectadas ha hecho que surjan nuevos conceptos como las smartcities, en las que existen multitud de dispositivos conectados que hacen la vida diaria más cómoda para sus habitantes, con la aparición de nuevos servicios, entre ellos los servicios s-Health (Smart Health).

La Agenda Digital para España recoge estos servicios como una necesidad para el 2020, aunque la realidad es que será algunos años más tarde en los que el acceso sea del 100% de la población.

Actualmente se pueden contemplar varias situaciones importantes en las que proveer de estos servicios de s-health, entre ellas estarían las siguientes:

- Seguimiento y tratamiento de personas con enfermedades crónicas.
- Facilidad y comodidad en el acceso a servicios médicos en zonas urbanas.
- Formación sanitaria.
- Áreas rurales en las que el acceso a centros médicos supone un esfuerzo.

Estas necesidades hacen necesario un cambio de modelo en los sistemas de salud, para pasar de un modelo de negocio presencial a uno en las que los servicios sean soportados por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Todo ello, por supuesto, bajo la existencia de una regulación, tanto para garantizar la interoperabilidad como la seguridad en el uso de estos servicios.

Es en esta dirección, la de diseñar una red para poder ofrecer estos servicios sHealth, es en la que va encaminada la idea de proyecto que se formula a continuación.

## 1.2 Estado del arte

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se han utilizado de manera intensiva y creciente en numerosas soluciones innovadoras, se han puesto en marcha varias iniciativas para apoyar aplicaciones innovadoras a través de un uso generalizado de las TIC.

De esta forma, las TIC han permitido desarrollar aplicaciones web oficiales y aplicaciones móviles para gestionar servicios médicos, así como para hacer un registro de constantes personales.

En la Figura 1 se muestra un escenario de servicios eHealth (electronic Health), con las opciones que puede mostrar respecto a los servicios a gestionar online y apps con toma de registros.



Figura 1. Ilustración de un escenario de servicios eHealth [54].

Sin embargo, estas aplicaciones requieren de procesos de autenticación para garantizar la privacidad y la seguridad de sus usuarios. Actualmente son los servicios de telemedicina basados en monitorización de constantes vitales, teleasistencia los que más se emplean pero con el despliegue de nuevas tecnologías como es el 5G en el

acceso se puede ampliar a un rango mayor de servicios que incluso incluyen la combinación del IoT (Internet Of Things) y el e-health, así como el uso de fibra óptica para soportar el aumento de las capacidades en la transmisión de datos pertenecientes a las aplicaciones relacionadas a estos servicios y conectar las estaciones base con los centros de proceso de datos en los hospitales correspondientes.

Entre estos servicios se encuentran:

- Teleconsulta.
- Monitorización de constantes vitales.
- Mejora del estilo de vida y prevención.
- Smart pharmacy.
- Realidad virtual en tratamientos y seguimiento.
- Formación.

Estos servicios necesitarán de banda ancha y baja latencia además de una continuidad de servicio constante y de seguridad. Es por ello que para el diseño de la red habrá que, a partir de los requisitos específicos de estas aplicaciones, implementar/desplegar la tecnología de red que mejor se ajuste tanto en términos de calidad de servicio como de coste.

### 1.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es:

- Diseñar un sistema de red metropolitano óptimo para ofrecer servicios de s-Health avanzados, para contribuir a mejorar la cobertura de servicios de salud en área metropolitana, ayudando a crear una ciudad más sostenible en cuestiones de salud.

Para conseguir este objetivo principal se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Análisis de las características de una muestra representativa de servicios avanzados de s-Health a nivel de transmisión y red.
- Dimensionar el sistema en función de los servicios, usuarios y centros conectados.
- Análisis de las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema.

- Selección de las distintas plataformas de datos, dispositivos que van a integrar el sistema y las tecnologías más apropiadas para el desarrollo del sistema.
- Plantear una arquitectura del sistema s-Health.

#### 1.4 Planificación del proyecto

A continuación se muestra cada uno de los hitos principales del proyecto.

---

Hito 1. PEC 1. Entrega del Plan de Proyecto.

Hito 2. PEC 2. Entrega de la fase de la ejecución del plan de proyecto.

Hito 3. Entrega final del proyecto, memoria, presentación y resto de documentación.

Hito 4. Defensa virtual.

---

Cada uno de los hitos está formado por determinadas tareas que se desglosan como sigue:

##### HITO 1. PEC 1. Plan de trabajo

T1.1. Justificación y formulación del proyecto

T1.2. Objetivos del proyecto

T1.3. Planificación del trabajo: hitos, tareas, temporización, diagrama de Gantt

T1.4. Breve resumen de productos obtenidos

T1.5. Entrega de documentación PEC 1: Plan de proyecto

##### HITO 2. PEC 2. Entrega de la fase de la ejecución del plan de trabajo

T2.1. Análisis de las características de una muestra de servicios avanzados s-Health

T2.2. Análisis sobre requisitos del sistema

T2.3. Análisis sobre plataformas de datos, dispositivos de comunicación, tecnologías a utilizar en el desarrollo del sistema

T2.4. Diseño preliminar del sistema

T2.5. Entrega de documentación PEC 2: Documento de análisis de características de servicios s-Health + Documento de análisis requisitos del sistema de comunicaciones + Documento de diseño preliminar del sistema de comunicaciones.

##### HITO 3. Entrega final del Trabajo, memoria, presentación y resto de documentación

T3.1. Revisión y mejora del diseño del sistema s-Health.

T3.2. Revisión de la Memoria final del TFG

T3.3. Entrega de la Memoria Final TFG

T3.4. Preparación video de la Defensa

T3.5. Entrega video de la Defensa

En la siguiente Tabla 1 se asigna a cada tarea una duración, así como una fecha de inicio y de fin y las dependencias de tareas entre sí.

NºTarea	Nombre de la Tarea	Duración	Inicio	Fin	Predecesor
1	HITO 1. PEC 1. Plan de trabajo	4 days	04/10/2018 8:00	07/10/2018 17:00	
2	T1.1. Definición del proyecto (TFG)	1 day	04/10/2018 8:00	04/10/2018 17:00	
3	T1.2. Objetivos del proyecto	1 day	05/10/2018 8:00	05/10/2018 17:00	2
4	T1.3. Planificación del trabajo: hitos, tareas, temporización, diagrama de Gantt	1 day	06/10/2018 8:00	06/10/2018 17:00	3
5	T1.4. Breve resumen de productos obtenidos	1 day	07/10/2018 8:00	07/10/2018 17:00	4
6	T1.5. Entrega de documentación PEC 1: Plan de proyecto	0 days	07/10/2018 17:00	07/10/2018 17:00	5
7	HITO 2. PEC 2. Entrega de la primera fase de la ejecución del plan de trabajo	55 days	08/10/2018 8:00	21/12/2018 17:00	
8	T2.1. Análisis de las características de una muestra de servicios avanzados e-Health	10 days	08/10/2018 8:00	19/10/2018 17:00	6
9	T2.2. Análisis sobre requisitos del sistema	15 days	22/10/2018 8:00	09/11/2018 17:00	8
10	T2.3. Análisis sobre plataformas de datos, dispositivos de comunicación, tecnologías a utilizar en el desarrollo del sistema	15 days	12/11/2018 8:00	30/11/2018 17:00	9
11	T2.4. Diseño preliminar del sistema	15 days	03/12/2018 8:00	21/12/2018 17:00	10
12	T2.5. Entrega de documentación PEC 2: Documento de análisis de características de servicios e-Health + Documento de análisis requisitos del sistema de comunicaciones + Documento de diseño preliminar del sistema de comunicaciones	0 days	21/12/2018 17:00	21/12/2018 17:00	11
13	HITO 3. Entrega final del Trabajo, memoria, presentación y resto de documentación	15 days	24/12/2018 8:00	13/01/2019 17:00	
14	T4.1.Revisión y mejora del sistema eHealth	7 days	24/12/2018 8:00	01/01/2019 17:00	12
15	T4.2. Revisión de la Memoria final del TFG	2 days	02/01/2019 8:00	03/01/2019 17:00	14
16	T4.3. Entrega de la Memoria Final TFG	0 days	03/01/2019 17:00	03/01/2019 17:00	15
17	T4.4. Preparación video de la Defensa	6 days	04/01/2019 8:00	11/01/2019 17:00	16
18	T4.5. Entrega video de la Defensa	0 days	11/01/2019 17:00	11/01/2019 17:00	17

Tabla 1. Asignación temporal de tareas

Como detalle a destacar en este apartado es que la duración de día hace referencia a una jornada de 4 horas.

En el siguiente diagrama de Gantt (Figura 1) puede apreciarse mejor la relación entre tareas y la temporización de estas.

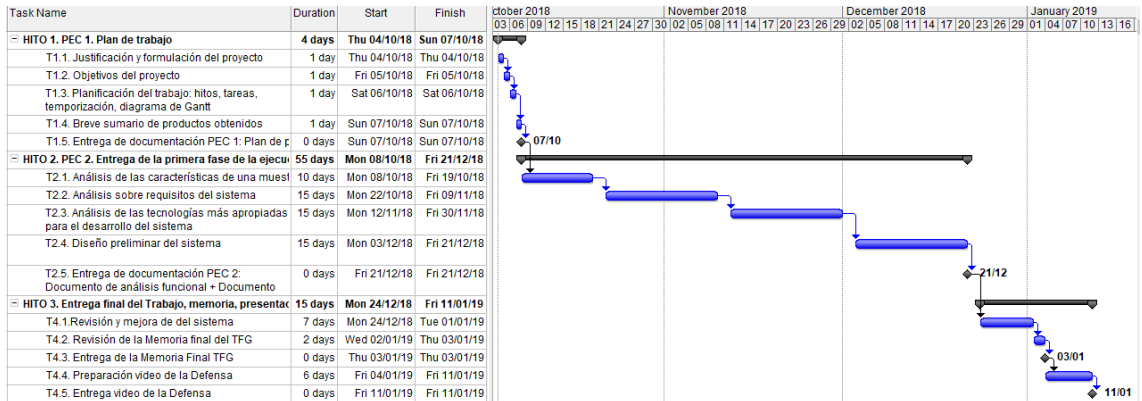


Figura 2. Diagrama Gantt inicial de planificación de proyecto

### 1.5 Productos de salida

El producto de salida será el diseño de un sistema de comunicaciones e-Health que realiza la optimización y transmisión de datos dentro de una ciudad, con el objetivo de extenderla en un futuro otras ciudades mediante la conexión de CPD en hospitales. Los productos obtenidos al finalizar el proyecto serán los siguientes:



## Productos de salida

Documento PEC 1. Plan de proyecto

Documento PEC 2 – Documento de características de servicios avanzados e-Health

Documento PEC 2 – Documento de análisis sobre requisitos del sistema

Documento PEC 2 – Documento de análisis sobre las tecnologías a utilizar en el desarrollo del proyecto

Documento PEC 3 – Documento de arquitectura del sistema

Documento PEC 3 - Memoria Final TFG

Documento PEC 4 - Video de defensa

## 2. Análisis de las características de una muestra de servicios avanzados s-Health

El término e-Health o salud electrónica se refiere a la adopción de las TICs en el sector de la salud. Comprende una amplia variedad de servicios situados entre la medicina y los cuidados sanitarios tecnológicamente asistidos. En general, se relaciona con una mejora en el acceso a información relevante, con la prescripción electrónica asistida, con la accesibilidad global a los datos médicos personales a través de la historia clínica electrónica, la teleasistencia, etc. Con la aparición de las tecnologías móviles se dio lugar al acceso a estos servicios antes mencionados, pero con la característica de la ubicuidad, es decir se podía acceder a ellos desde cualquier lugar y en cualquier momento por parte de los ciudadanos, acuñándose así el término de m-Health o salud móvil. Como evolución del concepto m-Health y teniendo en cuenta las tecnologías de las ciudades inteligentes o Smart cities surge el concepto de s-Health o Smart Health, que permite el acceso a nuevos servicios de salud personalizados en un contexto de Smart City. La Figura 3 muestra esta evolución y como los conceptos de s-Health m-Health y e-Health intersectan.

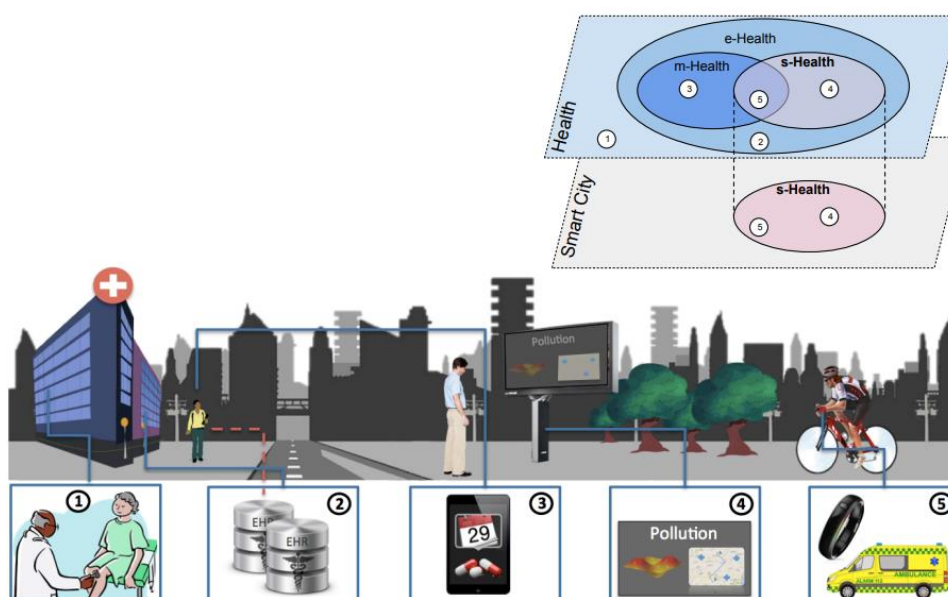


Figura 3. Contextualización de sHealth, dentro de la eHealth y mHealth y ejemplo de sHealth en una Smart city [9], [15]

Smart Health, sanidad inteligente, es un nuevo concepto que se refiere al uso y aplicación de las herramientas e infraestructuras de las ciudades inteligentes a los servicios de salud. Es decir, cómo las tecnologías de la información y la comunicación



Teniendo en cuenta lo comentado previamente, se podrían agrupar los servicios de e-Health en cuatro grandes bloques: telemedicina, móviles, Smart y analítica predictiva.

- **SERVICIOS DE TELEMEDICINA**

- Telediagnóstico: Interconsulta para exploraciones y valoraciones clínicas en remoto tanto programadas (telegeriatría, atención especializada desde primaria, salud de presos, etc.) como en situación de emergencia (teleictus)
- Telemonitorización de parámetros clínicos desde domicilio del paciente o desde otras ubicaciones remotas para el seguimiento de crónicos (insuficiencia cardíaca o renal, diabetes, EPOC, etc.) o hospitalización a domicilio
- Teleconsulta entre profesionales y pacientes: información médica, consulta, asistencia o triage, entre otros
- Telerehabilitación con ejercicios dirigidos y monitorizados: insuficiencia respiratoria, fisioterapia, terapia cognitiva, etc.
- Teleasistencia asistida por call center especializado, geolocalización y marcado de ruta
- Telepago: para poder pagar los servicios de forma remota.
- Grabación de datos de pacientes de forma remota.
- Realidad virtual y aumentada para tratamientos rehabilitadores, psicológicos y formación

En la Figura 5 se muestran estos servicios, así como las necesidades tecnológicas que necesitarían y se plasma un esquema inicial de interconexiones de red.

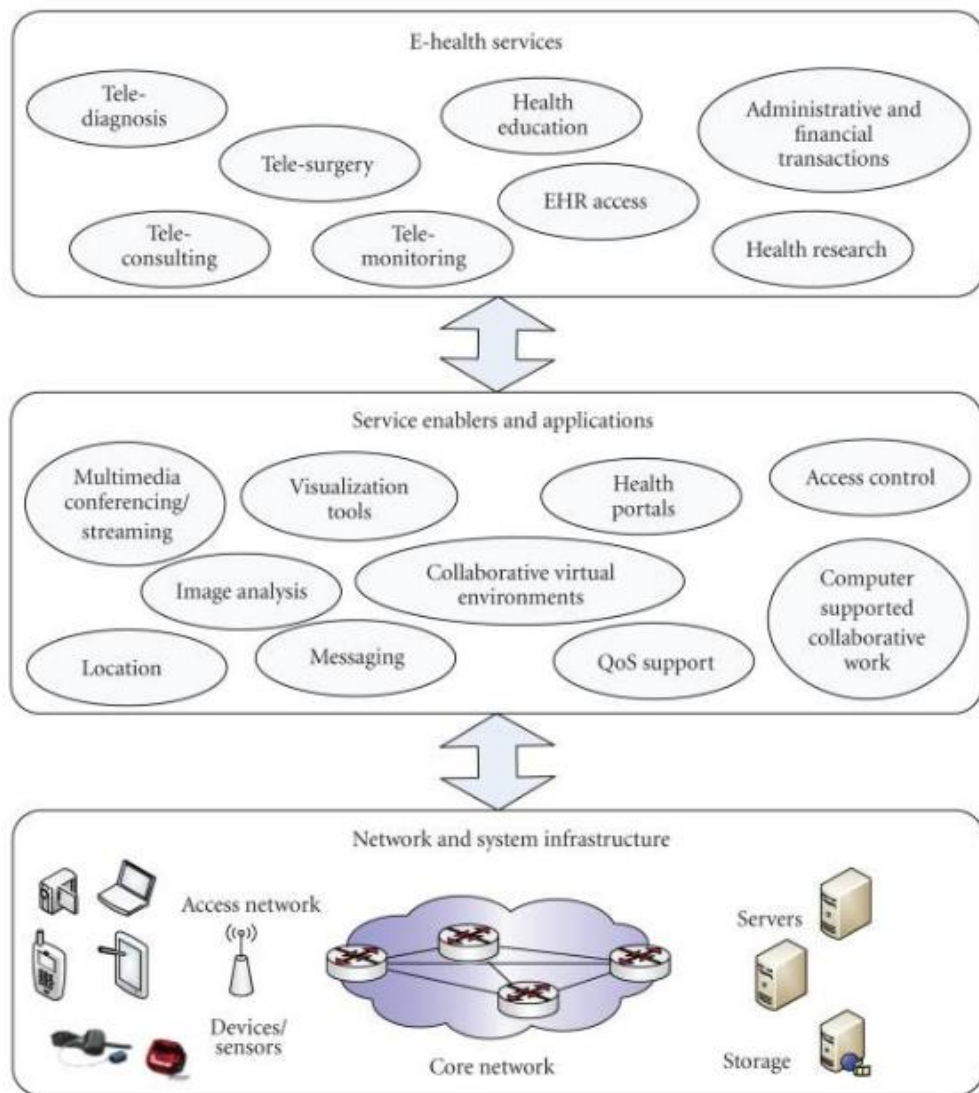


Figura 5. Servicios e-Health, habilitadores y estructura de red

- **SERVICIOS MÓVILES**
  - Aplicaciones móviles para realizar muchos de los servicios de telemedicina anteriormente mencionados, pero con la característica de que permiten ubicuidad, gracias a que se realizan a través de dispositivos móviles.
- **SERVICIOS SMART**
  - Los dispositivos de monitorización vestibles, o *wearables*, permiten desarrollar una medicina más eficaz y preventiva a un coste inferior que evolucione desde un modelo de medicina basado en el tratamiento hacia uno sustentado en la prevención mucho más económico y eficaz.

- Los *wearables*, que se comunican a través de un teléfono inteligente, convirtiéndolo en un centro de almacenamiento y transmisión de datos sobre la salud, permiten contar con pacientes mejor controlados, con mayor calidad de vida, atendidos a distancia, y con unos profesionales sanitarios que pueden acceder a todos los datos de los enfermos en cualquier momento y lugar.
- Servicios de emergencias: por ejemplo la auto conducción de vehículos de emergencia
- SERVICIOS DE ANALÍTICA PREDICTIVA
  - Se trata de aquellos servicios que utilizando el bigdata pueden extraer información útil para la toma de decisiones.

Según la clasificación previa, cada tipo de servicio médico requiere diferentes requisitos en cuanto a la calidad de servicio (QoS). Los servicios e-Health presentan un conjunto diversificado de patrones de tráfico con requisitos de ancho de banda, retardo y confiabilidad muy diferentes. También presentan los requisitos más altos de QoS entre todos los servicios proporcionados a través de redes IP. Así, los servicios de teleconsulta, telediagnóstico, etc, en tiempo real requieren un alto rendimiento y son susceptibles a retrasos de paquetes (voz y transmisión de video HD). La transmisión de video desde endoscopios y otros dispositivos médicos tiene requisitos similares. La transmisión de imágenes médicas necesita un gran ancho de banda y una tasa de pérdida de paquetes muy baja. Esto es especialmente importante en el caso de imágenes de alta resolución (rayos X, MRI, USG), porque las imágenes distorsionadas pueden llevar a un diagnóstico incorrecto. Las aplicaciones clínicas de telemedicina, las herramientas de simulación médica y los programas de reconstrucción de imágenes requieren una entrega de datos garantizada y una pérdida mínima de paquetes. La transmisión de datos de los sensores médicos no es tolerante al retraso e incluso la pérdida mínima de paquetes es inaceptable (por ejemplo, sensores de monitoreo de la frecuencia cardíaca). Por tanto, es necesario caracterizar los diferentes tipos de tráfico de salud e identificar todas sus características distintivas. Las aplicaciones basadas en esta información se pueden agrupar en clases, que requieren parámetros de servicio similares y prioridades de reenvío.

En la Tabla 2, se muestran los tipos de aplicación eHealth con los parámetros de QoS requeridos. Teniendo en cuenta estos parámetros de calidad QoS se distinguen cinco clases básicas de aplicaciones de salud. La primera clase contiene servicios de

máxima prioridad, que tienen requisitos estrictos con respecto al ancho de banda y al retraso máximo de paquetes (por ejemplo, servicios HPC –High Performance computing - de alto rendimiento). La segunda clase contiene servicios de transmisión de datos, que necesitan tasas de pérdida de paquetes garantizadas. El tercer grupo de aplicaciones reúne servicios que tienen una baja pérdida de paquetes y retrasos. La siguiente clase apunta a la provisión de alto ancho de banda y tiene cierta tolerancia contra el retraso de paquetes. La última clase se enfoca en las conexiones VoIP en las redes de eSalud, que requieren un bajo retardo de paquetes y fluctuaciones.

Tipo de servicio	Ancho de banda	Retardo	Pérdida de paquetes	Clase
Teleconsulta	Alta	Bajo	Baja	1
Servicios HPC	Alta	Baja	Mínima	1
Video HD	Máximo	Baja	Mínima	1
Imágenes HD	Alta	Medio	Mínima	2
Sensores (datos)	Medio	Bajo	Mínima	3
Datos de pacientes	Medio	Medio	Baja	4
e-learning	Alto	Medio	Baja	4
Voz	Medio	Bajo	Media	5

Tabla 2. Clasificación de aplicaciones e-Health basadas en parámetros de calidad de servicio QoS [6]

La Tabla 3 muestra la desagregación de estos servicios con datos más detallados.

Tipo de Servicio e_Health	Ejemplo de aplicación e-Health	Tipo de medio utilizado	Requisitos QoS Generales	
			Retardo	Pérdidas
Teleconsulta de voz en tiempo real	Audio conferencia entre paciente/doctor o doctor/doctor	Audio	<1.50 ms E2E (extremo a extremo) y solo ida	<1% packet loss ratio (PLR) – porcentaje de pérdida de paquetes <3% limite
Teleconsulta de vídeo en tiempo real	Video conferencia entre paciente/doctor o doctor/doctor	Video	<2.50 ms E2E y solo ida	1% PLR
Servicios robóticos en tiempo real	Tele-cirugía Tele-ultrasonografía	Datos de control robótico, audio, video	<3.00 ms en ida y vuelta	Cero (puede tolerar un PLR mínimo de 0.5%)
Tele-monitorización en tiempo real	Transmisión de las constantes vitales del paciente y vídeo streaming en situaciones de emergencia	Colección de datos biomédicos por sensores	Depende de los sensores y aplicaciones <3.00 ms E2E y solo ida para ECG (ElectroCardioGramma) en tiempo real (algunes aplicacions pueden tolerar <1 s E2E)	Cero
Tele-monitorización sin ser en tiempo real	Transmisión de señales vitales del paciente para cuidados en casa tras ser hospitalizado	Datos biomédicos recolectados por sensores, datos de contexto (e.g.,	No disponible (N.A.)	Cero

		recolectados por sensores de entorno)		
Tele-diagnos en tiempo real	Transferencia de imágenes médicas en situaciones de emergencia	Images, texto, datos	N.A. (depende del tamaño de la imagen. Imágenes pequeñas se trasferen en pocos segundos.)	Cero
Tele-diagnos sin ser en tiempo real	Diagnos remota sin emergencia: transferencia de imagenes medicas a un lugar remoto donde los especialistas analizan datos y devuelven un informe de diagnostico.	Imagenes, texto, datos	N.A.	Cero
Acceso a datos EHR en tiempo real	Acceso a datos EHR del paciente en emergencia médica en accidente	Dato, texto, grafico, imagen	N.A.	Cero
Acceso/almacenamiento de datos EHR sin tiempo real	Acceso web (paciente, doctor, otro personal de salud) a datos EHR durante el chequeo del paciente	Dato, texto, grafico, imagen	N.A.	Cero
Mensajes en tiempo real	Alarmas enviadas a cuidadores alertando de la emergencia del paciente	Texto, imagenes pequeñas, datos	N.A.	Cero
Mensajes sin tiempo real	Alertas automáticas de pacientes (e.g., recuerdo de chequeo, toma de medicación)	Texto, imagenes pequeñas, datos	~10 s	Cero
Educación e investigación	Herramientas colaborativas para la educación/investigación con conversaciones audio/video	Audio, video	<1.50 ms E2E solo ida para audio	<3% PLR audio <1% PLR video
			<2.50 ms E2E solo ida para video	
Educación e investigación interactiva	Simulaciones quirúrgicas interactivas: control remoto de instrumentos	Datos, imagenes	<3.00 ms round-trip-time	1% PLR
Educación e investigación en Streaming	Herramientas educativas usando streaming	Audio, video, data	<1.0 s de retardo de inicio para audio y video	<1% PLR audio
				<2% PLR audio
Intercambio de datos de salud de forma interactiva	Portales de salud: sitios Web que ofrecen datos relacionados con salud	All	~2 s/página web	Cero
Intercambio de datos de salud de forma no interactiva	Distribucion de libros de diagnostico de imagen	All	N.A.	Cero
Transacciones administrativas y financieras	Referencias de pacientes: programación de citas; Aplicaciones de carga y facturación	Texto	N.A.	Cero

Tabla 3. Resumen de requisitos QoS para servicios e-Health [7].

Como se puede observar de ambas tablas, se necesitarían unas características mínimas para implementar este tipo de servicios, que serían un retardo de menos de 1.50 ms, cero pérdidas de paquetes y gran ancho de banda. Por tanto, en el siguiente apartado se abordarán, teniendo en cuenta estos parámetros QoS y los tipos de servicios, cuáles podrían ser las tecnologías adecuadas para dar estos servicios con la calidad adecuada, para después evaluar cuáles serían las necesidades de tecnología para implementar este tipo de servicios en un área metropolitana. La siguiente Figura 6 muestra un esquema del global de los servicios mencionados y los requisitos de QoS de cada uno de ellos agrupados por bloques.



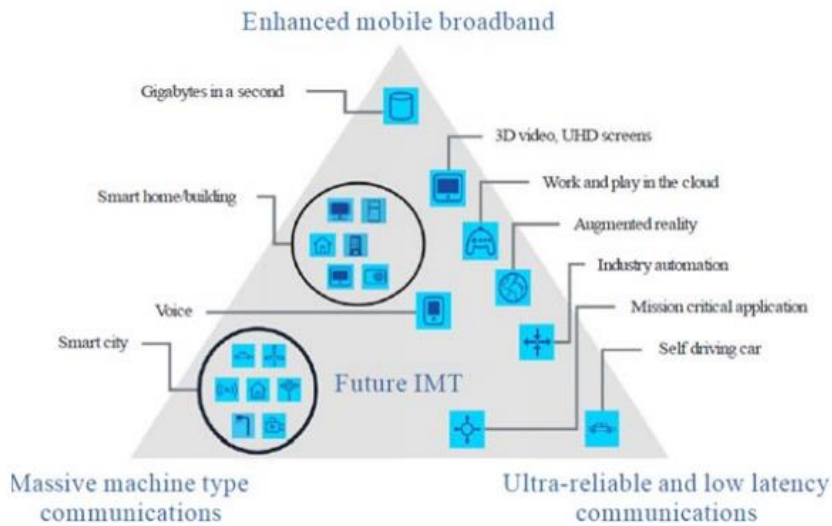


Figura 6. Esquema QoS de servicios sHealth.[76]

### 3. Análisis sobre requisitos del sistema

#### 3.1. Análisis de los requisitos del sistema.

Nuestro sistema pretende cubrir desde servicios que requieren poco ancho de banda como son la transmisión de las constantes vitales de un usuario, del orden de los Kbps por usuario hasta servicios que requieren un mayor ancho de banda por usuario como son imagen, video, la realidad virtual o aumentada (VRAR), con requerimientos de banda ancha de alta capacidad, del orden de hasta 100Mbps. Puesto que estos últimos servicios aún no tienen demasiada penetración y por tanto se pueden soportar mediante tecnologías existentes, en un futuro se estima que las necesidades de anchos de banda en las infraestructuras de red aumenten hasta un 40%, según se muestra en la Figura 7.

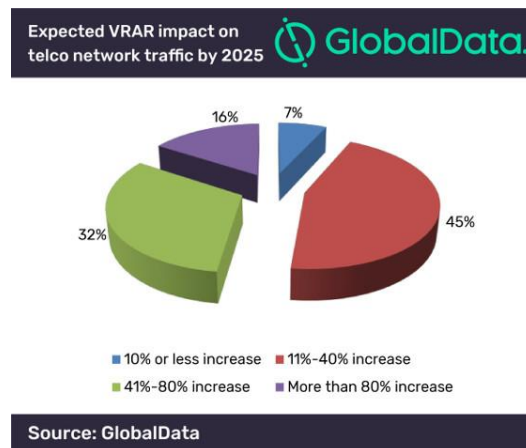


Figura 7. Servicios e-Health, habilitadores y estructura de red [77].

Por tanto, debemos contemplar estos datos a la hora de establecer nuestra velocidad máxima de transmisión. De esta manera podríamos considerar un throughput por usuario del orden de los 100Mbps, que es el máximo throughput de los servicios propuestos. Nuestros servicios se van a proporcionar en un área metropolitana de 160 Km<sup>2</sup>, con una población aproximada de 50.000 habitantes, como podría ser la ciudad de Segovia. Si suponemos que en el mismo instante acceden a estos servicios de máximo throughput los 50.000 habitantes necesitaríamos un throughput global de 100Mbps\* 50.000habitantes = 5000Gbps. Sin embargo esto es inalcanzable con las tecnologías actuales, a la vez que improbable. Por eso suponemos que podrían acceder en el mismo instante un 1% de la población, que equivaldría a 50.000\*0.01= 500 habitantes. Teniendo en cuenta esto el throughput sería de 5000Gbps\*0.01=50Gbps. Por tanto el throughput máximo en la red de acceso sería de 50Gbps, lo cual se verá más específicamente en el apartado de diseño.

Además, puesto que estos servicios en el ámbito de la medicina requieren un servicio con alta disponibilidad y del envío y recepción de datos en tiempo real, se debe mantener una latencia muy baja del orden de los milisegundos. Estos servicios se podrán dar desde zonas interiores (casa, hospital) así como desde el exterior, por tanto, la ubicuidad es otro de los factores a considerar como requerimiento en nuestro sistema.

Por otro lado, se ha de dimensionar el número de dispositivos por metro cuadrado, que en este caso teniendo en cuenta que los hospitales tienen como mucho 4 plantas, que sería donde más dispositivos en vertical se podrían encontrar, considerando el caso con más dispositivos podría ser los dispositivos de monitorización, realidad aumentada, móvil, podrían llegar a entre 10 y 20 dispositivos por metro cuadrado.

A continuación, resumimos en la siguiente Tabla 4 los requisitos que debe cumplir nuestro sistema:

Requisito	Valor
<b>Throughput de acceso</b>	50 Gbps
<b>Cobertura</b>	160km <sup>2</sup> (~50.000 habitantes)
<b>Densidad</b>	20 dispositivos/m <sup>2</sup>
<b>Disponibilidad del sistema</b>	99,999%.
<b>Ubiquidad</b>	Completa
<b>Ruido, interferencias</b>	No existan
<b>Seguridad, Confidencialidad</b>	Crítico
<b>Latencia</b>	1ms para que el sistema sea confiable

Tabla 4. Resumen de los requisitos del sistema

### 3.2. Análisis del área de implantación del servicio

Vamos a considerar una ciudad como Segovia para proporcionar nuestros servicios. Teniendo en cuenta la orografía, así como la ubicación de los elementos que nos interesan para nuestros servicios, es decir todos los agentes del sistema sanitario (hospital, centros de asistencia, centros de datos) así como la densidad de población por zonas de la ciudad.

Por un lado, tenemos los principales Hospitales existentes en Segovia como se muestra en la Figura 8.

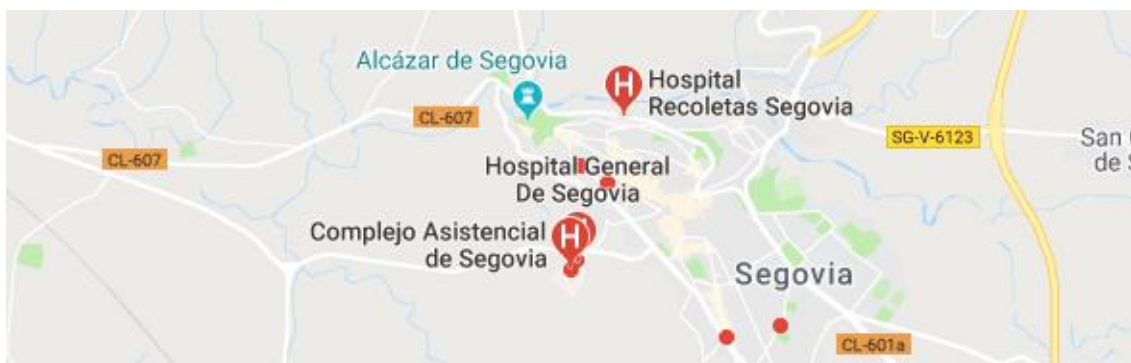


Figura 8. Ubicación de los principales Hospitales de la Ciudad [56].

Por otro lado, en la Figura 9 se muestran otros centros de salud de la ciudad.



Figura 9. Centros de salud en la ciudad [56].

En cuanto a la densidad de población, existen 2 partes de mayor densidad de población que serían el centro de la ciudad y la parte sureste de la ciudad, que se muestran en la Figura 10.

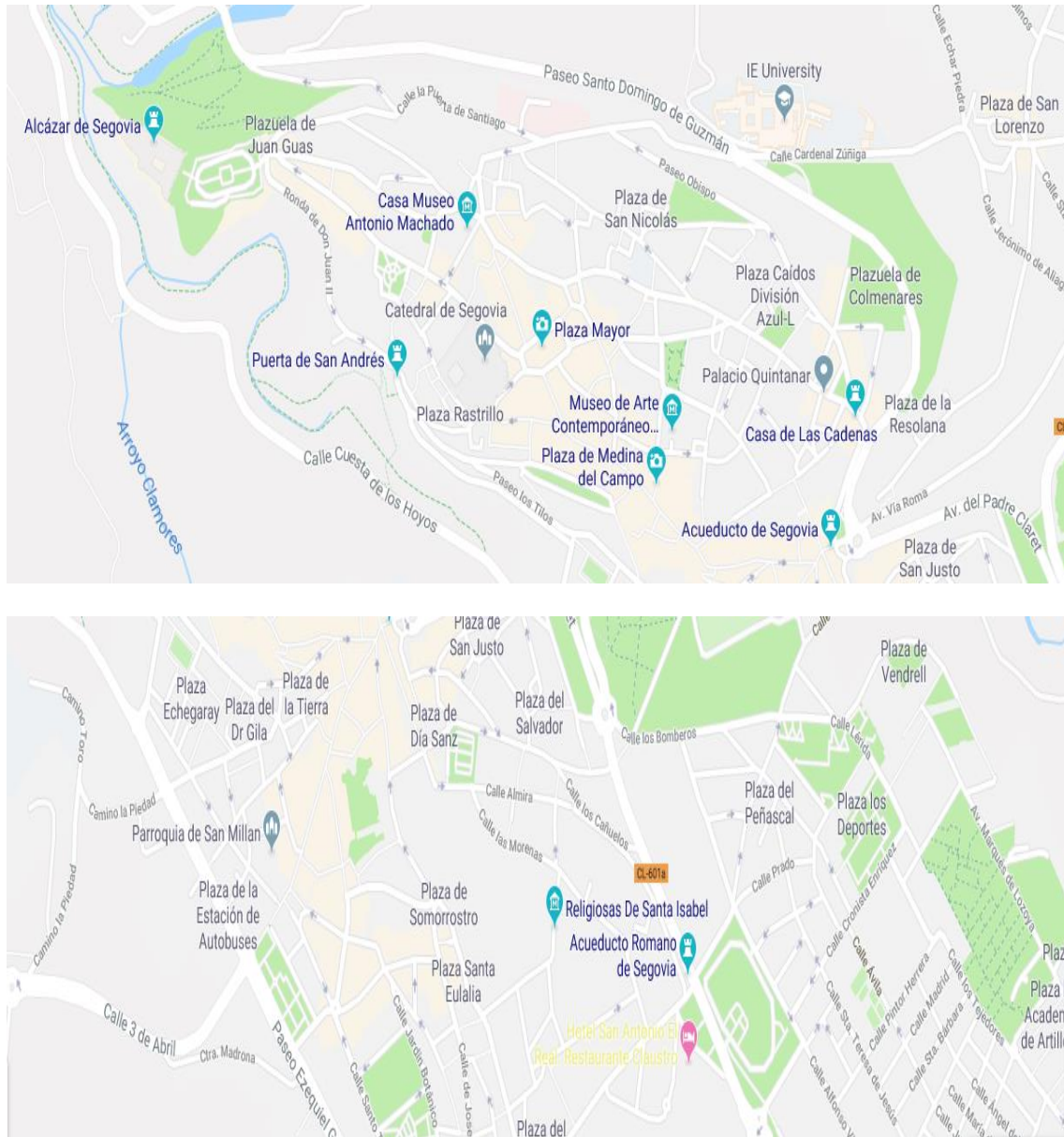


Figura 10. Zonas con alta densidad de población de la ciudad [56].

Según los requisitos tanto técnicos como de características de ubicación de edificios y densidad de la propia ciudad propondremos las soluciones de infraestructura tecnológica para dar soporte a los servicios avanzados eHealth, que se describen en los siguientes apartados.

## 4. Análisis de tecnologías a utilizar en el desarrollo del sistema

En esta sección se va a realizar un análisis de los requisitos del sistema para poder determinar que tecnologías utilizar y establecer un diseño preliminar de la red de telecomunicación para ofrecer servicios sHealth avanzados.

Según los requisitos establecidos en apartados anteriores se percibe que por una parte se debe de diseñar una red de acceso a los usuarios de servicios sHealth que proporcione la característica de la ubicuidad. Los usuarios son los ciudadanos y podrán acceder a los servicios sHealth desde cualquier lugar utilizando los dispositivos específicos para ello, como pueden ser, smartphones, tablets, smartwatch, otros dispositivos IoT, como se verá más detalladamente en el apartado 1 de esta sección, así como los médicos e investigadores que podrán prestar sus servicios de forma remota. Esta red de acceso a los usuarios de los servicios sHealth deberá soportar grandes cantidades de datos transmitidos desde cualquier lugar, por lo que será necesario utilizar tecnologías inalámbricas que proporcionen capacidades de 50Gbps, para lo cual como se verá más adelante debido a los requisitos de latencia será necesario utilizar tecnología 5G. En el apartado 2 de esta sección se estudiarán las tecnologías 4G y 5G y se detallará porque es necesario el uso de 5G.

Por otra parte, para soportar el alto tráfico de datos provenientes de los usuarios hacia los agentes de la salud (como hospitales, centros asistenciales) se ha de establecer una red troncal, que permita el transporte de estos datos IoT, de imágenes y video, y que permita el acceso a todos los servicios que pueden estar situados en diferentes hospitales o centros de salud de forma homogénea y unificada al usuario. Para ello será necesario implementar una red troncal de fibra óptica que una estos centros sanitarios, la cual se describirá en el apartado 3 de esta sección.

### 4.1. Dispositivos de comunicación

Con la introducción del IoT al ámbito de la salud las características como la monitorización del paciente a través de wifi, transferencia de datos en tiempo real y el uso de wearables permitirán una monitorización inteligente del usuario proporcionando información detallada del paciente en tiempo real, además, como el caso de los wearables, permitirán llevar a cabo una medicina de tipo preventiva.



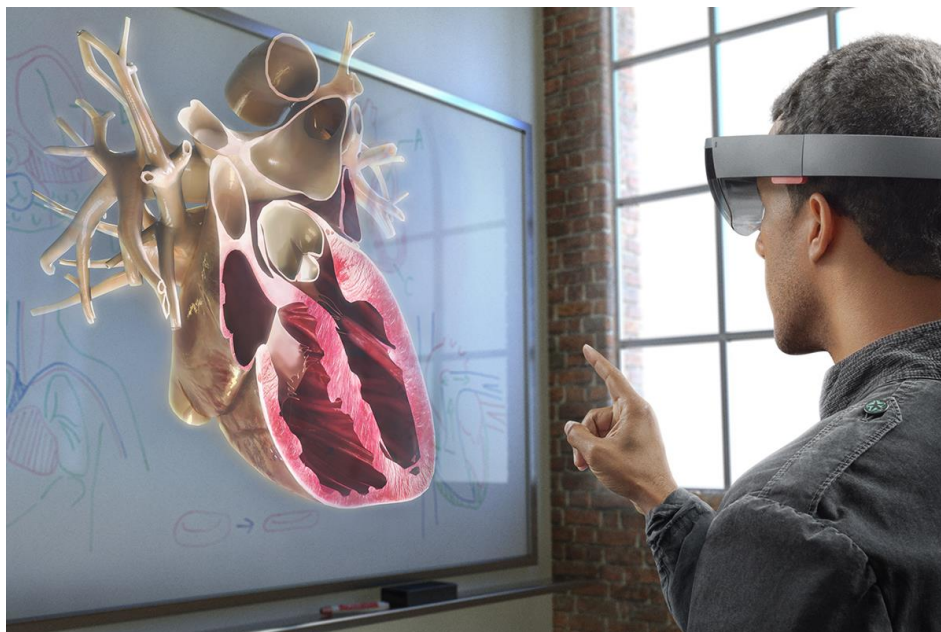


gafas de realidad aumentada como las hololens de Microsoft tanto en el ámbito hospitalario como en el académico y de investigación, tal y como muestra la Figura 12.



*Figura 12. Uso de hololens en eHealth [30]*

Otra de sus aplicaciones es el entorno académico, e\_learning, como muestra la Figura 13:



*Figura 13: Hololens en el investigación académica [31]*

Todos los datos proporcionados por estos dispositivos wearables requieren de fuertes mecanismos de seguridad puesto que se trata de datos críticos que podrían vulnerar la privacidad del usuario.

## **Cualquier otro dispositivo IOT**

Cualquier otro dispositivo específico del área de la salud para prestar los servicios sHealth o que pueda aparecer en un futuro, ya que el área de sHealth es un campo en el que la aparición de objetos conectados es cada vez más frecuente y con los cuales el trabajo del personal médico cualificado será mucho más preciso e inmediato, además de permitir mejorar el bienestar del paciente y facilitar la gestión de los centros hospitalarios.

## **4.2. Tecnologías a utilizar en el desarrollo del sistema**

### **4.2.1. Red de acceso**

Puesto que uno de los requisitos que debe cumplir nuestro sistema es el de movilidad, para la tecnología de la red de acceso se utilizará una tecnología inalámbrica. Para cumplir con las necesidades de ancho de banda, puesto que la penetración de servicios que requieren la mayor capacidad es baja, sería suficiente con una tecnología 4G LTE, sin embargo, la tecnología 4G LTE ni las tecnologías inalámbricas como wiMax, etc, garantizan las latencias que se necesitan de 1ms. Solamente la tecnología 5G sería la que nos garantiza una latencia de menos de 1ms, ancho de banda y seguridad en la red para proporcionar todos nuestros servicios avanzados.

El 5G no es más que una evolución del 4G. Es decir, se utiliza el mismo tipo de señales pero con prestaciones mejoradas. En cambio, el 4G supuso un cambio disruptivo con respecto al 3G, al utilizar señales diferentes. Es por este motivo y además también por estar en sus primeras fases de despliegue que vamos a basarnos en la tecnología de cuarta generación 4G LTE desplegada para Smart Cities para poder entender la infraestructura de la red, y sobre esto se detallarán las características de la 5G necesarias que harían posible conseguir la latencia de 1ms y mayores anchos de banda para dar servicio para la conexión masiva de dispositivos IoT así como todos los servicios sHealth señalados en los apartados anteriores.

#### **4.2.1.1 Tecnología 4G LTE (Long-Term Evolution)**

El 4G LTE se basa en la utilización de las small cells, que son pequeñas antenas de baja potencia colocadas en el mobiliario urbano, como por ejemplo farolas, semáforos,



etc. Su alcance es pequeño, de unas decenas de metros, entre 100 y 300m, por lo que es necesario colocarlas en lugares estratégicos de la ciudad. Estas small cells se comunican a través de radio enlaces con las estaciones base o torres de radiofrecuencia 4G, tal y como se muestra en la Figura 14 y a su vez también con la central del operador por medio de fibra óptica.

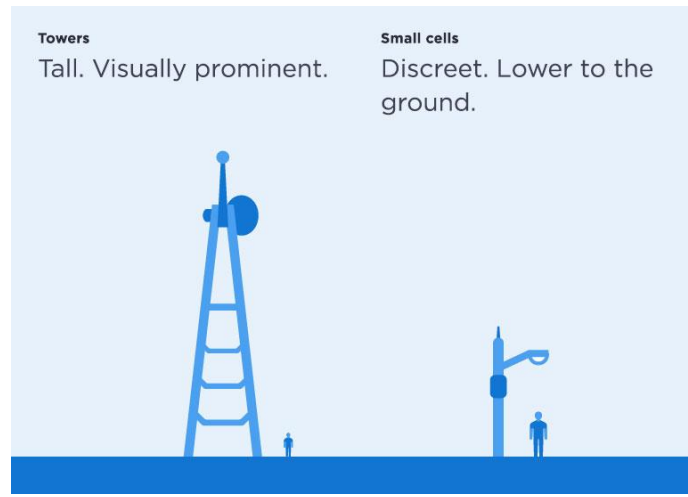


Figura 14:small cell en 5G [36]

Estas smallcells formarían parte de la red de acceso de usuarios. Así, el esquema general utilizando small cells ancladas en el mobiliario urbano se muestra en la Figura 15.

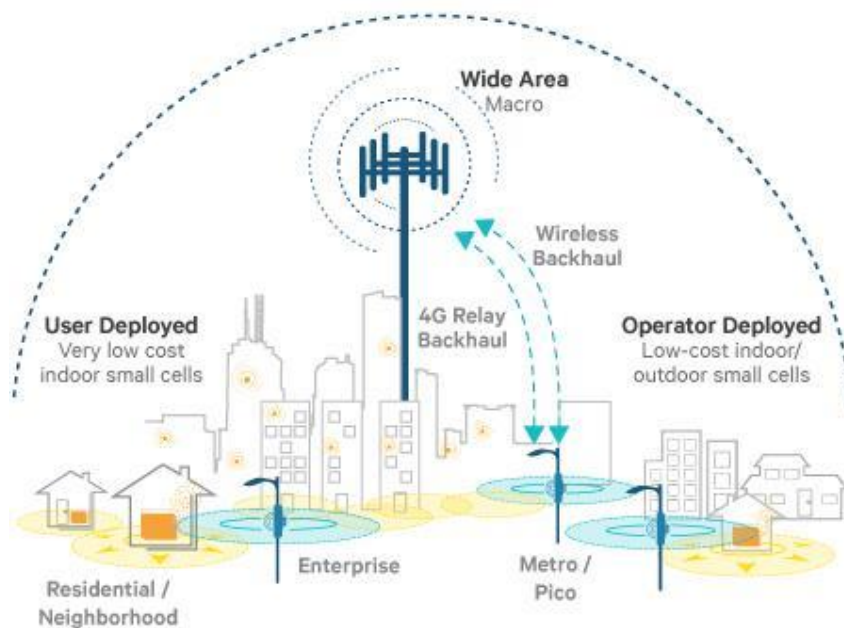


Figura 15: Arquitectura de red con tecnología small cell [37]

La parte de backhaul que se muestra en la Figura 14 correspondería a la parte de la red que conecta el núcleo o backbone (antena 4G LTE) con las subredes de smallcells. El conjunto de una antena 4G LTE en combinación con las smart cells a las que da cobertura constituyen una macrocell, como se puede observar en la Figura 15.

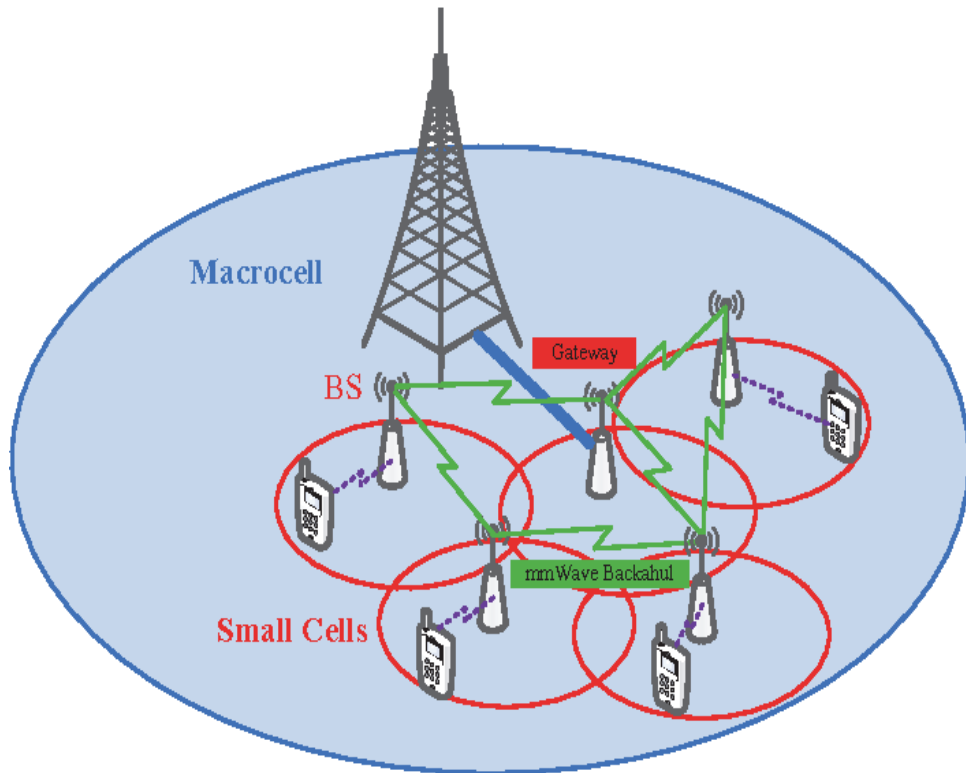


Figura 16: arquitectura de una macrocell [38]

La siguiente Tabla 5 las características de distintos tipos de small cells:

Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.010 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico Cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/Outdoor
Micro Cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell	10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

Tabla 5. Tipos de small cells y características

La siguiente Tabla 6 muestra las características del 4G LTE.

Características del 4G LTE	Valores
Throughput	100Mps con picos de 1Gbps
Cobertura por antena base (torre)	10-12km
Disponibilidad del sistema	no
Ubiquidad	si
Ruido, interferencias	si
Seguridad, Confidencialidad	No, necesita encriptación
Latencia	>1ms

Tabla 6. Características del 4G LTE

#### 4.2.1.2. Tecnología 5G

La tecnología 5G se encuentra en sus primeras etapas de despliegue como se puede ver en el siguiente cronograma de la Figura 17.

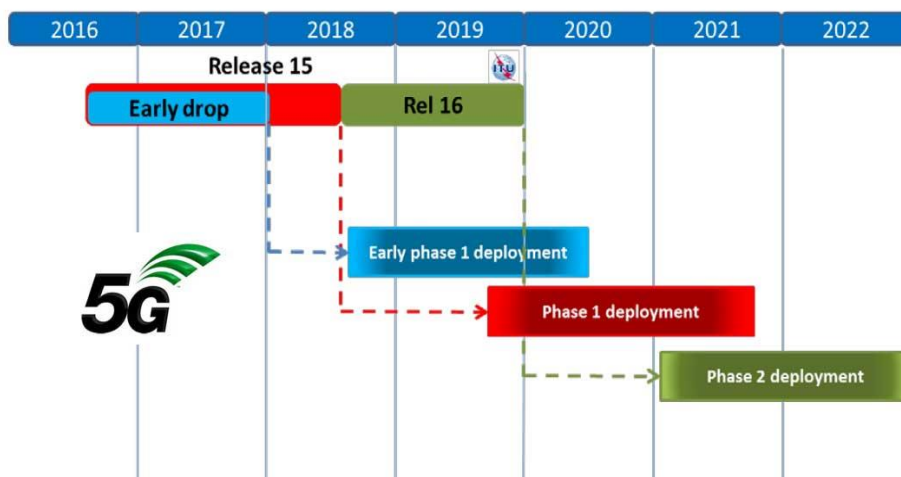


Figura 17: Cronograma de desarrollo 5G [33]

La tecnología 5G necesita espectro en tres bandas de frecuencia para poder ofrecer una mayor cobertura incluyendo las áreas a las que se pretende dar servicio con esta tecnología. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) define los requisitos del espectro IMT-2020. Las tres bandas son:

- Inferiores a 1 GHz: para contribuir al IoT y la aplicación de servicios en centros urbanos y dentro de edificios.
- De 1-6 GHz: el más adecuado para los primeros despliegues de 5G, en concreto las frecuencias entre 3.3 y 3.8 GHz para dar los primeros servicios comerciales y proporcionar las economías de escala y por tanto los servicios de bajo costo.

- Por encima de 6 GHz: necesaria para proporcionar la velocidad ultrarrápida.

Características 5G	Valores
throughput	Hasta 25Gbps en la bajada y hasta 10Gbps en la subida
Cobertura por torre	Depende de la frecuencia 3-8Km aprox
Disponibilidad del sistema	completa
Ubiquidad	si
Ruido, interferencias	no
Seguridad, Confidencialidad	si
Latencia	<1ms

Tabla 7. Características del 5G

Con esta tecnología se resolverán los problemas necesarios mencionados en apartados anteriores para proporcionar los servicios de e-health avanzados, además de que al usar las frecuencias superiores a 1Ghz permite obtener las condiciones de seguridad requeridas para este tipo de servicios. De manera que:

- Con 5G se alcanzarán velocidades 100 veces superiores a la velocidad de LTE-4G (Long Term Evolution 4G) y 10 veces superior a la tecnología LTE-Advanced.
- Baja latencia: la disminución de la latencia en 5G es clave, ya que permitirá la entrada a servicios diferenciales con respecto a tecnologías anteriores.
- Alta densidad: 5G tendrá la capacidad de soportar un gran número de dispositivos conectados a la vez, llegando a tolerar densidades de hasta 100 dispositivos por m<sup>2</sup>.
- Eficiencia: Se prevé que esta tecnología supere en un 90% a la eficiencia energética del 4G.
- La confidencialidad será crítica: todos estos sistemas basados en redes móviles requieren una seguridad extrema que garantice la integridad de la identidad de los usuarios/dispositivos, del tráfico y la no intrusión. La garantía de confidencialidad entre la estación base radio y el núcleo de red de manera que no existan tramos entre los nodos de servicio que puedan ser escuchados porque falte algún cifrado del contenido. Esto supone también el chequeo de la integridad en el terminal de usuario así como el almacenamiento y procesamiento de los datos conforme a normativas de seguridad.

- La fibra óptica permitirá un mayor ancho de banda para el transporte del tráfico generado en la utilización de los servicios.
- Eliminación de interferencias en el canal.

Para conseguir los requisitos 5G mencionados cada una de las torres base del esquema planteado para 4G LTE en el apartado anterior deberían usar antenas MIMO (Multiple Input-Multiple Output) de forma masiva, para atender la gran cantidad de datos generados por los servicios s-Health. A este nuevo paradigma en el que va a existir un incremento significativo de las antenas MIMO se le conoce con L-MIMO (Large MIMO) o M-MIMO (Massive MIMO). MIMO Masivo (Massive MIMO) se refiere al uso de una gran cantidad de antenas (decenas a centenas) en la estación base para poder procesar un conjunto de señales de diferentes usuarios para conseguir una mayor calidad de transmisión. Con estos nuevos sistemas se permiten mayores tasas de datos, alta fiabilidad del enlace, un buen equilibrio entre la eficiencia espectral y la eficiencia energética, cumpliendo de esta manera los requisitos que necesitan los servicios sHealth avanzados descritos.

Aunque en los sistemas 4G LTE ya se han utilizado antenas MIMO en algunos proyectos piloto y han llegado a conseguir agrupaciones de hasta 8x8 antenas MIMO en array, en el 5G este número ha de aumentar significativamente para dar servicio al gran número de dispositivos IoT conectados.

Actualmente, las especificaciones de interoperabilidad no están resueltas del todo y parece que de momento cada operador está implementando sus propios equipos. Se han encontrado algunas soluciones para llevar a cabo el 5G como las antenas de Samsung, que además de ser las más pequeñas hasta la fecha, facilitando así su instalación, utilizan 1.024 microantenas para crear un sistema Multi-MIMO en la banda de 28 GHz para alcanzar velocidades que cumplan con las exigencias de las especificaciones finales del 5G [78]. En el caso de las bandas de 3,5 GHz es más fácil, ya que aunque tengan menos velocidad, sólo usan 100 MHz de espectro y requieren el uso de 64 microantenas para el MIMO masivo. De esta manera, el despliegue de las redes 100% 5G ya se podría llevar a cabo de manera independiente al 4G utilizando nueva infraestructura independiente, lo cual permitirá obtener mayores velocidades y menor latencia así como una disminución de la carga sobre las redes 4G. Aunque en un futuro llegue a convivir, como actualmente el 4G de 2010 parece convivir a la perfección con el 2G de los años 90. De hecho, es posible que el 5G a 900 MHz acabe combinado con ese 2G porque sus antenas también funcionan a 900 MHz. En la

siguiente Figura 18 se puede apreciar la diferencia entre una antena 4G y una antena mMIMO 5G, tanto en esquema como en real.

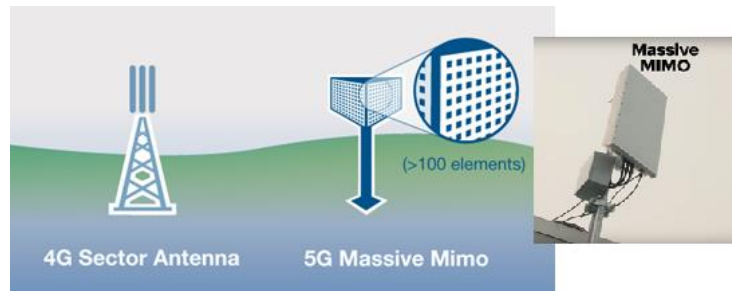


Figura 18: Diferencia entre antenas 4G LTE y MIMO [64] [65]

En la Figura 19 se muestra como sería la arquitectura de forma global de la implantación de una red 5G en una ciudad, donde se puede observar, tal y como se ha explicado en este apartado, como las estaciones centrales mMIMO 5G se distribuyen en la ciudad dando cobertura a un área de small cells y a su vez conectándose a los servidores locales mediante fibra para proporcionar el servicio demandado.

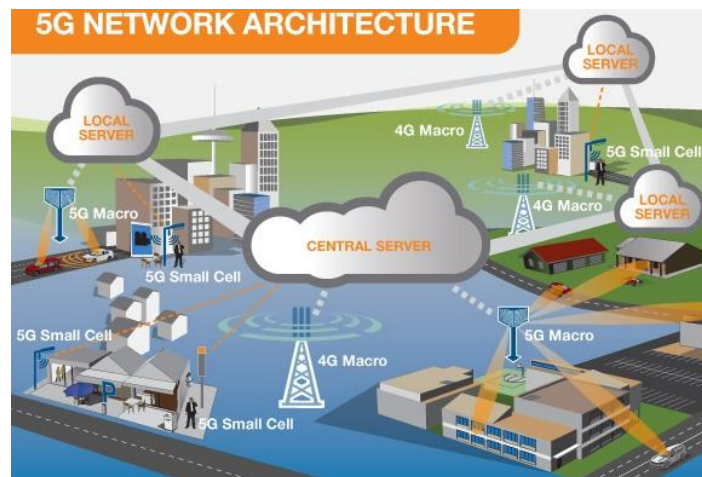


Figura 19: Arquitectura 5G Smart city [65]

#### 4.2.2. Red troncal

La red troncal estará formada por un número de nodos, en este caso nodos sHealth ubicados en la ciudad e interconectados según una topología para conectar los diferentes centros, comentados en apartados previos, involucrados en proveer Servicios sHealth. Los nodos sHealth gestionan el tráfico de datos para poder ser recogido y entregado a los usuarios, que acceden a ella a través de la red de acceso. En nuestro caso, al necesitarse un throughput en la red de acceso de al menos

50Gbps y tener que multiplexarlo para proporcionar acceso a toda la ciudad a los servicios sHealth por 6 veces, como se detallará en la sección 5 de este trabajo, la única opción es utilizar como red troncal una red de fibra óptica. Se trataría de la tecnología a utilizar en el core o backbone de la red puesto que es capaz de proporcionar servicios de banda ancha y proporciona mayor seguridad que una tecnología inalámbrica, necesaria para la transmisión de datos críticos en este tipo de servicios (ancho de banda y baja latencia). Esta fibra nos permitirá conectar a los proveedores de servicios de asistencia entre sí y también los centros de datos para el procesamiento de los mismos. Dado que IoT genera una gran cantidad de datos, transportar grandes cantidades de ellos entre los dispositivos representa una parte importante de la red. Además de un elevado ancho de banda debido a ese enorme volumen de datos, la transmisión de datos sHealth tiene más requisitos, como baja latencia, servicio a larga distancia, seguridad y flexibilidad. Debido a estas características, su baja atenuación y la capacidad de multiplexación multidimensional, la red de comunicación de fibra óptica proporciona la plataforma más adecuada.

La fibra óptica transporta señales luminosas con un ancho de banda más alto que cualquier otra tecnología por cable y puede estar fabricada con vidrio o plástico. Debido a su baja atenuación, las señales se transmiten a largas distancias. La fibra óptica puede ser multimodo o monomodo. Las fibras multimodo se caracterizan por tener un gran diámetro del núcleo, de 50 a 62 micras, debido a lo cual existe un riesgo de dispersión que limita la distancia de despliegue de este tipo de fibra. La fibra monomodo tiene un diámetro más pequeño, de 5 a 10 micrones, lo que disminuye la dispersión y permite mayor distancia de despliegue.

La conmutación de circuitos ópticos es por naturaleza de protocolo independiente y puede soportar formatos de señal heterogéneos. La flexibilidad puede mejorarse mediante la utilización de redes WDM (Wavelength Division Multiplexing) flexibles y transpondedores de tasa variable. La tecnología WDM permite que múltiples longitudes de onda se envíen simultáneamente, logrando altas velocidades de transmisión del orden de Terabits por segundo. Las fibras ópticas ya desplegadas utilizan hasta 32 longitudes de onda, ofreciendo anchos de banda de 320 Gbps, ya que cada longitud de onda puede transportar hasta 10 Gbps de información. Sin embargo, algunas investigaciones experimentales muestran que el número de canales en una fibra monomodo puede ser incluso mayor, de hasta 72 canales o incluso más, lo que admite un alto ancho de banda.

El cifrado de capa óptica añade seguridad a nivel físico a las medidas existentes de seguridad en las capas superiores, lo cual es un valor añadido. En la siguiente Tabla 8 se muestran las características de los sistemas de fibra óptica.

Características Fibra Optica	Valores
<b>throughput</b>	Hasta 1 Tbps
<b>Cobertura</b>	MAN y WAN de cientos a miles de km
<b>Disponibilidad del sistema</b>	completa
<b>Ubiquidad</b>	no
<b>Ruido, interferencias</b>	no
<b>Seguridad, Confidencialidad</b>	si
<b>Latencia</b>	<1ms

*Tabla 8. Características de la fibra óptica*

El diseño de una red de fibra óptica pasa por determinar:

- La zona donde se despliega.
- El tipo de fibra
- El equipamiento de transmisión
- Las interrupciones que se puedan producir (red de backup)
- La conexión a la red inalámbrica.

En nuestro caso, puesto que se trata de una red externa (fuera de un edificio) hay que tener en cuenta enlaces más largos de alta velocidad, conectando edificios tanto en distancias cortas de unos pocos cientos de metros, como en distancias de kilómetros. En las telecomunicaciones, la velocidad de transmisión de datos suele ser de 2.5 a 10 Gbps, y se utilizan láseres muy potentes que solo funcionan en las fibras monomodo. La fibra es el medio de comunicación elegido para la red troncal, ya que su capacidad de permitir mayores distancias y ancho de banda la posicionan como la única opción o la que es significativamente menos costosa en comparación con la red inalámbrica. Incluso las torres de antenas 4G que están junto a las autopistas y en los edificios altos suelen tener conexiones de fibra.

Los enlaces de telecomunicaciones más cortos utilizan láseres de 1310 nm en las fibras monomodo comunes, denominadas fibras G.652, que es un estándar internacional. Las distancias más largas utilizan la fibra de dispersión desplazada, optimizada para operar con láseres de 1500 nm (fibra G.652).

En casi todas las instalaciones se utiliza una de estas dos opciones. La ubicación exacta de la red de cables estará determinada por las ubicaciones físicas a lo largo de



todo el trazado, por los códigos y leyes locales de la construcción. En general, los gobiernos de las ciudades disponen de información acerca de los conductos disponibles o de las normas que rigen la utilización de postes telefónicos o de energía, lo que puede ahorrar tiempo de diseño y esfuerzo. Crear un mapa de calles es el primer paso, y debe identificar a los otros servicios públicos en el mapa, a lo largo de todo el trazado, y verificarlo con los grupos que informan acerca de los servicios públicos existentes para evitar que los contratistas dañen las tuberías y los cables que ya están instalados. Las instalaciones en planta externa deben tener la aprobación de las autoridades locales, provinciales y estatales, que tendrán una gran influencia en el modo de diseñar el proyecto. Dado que muchas ciudades han instalado redes de fibra que pertenecen a la ciudad, es posible que cuenten con fibra disponible para alquilar y, así, se evita la tediosa tarea de instalar la fibra propia. En el caso de España, además, la CNMC obliga a los operadores mayoritarios, por ejemplo Telefonica, a abrir sus conductos a otros operadores. Ello permite que se pueda desplegar de forma rápida una red en sitios donde ya haya un despliegue para otros fines.

La elección de los componentes de la red de fibra óptica en planta externa (OSP) comienza con el trazado de la red de cables. Una vez que el trazado está establecido, queda claro dónde se instalarán los cables, dónde están los empalmes y dónde se hará la terminación de los cables. Todo eso determina qué debe elegirse con respecto al tipo de cable, al hardware y, en algunas oportunidades, a la metodología de instalación. Para brindar especificaciones acerca del cable, es necesario saber cuántas fibras están incluidas en cada cable y de qué tipo son. Es importante entender que la fibra, en especial la fibra monomodo que se utiliza en casi todas las instalaciones en OSP, es económica y la instalación es costosa. La instalación de un cable de OSP puede costar cien veces más que el costo del cable propiamente dicho. Elegir una fibra monomodo es fácil; la fibra monomodo básica de 1300 nm (denominada fibra G.652) es adecuada para todo excepto para enlaces largos o para los enlaces que utilizan la multiplexación por división de longitud de onda. Es posible que esas instalaciones requieran de una fibra especial optimizada de 1500 a 1600 nm (G.653 o G.654). En las redes de cables de planta interna o a nivel de campus, la fibra multimodo OM3 50/125 optimizada para láser, probablemente sea la mejor elección para cualquier tendido de fibra multimodo en OSP, dado que su atenuación más baja y su ancho de banda más elevado permiten que la mayoría de las redes funcione mejor. Además, disponer de fibras adicionales para futuras ampliaciones, para sistemas de respaldo o para casos de roturas de fibras individuales puede ahorrar muchos dolores de cabeza en el futuro.

En la elección de los componentes, el empalme y la terminación son las últimas categorías que deben elegirse. La mayoría de las fibras monomodo de OSP se empalman por fusión debido a que esto brinda baja pérdida, baja reflectancia y confiabilidad.

El análisis de la pérdida óptica estimada es el cálculo y la verificación de las características operativas de un sistema de fibra óptica. Estas incluyen elementos tales como el encaminamiento, la electrónica, la longitud de onda, el tipo de fibra y la longitud del circuito. La atenuación y el ancho de banda son los parámetros clave para el análisis de la pérdida óptica estimada. Se debe analizar la pérdida de los enlaces al principio de la etapa de diseño, antes de instalar un sistema de fibra óptica, para asegurarse de que el sistema funcionará con la red de cables propuesta.

En el cálculo de la pérdida óptica estimada pueden incluirse tanto los componentes pasivos del circuito, como los activos. La pérdida pasiva está compuesta por la pérdida conexión por la fibra, por los conectores y por los empalmes. No se deben olvidar los acopladores y los empalmes en el enlace. Si ya se eligió la electrónica del sistema, se pueden considerar los componentes activos, como la longitud de onda, la potencia del transmisor, la sensibilidad del receptor y el rango dinámico.

En los siguientes apartados se analizarán algunos de estos puntos.

#### ***4.2.2.1. Fibra óptica monomodo***

La principal diferencia entre las fibras multimodo y monomodo es el tamaño del núcleo y el índice de refracción.

En las fibras multimodo los haces de luz pueden propagarse con diferentes caminos y diferentes modos debido a que el núcleo de la fibra es bastante mayor lo que facilita el acoplo con una apertura numérica más alta, pero presentan dispersión intermodal y reduce drásticamente el ancho de banda. Para mejorar el problema de la dispersión se han creado las fibras ópticas de índice gradual, las cuales ofrecen a la radiación un perfil de índices tal que los posibles caminos físicos más complicados dentro del núcleo se encuentran con un menor índice de refracción, de forma que se consigue acelerar los modos más lentos y frenar los más rápidos, reduciéndose así la dispersión. La mecánica de los elementos de conexión y demás elementos exige menos precisión haciéndolos más económicos, pero el ancho de banda es menor por lo que la tasa de bit disminuye frente al monomodo. Además, la atenuación es mayor permitiendo longitudes hasta de 2Km aproximadamente. Por tanto las fibras multimodo

son adecuadas para distancias cortas de ancho de banda limitado y aplicaciones de bajo coste. Las fibras de índice gradual son más adecuadas para distancias medias de ancho de banda entre medio y alto.

En las fibras monomodo los comportamientos de los haces de luz se propagan linealmente sin reflexionar con el revestimiento por lo que tienen solo un único modo de propagación dentro de la fibra, lo cual es debido al tamaño menor del núcleo y el revestimiento. Son fibras de índice escalonado que permiten eliminar la dispersión intermodal, mejorando considerablemente el ancho de banda. Las fuentes de luz o transmisores para este tipo de fibras son los diodos laser. Son adecuadas para distancias largas, alto ancho de banda y aplicaciones con emisores coherentes monomodo.

En nuestro caso puesto que se requiere alto ancho de banda y distancias medias, así como multiplexación serán convenientes las fibras monomodo.

#### **4.2.2.2. DWDM**

Los sistemas WDM surgen debido al aumento de tráfico, demanda de nuevas capacidades y aumento de las velocidades de transmisión, los cuales resuelven este problema, además de poder usar la infraestructura ya desplegada de fibra. La banda del espectro radioeléctrico utilizado en WDM es de 1300 o 1550 nm, que son dos ventanas de onda que las fibras ópticas tienen muy baja pérdida de señal.

La multiplexación por división de onda (WDM) aprovecha las características de la fibra óptica para transmitir grandes capacidades y velocidades a través de un par de fibras mediante la multiplexación y demultiplexación de diferentes longitudes de onda o canales dentro de la banda de trabajo. Cada canal o longitud de onda viaja a través de la fibra pudiendo tener diferentes velocidades de transmisión y diferentes tipos de tráfico o servicios. Existen tres tipos de sistemas WDM, dependiendo de la separación entre canales y los cuales tienen dos ventajas e inconvenientes claramente diferenciados:

- CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), la separación entre canales es ancha
  - Capacidades de transmisión bajas con hasta 8/16 canales
  - Bajo coste en los dispositivos ya que los laseres requieren menos exactitud

- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing): la separación entre canales es menor
  - Grandes capacidades de transmisión y muy larga distancia, con un gran número de canales o longitudes de onda de trabajo
  - Coste elevado por la precisión y exactitud de los dispositivos como láseres de transmisión, foto detectores, amplificadores, etc.
- UDWDM (Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing): en este tipo de sistemas el espacio entre canales es todavía menor que en DWDM permitiendo mayor número de longitudes de onda.

### **CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)**

Estos sistemas tienen capacidades muy limitadas en cuanto al ancho de banda de transmisión y las velocidades que pueden transportar, debido a que la separación entre las portadoras o longitudes de onda ocupan todo el espectro permitido con hasta 16 canales. Estos sistemas tienen un alcance de hasta 50Km, con elementos pasivos tales como multiplexores, demultiplexores y filtros. No se suelen usar amplificadores ópticos y la dispersión no afecta en gran medida por lo que no es necesario utilizar módulos de compensación de dispersión. Estos sistemas al ser más sencillos son sistemas de bajo coste y se suelen usar en entornos que requieran poca capacidad y las distancias sean relativamente pequeñas.

### **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)**

Estos sistemas tienen capacidades y anchos de banda mayores que CWDM debido a que el espaciado entre longitudes de onda es más pequeño, lo que permite un mayor número de canales dentro de la banda. Se pueden conseguir hasta 160 canales ópticos, sin embargo los transmisores requieren de una gran estabilidad y precisión utilizando láseres. Los elementos activos son complejos, como unidades ecualizadoras para nivelar potencias ópticas, canales de gestión, multiplexores, demultiplexores, filtros más precisos y amplificadores de fibra con erbio EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Tienen algo de dispersión por lo que es necesario el uso de unidades de compensación de dispersión cromática DCM (Dispersion Compensation Modules).

La siguiente Tabla 9 muestra las diferencias entre estas tecnologías.

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10-40 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB (láser de realimentación distribuida)	cooled DFB	cooled DFB
Distancia	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
Coste	bajo	medio	Alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman

Tabla 9. Características de CWDM y DWDM [79]

Mencionar, aunque no se estudiará en este proyecto, que la ITU-T desarrolló un conjunto de estándares de longitudes de onda y formatos de señales para soportar mejor la multiplexación de un gran número de señales en una fibra óptica. Las redes WDM/DWDM basadas en la ITU-T OTN (Optical Transport Network) tienen las siguientes ventajas:

- La jerarquía OTN es más simple que las predecesoras como SONET/SDH.
- OTN tiene encabezamientos optimizados para transportar señales sobre redes WDM.
- La reducida complejidad y los encabezados sencillos permiten una reducción substancial en gastos operativos.
- El ancho de banda y las velocidades con las que se trabajan son mucho mayores que las SDH/SONET además de ser escalables.
- OTN tienen mecanismos de corrección de errores (FEC) que permiten distancias y alcances mayores entre regeneraciones.
- Las señales de cliente pueden ser transportadas sobre OTN de manera transparente
- OTN mejora las capacidades de SDH por gestionar mejor los fallos en redes multioperador, corrección de errores FEC, mayor capacidad.

Las redes OTN proveen una óptima convergencia de las tecnologías de transporte para llevar transparentemente las señales de cliente. Esta convergencia de señales comprende velocidades de señales desde 100Mbps y 100Gbps tanto Ethernet, como SAN y SDH/SONET sobre velocidades de línea óptica de 2,5Gbps, 10Gbps, 40Gbps,

100Gbps y 400Gbps. La transformación de la señal cliente se hace en el dominio eléctrico (OPU, ODU, OTU) hasta que la unidad OTU es transformada al dominio óptico mediante un canal WDM. La siguiente Figura 20 muestra un esquema.

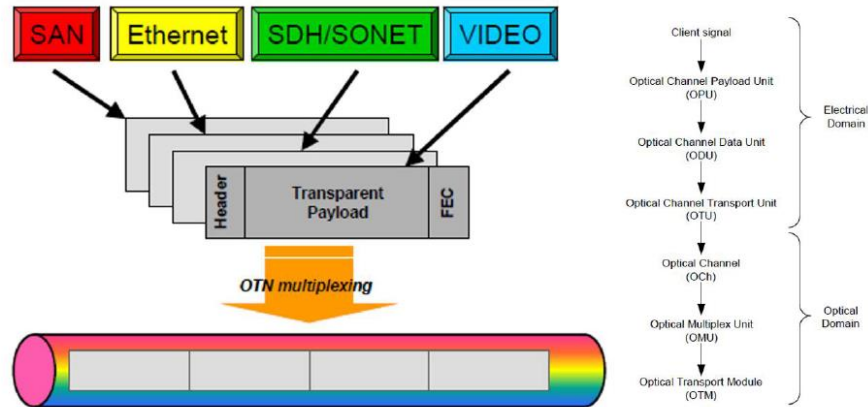


Figura 20: Esquema OTN [79]

Las siguientes Figuras 21 y 22 muestran un esquema de como funcionaría OTN sobre DWDM.

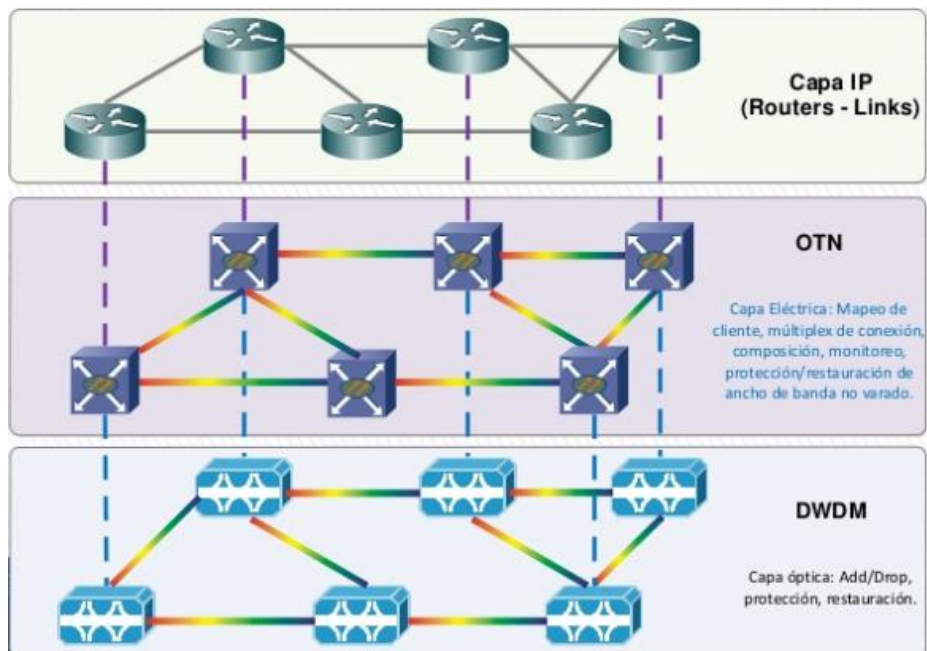


Figura 21: Esquema capas OTN sobre DWDM [72]

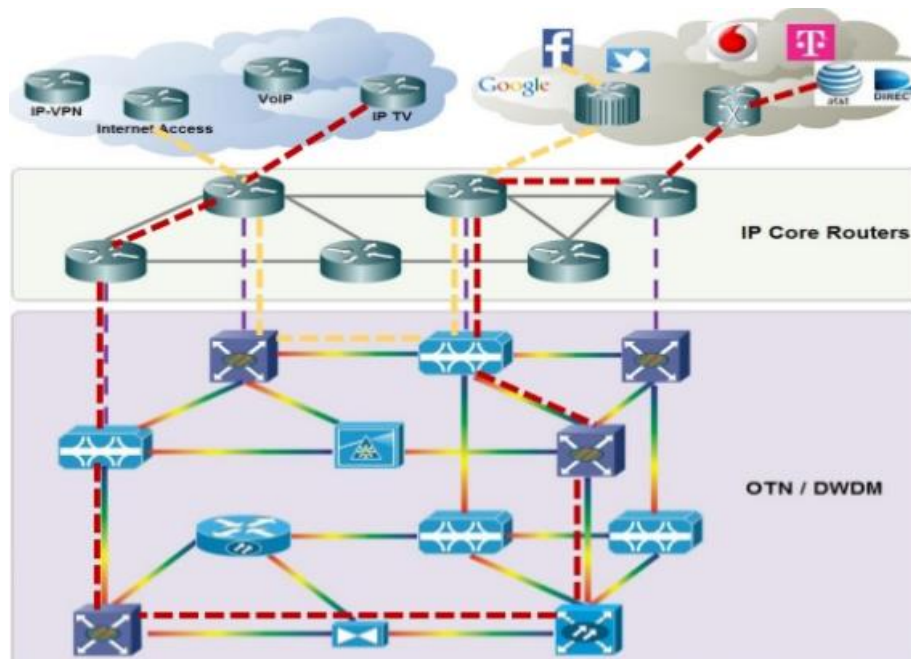


Figura 22: Esquema tráfico OTN sobre DWDM [72]

#### 4.2.2.1.1 Topologías DWDM

La topología de red es la forma en la que los dispositivos de red están conectados entre ellos. La topología física describe la ubicación física de los elementos de la red, mientras que la topología lógica señala la forma en que fluye la información en la red. En esta sección se discutirá la tecnología física MAN para este proyecto. Desde el punto de vista topológico se puede dividir en tres grandes grupos atendiendo a la conexión entre los nodos WDM.

Las tecnologías más comunes para dicha red son las topologías de anillo, doble anillo y malla.

#### Topología punto a punto

En este tipo de topologías no existe la protección de caminos a menos que se redunde. Normalmente tanto en el nodo inicial como en el final ha de poderse extraer/insertar todo el tráfico demandado pudiendo existir algún nodo intermedio para extraer cierta cantidad de canales ópticos. Esta topología suele utilizarse en entornos que cobren grandes distancias. También puede ser necesario la instalación de amplificadores ópticos OLA (Optical Line Amplifier) para amplificar la señal en caso de pérdidas y OADM, para incorporar o extraer canales en el dominio óptico a través de routers, switches o servidores, según se muestra en la Figura 23 siguiente.

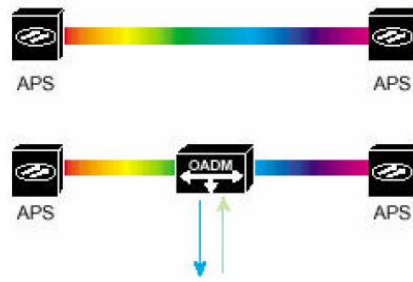


Figura 23: Topología punto a punto DWDM [66]

### Topología en anillo

La topología en anillo es una topología simétrica, donde el tráfico entre los nodos fluirá de forma circular de un nodo a otro. Esta topología se implementa fácilmente y, en caso de fallos en los cables, la solución de problemas es fácil. Pero, la topología en anillo no cumple con el requisito de escalabilidad. En caso de agregar nuevos nodos o enlaces, las propiedades estructurales de la topología pueden cambiar. En la siguiente Figura 24 se muestra dicha topología.

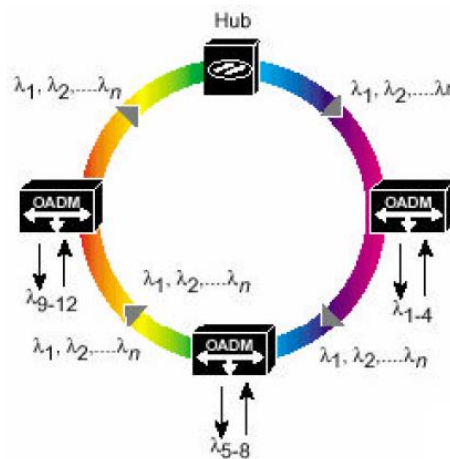


Figura 24: Topología en anillo DWDM [66]

Esta estructura suele encontrarse en entornos metropolitanos donde la distancia total sea reducida y no se requiere de nodos amplificadores ópticos. Las configuraciones en anillo pueden tener un concentrador y uno o más nodos OADM. En el nodo del concentrador el tráfico se origina, se termina y se controla y a su vez da conectividad a otras redes establecidas. En los nodos OADM las longitudes de onda seleccionadas son removidas o añadidas, mientras que las demás pasan de forma transparente. De esta manera las arquitecturas en anillo permiten que los nodos en anillo suministren acceso a elementos de red como enrutadores, conmutadores o servidores, con añadir



o eliminar canales de longitud de onda en el dominio óptico. Sin embargo incrementando el número de OADMs la señal tiene más pérdidas y se puede necesitar amplificación.

### Topología en anillo doble

La topología de anillo doble es una topología regular. Consiste en dos anillos que conectan exactamente el mismo número de nodos. La redundancia es proporcionada por los enlaces entre cada par de nodos que se conectan, el anillo interno y externo. Cada anillo es independiente del otro, a menos que ocurra un fallo en el anillo primario. Esta topología se usa a menudo en las redes MAN ya que ofrece un alto nivel de confiabilidad y redundancia. Pero, como en el caso de la topología en anillo, el requisito de escalabilidad no está totalmente satisfecho. La siguiente Figura 25 muestra esta topología.

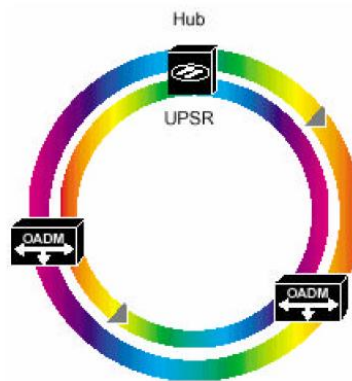


Figura 25: Topología en doble anillo DWDM [67]

Aquí el concentrador y los nodos envían a través de dos anillos, pero la misma se usa para que todo el equipo reciba la señal. Si el anillo de trabajo falla, el equipo receptor conmuta a otro par. Aunque esto suministra redundancia completa del camino no hay posibilidad de reutilizar el ancho de banda, ya que la fibra redundante siempre ha de estar preparada para transportar el tráfico de trabajo en caso de fallo.

### Topologías en malla

Las topologías en malla no son necesariamente regulares en simetría. Pueden ser de rejilla, nido de abeja, etc. Las topologías de malla ofrecen un alto nivel de redundancia de la red. En general, son más difíciles de implementar que la topología de anillo o de anillo doble debido al alto coste de la implementación. Este desarrollo se podrá hacer mediante la introducción de cross-connects y conmutadores ópticos configurables que, en algunos casos, sustituirán y en otros complementarán los dispositivos fijos DWDM.

Empezando con los enlaces punto a punto, con los nodos iniciales equipados con OADM para tener flexibilidad, y a continuación interconectándolos, la red puede evolucionar en una malla sin un rediseño completo. Adicionalmente las topologías malladas y en anillo se pueden unir con enlaces punto a punto según se muestra en la siguiente Figura 26.

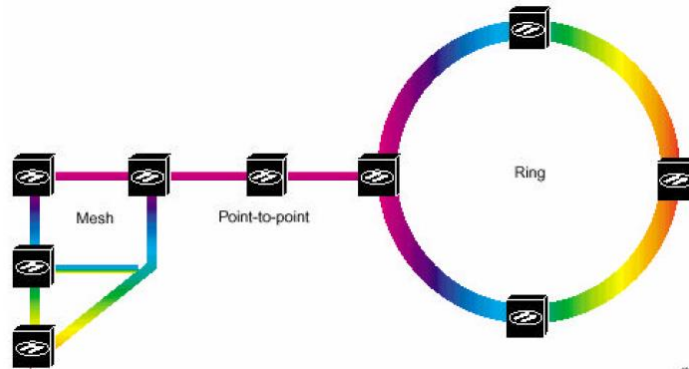


Figura 26: Topología en anillo DWDM [66]

Las topologías presentadas anteriormente se compararon entre ellas según varios criterios, como la dificultad de implementación y la solución de problemas en condiciones de fallo. Además, la escalabilidad, la redundancia son factores importantes a considerar para ofrecer la conectividad deseada para la red troncal. Además el coste es otro parámetro a considerar.

El análisis de cada topología dio los resultados que se muestran en la siguiente Tabla 10, donde 1 significa bajo y 3 alto:

	Dificultad de despliegue	Dificultad de resolver problemas	Escalabilidad	Redundancia	Disponibilidad	Coste
Anillo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Doble anillo	Medio	Medio	Medio	Alta	Medio	Medio
Malla	Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Alto

Tabla 10. Análisis topologías DWDM

En resumen, la topología en anillo es más fácil de implementar y menos costosa que la duplicación o la topología de malla. Pero, ofrece un bajo nivel de redundancia y disponibilidad. La topología de malla es la mejor para una red que desea tener un alto

nivel de redundancia, disponibilidad y escalabilidad, pero sus inconvenientes son la complejidad de la implementación y su coste. Finalmente, la topología de doble anillo se encuentra entre la topología de anillo y malla, ofreciendo un mayor grado de redundancia que la topología de anillo y tiene un costo menor en el despliegue que las topologías de malla. Por este motivo será la topología de anillo doble a elegida para este proyecto por presentar la mejor relación prestaciones /coste.

Teniendo en cuenta lo visto hasta el momento se puede concluir que para proporcionar la cobertura a los 160 km<sup>2</sup> que tiene la ciudad de Segovia distribuidos en forma rectangular como 10km x 16 Km para construir un anillo de fibra óptica se necesitarían mínimo 16+10 = 26 km de fibra óptica monomodo estándar que conecta los centros asistenciales de la ciudad y los centros de operación y control como se explicará en los apartados posteriores. Así obtendríamos un anillo de fibra óptica con fibras que conectarían a cada uno de los centros y las antenas base 5G.

#### 4.2.2.1.2 Elementos de la red DWDM

En este apartado se describirán los diferentes elementos de red NEs (Network Elements) que se necesitan para el diseño de este tipo de redes. La siguiente Figura 27 muestra un enlace DWDM.

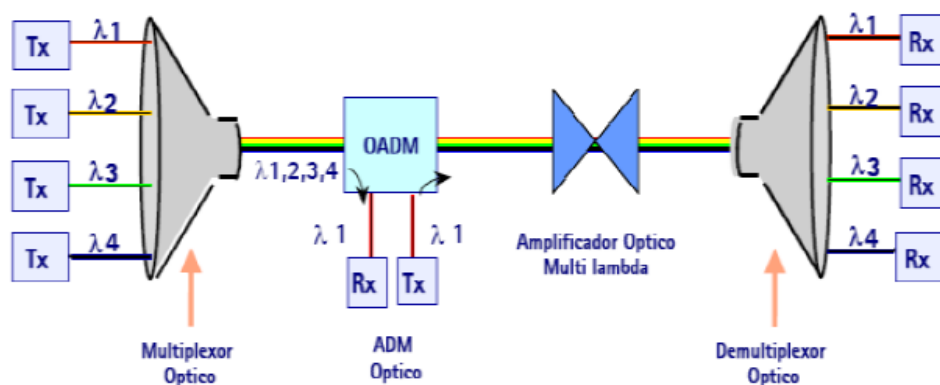


Figura 27: Enlace DWDM [74]

Como se puede observar en la figura se tienen los siguientes componentes:

- Fibra óptica: cuya función es guiar las ondas luminosas con un mínimo de atenuación y pueden transmitir luz a 2/3 de la velocidad de la luz en el vacío.

- Fuentes y detectores de luz: son dispositivos activos que están opuestos extremo a extremo en un sistema de transmisión óptica con la función de convertir las señales eléctricas en pulsos de luz y viceversa.
- Multiplexores y demultiplexores WDM: toman longitudes de onda y las acoplan a las fibras individualmente.
- Multiplexor óptico de inserción y extracción OADM: dispositivo que permite en puntos intermedios de un enlace DWDM quitar e inserta una o más longitudes de onda de una gama de longitudes de onda, dejando que el resto de longitudes de onda no extraídas pasen directamente. Existen los siguientes tipos:
  - Nodos FOADM (Fixed Optical Add Dropp Multiplexer): este nodo extrae e inserta los canales ópticos pre-planificados por medio de filtros pasivos sintonizados a una longitud de onda. La capacidad de tránsito es menor en estos nodos y tiene dos vías o caminos. Atendiendo al coste, son los más económicos por su simpleza al ser elementos pasivos.
  - Nodos ROADM (Reconfigurable Optical Add Dropp Multiplexer): extraen e insertan canales ópticos de manera reconfigurable. Son más flexibles que los FOADM y suelen tener la posibilidad de extraer todos los canales del sistema, pero no sería esa su función. Tiene dos vías o caminos. Su coste es más elevado.
  - Nodos e-ROADM (Extended Reconfigurable Optical Add Dropp Multiplexer): es una variante del nodo ROADM anteriormente expuesto cuya particularidad es que tienen más de dos vías o caminos por donde insertar o extraer el tráfico. Es usado para topologías malladas con protección por más de dos vías o caminos.
  - Nodos WSS ROADM (Wavelength Selective Switch Reconfigurable Optical Add Dropp Multiplexer): tienen la mismas características que los ROADM con la diferencia que usan tarjetas WSS, son conmutadores selectivos de longitudes de onda que operan en el dominio óptico. Tienen como prestación la conmutación dinámica del enrutado de longitudes de onda o canales según las necesidades. Existen varios tipos de WSS atendiendo al número de vías con las que puede trabajar. Se pueden distinguir WSS de 4 vías y de 9 vías. Con este tipo de elemento se pueden tener varias configuraciones y funcionalidades. La siguiente Figura 28 muestra este elemento.

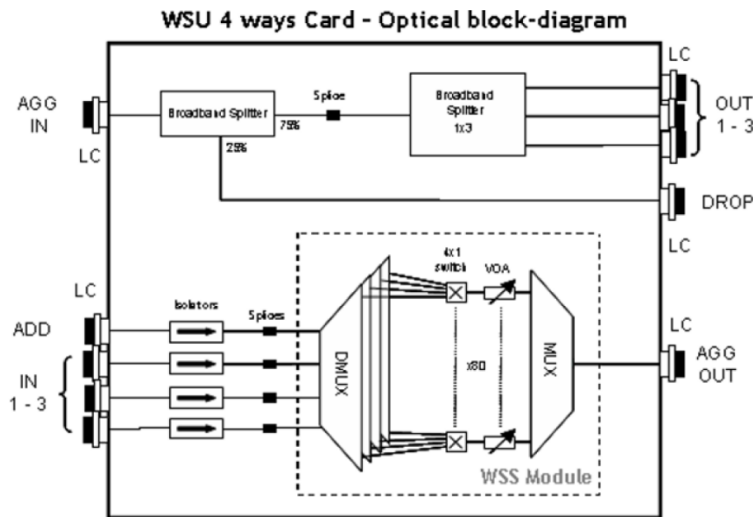


Figura 28: Nodo OADM [79]

- Amplificador óptico EDFA: tiene la funcionalidad de amplificar la señal óptica y nivelar todos los canales del espectro a una única potencia cuando los canales están des-ecualizados. No extrae ni inserta canales. Consta de algunos metros de fibra óptica que ha sido dopada con erbio. Una señal óptica en un enlace de fibra, junto con una luz adicional de una bomba láser chocan, producto de este proceso resulta la amplificación. La bomba láser es diseñada para estimular los iones del erbio y modificar la señal de datos. La siguiente Figura 29 muestra un esquema de un EDFA.

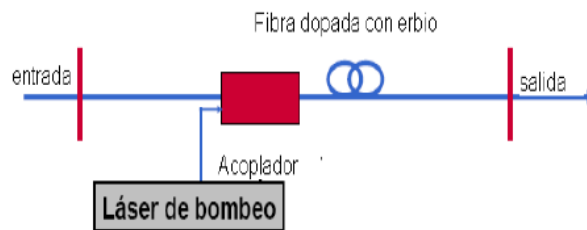


Figura 29: EDFA [79]

Existen también otros componentes de red, que no se muestran en la Figura como:

- Enfrentadores/Fusiones/Pasos por repartidor: no son nodos ya que no requiere de su integración en los sistemas de gestión y son totalmente pasivos. Tienen la finalidad de dar continuidad a la fibra.
- Terminal (T): es un nodo en el cual se inserta y se extrae todo el tráfico del sistema, por ello es el nodo con más capacidad de tráfico. Otra variante usada es un BackToBack o TT, el cual es un terminal con dos vías/caminos.

- Nodos regeneradores de tráfico: dependiendo de la topología y las capacidades de red puede ser necesario este tipo de nodo. Su función es regenerar la señal EOE (de óptico eléctrico óptico) para cumplir con la viabilidad del canal/es. En la medida de lo posible estos nodos han de evitarse, ya que encarece el diseño.

### 4.3. Análisis sobre plataformas de datos

Se deben diseñar proyectos que se adecuen al tamaño de la ciudad, que usen tecnología modulares y expansibles, con estándares abiertos de amplia adopción, que puedan ser combinados con plataformas colaborativas, conectadas con la población por medio de aplicaciones móviles que sean fáciles de usar. Y vincular a ese conjunto un proyecto de datos abiertos, Big Data y Analytics que permita tomar decisiones rápidas y eficientes, además de extraer análisis predictivos.

Para dar estos servicios son necesarios cuatro elementos básicos, que se describen brevemente en este apartado, puesto que su análisis minucioso sería objeto de otro proyecto:

- La interfaz de comunicación: para enviar y recibir información de la población y de las empresas, asociadas a plataformas de datos abiertos. En este caso de los pacientes y de los centros de asistencia médica. En este punto nos encontraríamos con los servicios sHealth, portales, aplicaciones.
- Centros integrados de operación y control: con las computadoras y aplicaciones software que reciben, procesan y analizan los datos enviados por los pacientes. Estos centros de datos se situarían en los hospitales y centros médicos de la ciudad.
- Dispositivos conectados y sensores: captan las diferentes señales del paciente y los transmiten a través de la infraestructura de red a los centros de operación.
- Infraestructura de conectividad: que engloba las redes de banda ancha tanto fijas como móviles para transmisión de los datos. Estas redes deben garantizar la conectividad en toda la ciudad y para toda la población soportando las aplicaciones digitales a través de las cuales se soportará el servicio.

## 5. Diseño de la red sHealth 5G – DWDM

En esta sección se realizará un diseño preliminar de la red que va a permitir el acceso a servicios sHealth en una Smart City, según los requisitos y tecnologías analizados en los apartados anteriores, así como la distribución de la densidad de población y usuarios, también analizados en las secciones anteriores. El diseño de la red consta de varios pasos. En primer lugar, se debe definir una topología que cumpla con los requisitos de la red. Luego, el número de sus nodos y, finalmente, los roles adicionales que se asignarán a cada nodo.

### 5.2. Arquitectura y topología global de la red sHealth 5G-DWDM

Este apartado presenta la arquitectura general de la red sHealth para prestar Servicios avanzados sHealth en la ciudad de Segovia, reuniendo todas las opciones hechas en las secciones anteriores acerca de las características de las aplicaciones, la red de acceso y la arquitectura de red troncal MAN. La red es responsable de acomodar el tráfico de todas las aplicaciones sHealth y de transmitir parte de la misma a la red de área amplia (WAN). Debe proporcionar un alto ancho de banda, ya que la cantidad de datos es muy alta y algunos con alto throughput y además el número de aplicaciones puede aumentar rápidamente. Además, la redundancia, baja latencia, ubicuidad y el soporte multitecnológico son requisitos clave a considerar.

Para cumplir estas características es necesario una red óptica híbrida 5G-DWDM, donde la tecnología 5G se encarga de proporcionar los requisitos exigidos de latencia y ubicuidad que necesitan los servicios sHealth para recoger el tráfico de usuarios deslocalizados, por lo que formaría la red de acceso y la tecnología de fibra óptica de doble anillo DWDM se encargaría de transportar las altas cantidades de tráfico proveniente de la red de acceso, formando la red troncal.

La Figura 30 muestra un esquema de la arquitectura de la red global, que estaría formada por:

- Puerta de enlace óptica que conecta la MAN con la red WAN. Para evitar fallos, se deben implementar dos de estas puertas de enlace. En caso de que la puerta de enlace principal sea disfuncional, la secundaria garantizará el enrutamiento del tráfico a la WAN.

- Los nodos sHealth son responsables de agregar el tráfico de múltiples pasarelas de acceso (AGW) y de transportar parte de él a la WAN. Estos nodos están conectados entre sí siguiendo una topología de doble anillo.
- Las pasarelas de acceso (AGW) agregan el tráfico de las aplicaciones de los nodos sHealth, a través de un enlace óptico o 5G dependiendo del servicio sHealth.

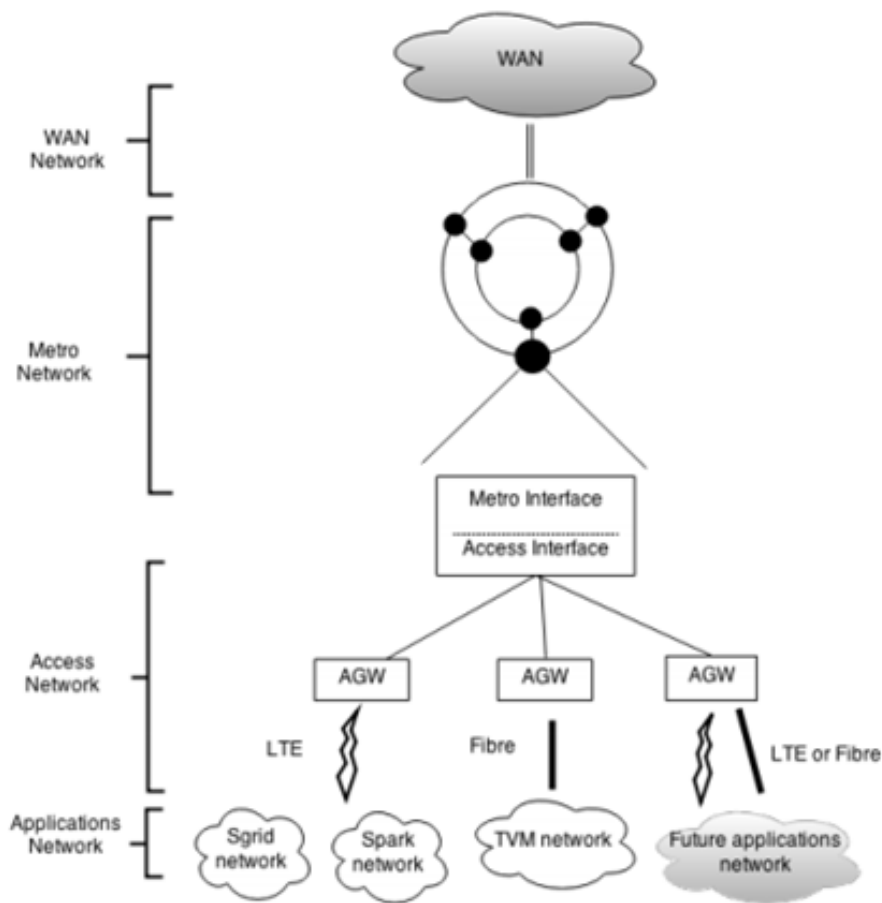


Figura 30: Arquitectura de red sHealth 5G-DWDM [80]

En la siguiente Figura 31 se muestra la arquitectura con la topología global, donde se puede observar la red troncal de fibra óptica do doble anillo DWDM y como esta recoge el tráfico proveniente de la red de acceso formada por torres 5G MIMO.



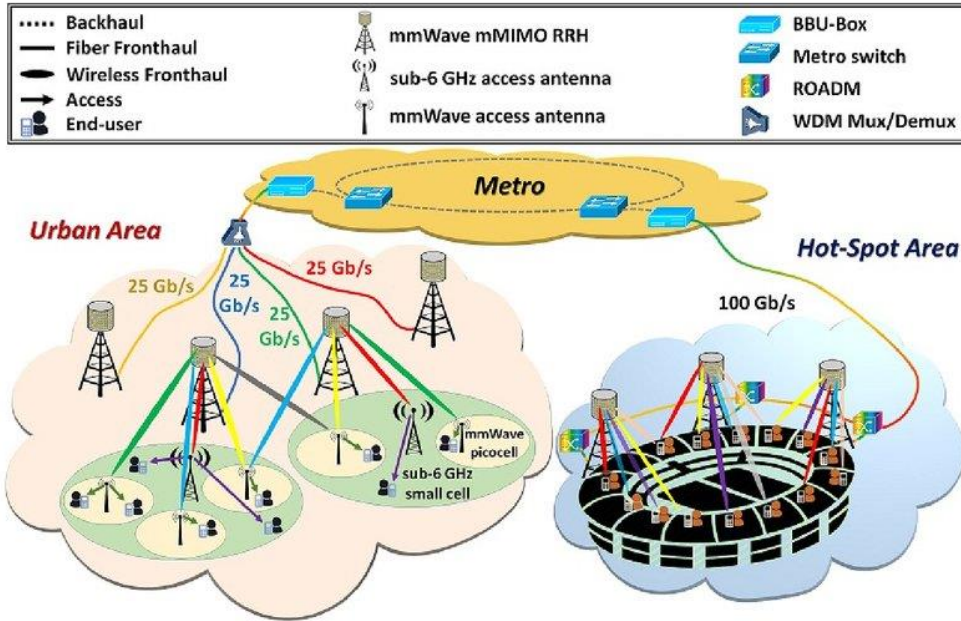


Figura 31: Arquitectura y topología de red sHealth 5G-DWDM [73]

### 5.3. Dimensionamiento de la red global 5G-DWDM

La elección del número de nodos puede basarse en diferentes factores, como el tráfico máximo que pueden retransmitir o las demandas especiales según la topología.

La Figura 32 muestra el mapa de la distribución de los centros sanitarios así como las zonas con mayor densidad de población recuadradas en naranja con el objetivo de poder construir la red troncal y de acceso.

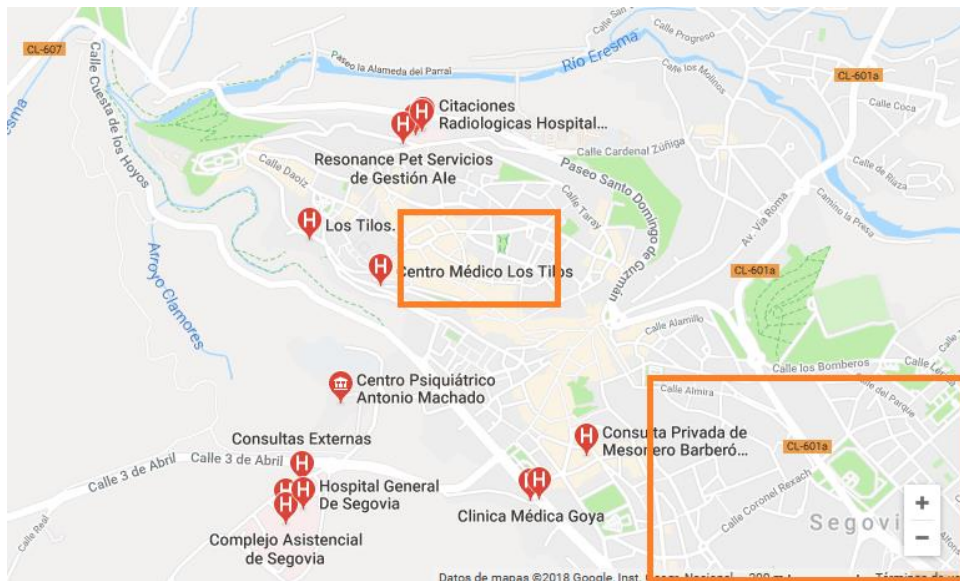


Figura 32: Mapa de centros asistenciales y distribución de población

La red troncal en el caso de Smart Cities y en particular para Servicios sHealth, debe proporcionar un alto grado de redundancia, conectividad y disponibilidad. La comparación de las diferentes topologías realizadas en apartados anteriores, dio lugar a la elección de una topología de doble anillo DWDM. Esta topología cumple con los requisitos de la red troncal, ofreciendo redundancia y disponibilidad al mismo tiempo con un menor coste y dificultad de implementación que los otros. Como se vio en el apartado de análisis de las tecnologías, los centros médicos y hospitales formarán la red troncal de fibra óptica de doble anillo DWDM llamados nodos sHealth, pero también estarán conectadas mediante fibra a las antenas troncales de 5G que forman la red de acceso y están destinadas a servir a todas las redes subyacentes. Esto significa que es necesario tener una conexión que sea capaz de transportar todo el tráfico para los nodos de los que será responsable. Por tanto teniendo en cuenta la Figura 32 se puede observar que tenemos 7 centros, considerando los aglomerados de varios centros como uno solo. Por tanto tendremos 7 nodos sHealth. Teniendo en cuenta la restricción de la topología de doble anillo: el número de nodos debe ser un número par, con seis como mínimo.

A continuación se analizará dónde ubicar las estaciones base 5G. Teniendo en cuenta que el máximo alcance con visión directa de una antena 5G es de aproximadamente 3km, utilizando sus torres para cubrir la ciudad de Segovia, que tiene 160Km<sup>2</sup> repartidos aproximadamente en un rectángulo de longitudes 10 y 16 Km, necesitaríamos en torno a 6 torres 5G para dar una cobertura de 25Gbps en la red de acceso, ya que es el throuhgput máximo hasta el momento de una antena 5G. Sin embargo se verá en el apartado siguiente que debido a las diferencias de tráfico de video del resto de servicios sHealth estas antenas se duplicarán, en cada uno de los 6 nodos seleccionados.

Teniendo en cuenta que las ubicaciones de los centros sanitarios tienen una posición estratégica las torres 5G se podrían establecer en 4 de estos centros, teniendo que instalar 2 en otros lugares para dar cobertura a las densidades de población más alta.

En la Figura 33 se muestran donde se instalarían las torres 5G MIMO y la red de fibra óptica troncal.

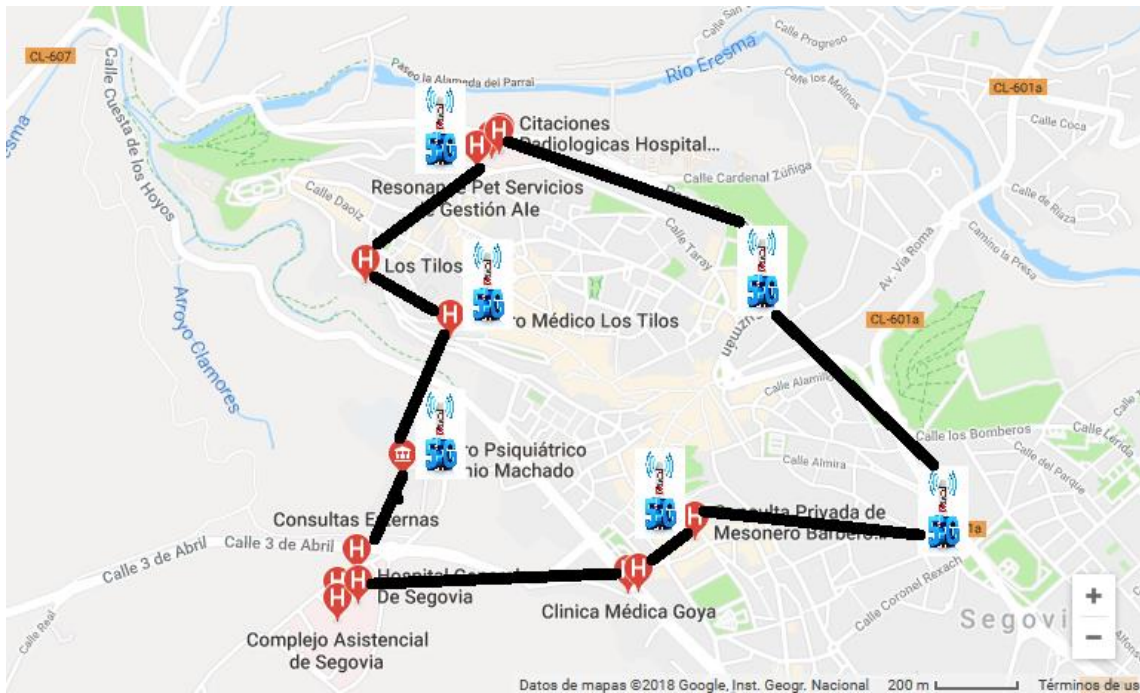


Figura 33: Red FO/5G para servicios sHealth en Smart city

Donde se puede observar que todos los centros sanitarios están conectados a través de fibra óptica, siendo estos los nodos de la red de anillo de fibra óptica y a su vez se aprovecha la ubicación de los centros sanitarios para instalar las antenas de la red de acceso, que también se conectan a la red troncal a través de fibra, con la suma de dos antenas más que forman en anillo troncal de fibra óptica, así como la red de acceso 5G.

### 5.3.1 Dimensionamiento de la red de acceso

Como se ha visto en el apartado de requisitos los servicios sHealth se van a proporcionar en un área metropolitana de 160 Km<sup>2</sup>, con una población aproximada de 50.000 habitantes. Si suponemos que en el mismo instante acceden a estos servicios de máximo throughput (100Mbps) los 50.000 habitantes necesitaríamos un throughput global de  $100\text{Mbps} \times 50.000\text{habitantes} = 5000\text{Gbps} = 5\text{Tbps}$ . Sin embargo esto es inalcanzable con las tecnologías actuales, las redes de fibra óptica alcanzan máximos de 1Tbps y las 5G de 25Gbps por antena. Por eso tendremos que hacer determinadas suposiciones teniendo en cuenta las limitaciones de estas tecnologías punteras. Si quisiésemos dar acceso a servicios sHealth que utilicen video, tendríamos que instalar unas 300 estaciones base 5G, lo cual sería muy costoso, además que la red de fibra óptica no lo soportaría, ya que alcanza un máximo de 1Tbps.

Debido a que los servicios de video que requieren este ancho de banda aún no están muy extendidos suponemos que podrían acceder en el mismo instante un 1% de la población, que equivaldría a  $50.000 \cdot 0.01 = 500$  habitantes. Teniendo en cuenta esto el throughput sería de  $5000\text{Gbps} \cdot 0.01 = 50\text{Gbps}$ . Por tanto el throughput máximo en la red de acceso sería de 50Gbps. Por tanto en cada nodo en las que están las antenas 5G necesitaríamos instalar 2 antenas, pudiendo aumentar el acceso a más usuarios mediante la instalación de más antenas en el futuro o la incorporación de nuevas tecnologías que admitan mayor throughput.

En el supuesto de que cada estación base MIMO 5G cubra 3 km, necesitaríamos alrededor de entre 1000 y 3000 small cells para cada torre, ya que cada small cell proporciona una cobertura de entre 100 y 300m, para poder ofrecer servicios sHealth de forma ubicua a toda la población. Las small cells se ubicarán teniendo en cuenta la densidad de población, utilizando más small cells en las zonas de mayor densidad señaladas en la Figura 32. En la siguiente Figura 34 se muestra un esquema de una pequeña área de small cells.

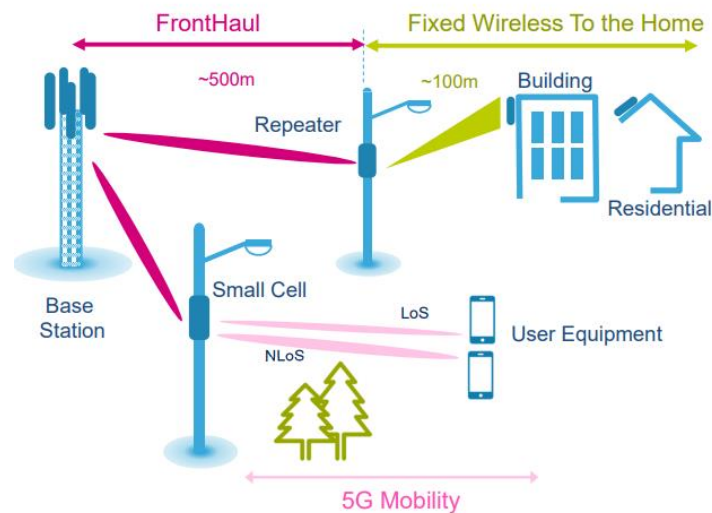


Figura 34: Esquema fronthaul

### 5.3.2. Dimensionamiento de la red troncal DWDM

Como se ha visto en apartados anteriores, se seleccionó un anillo doble DWDM para la red troncal y un enlace punto a punto DWDM entre los nodos sHealth y las pasarelas de acceso AGW (Access Gateway). En la siguiente Figura 35 se muestra un esquema de esta arquitectura muy general.

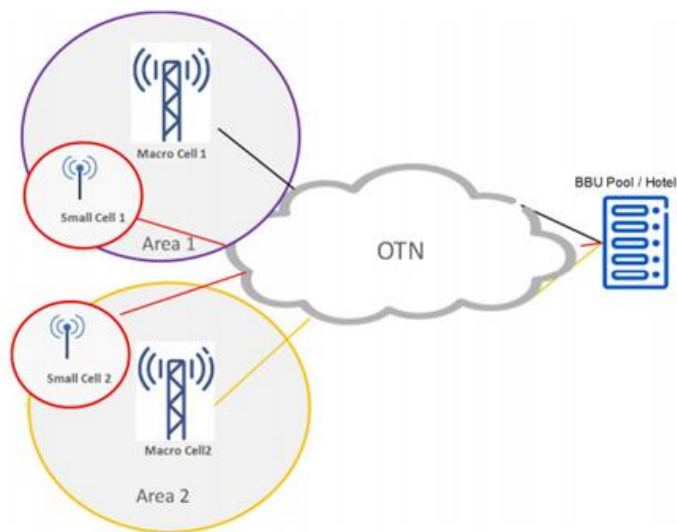


Figura 35: Esquema red troncal, backhaul y fronthaul [82]

### 5.3.2.1. Número de nodos

Los nodos sHealth se seleccionaron en cada uno de los hospitales señalados en la Figura 33, además de dos que soportan 2 estaciones base 5G aisladas, siendo en total nueve nodos sHealth los que forman el anillo. Se eligieron entre los nodos sHealth enlaces punto a punto DWDM de 600 Gbps de throughput, para garantizar los altos niveles de datos requeridos, que en nuestro caso serían los 60Gbps de cada antena (puesto que se consideran los 50Gbps del tráfico de video y 10Gbps de otros servicios sHealth) por los 9 nodos que hay, es decir  $9 \times 60 \text{ Gbps} = 540 \text{ Gbps}$ .

### 5.3.2.2. Componentes

En este apartado se analizarán los componentes necesarios para formar esta red, así como la viabilidad de los enlaces DWDM de la red troncal. Para diseñar los enlaces DWDM de capacidad 600Gbps y de longitud aproximada de  $26 \text{ Km} / 8 = 3.25 \text{ Km}$ , ya que se consideran los 8 tramos de fibra que hay entre los 9 nodos casi equiespaciados que conforman la red de fibra óptica de perímetro  $10 + 16 = 26 \text{ Km}$  que cubre la superficie de  $160 \text{ Km}^2$  de la ciudad, existen varias posibilidades, entre ellas, hacer 60 canales a 10 Gb/s o bien 6 canales a 100 Gb/s. Se van a evaluar estas opciones para ver cual sería la más adecuada.

Se considerará un espaciado entre canales de 50 GHz (0.4 nm) que se corresponde a las canalizaciones estándar DWDM establecidas por la ITU, que un amplificador

aplicará todos los canales y el margen de seguridad es de 10 dB de OSNR para tener en cuenta las degradaciones en todos los casos.

Para ello se tendrán en cuenta los siguientes componentes:

**Transmisor:**

- Transceptor de modulación de intensidad y detección directa a 10 Gb/s
  - Capacidad de codificar datos para corrección de errores (FEC)
  - Velocidad de transmisión 10 Gb/s neto (10:7 Gb/s bruto, incluyendo FEC)
  - BER máxima de 10<sup>-3</sup>
  - OSNR mínima de 7.6 dB
  - Sintonizable de acuerdo con el estándar DWDM con espaciado de 50 GHz establecido por la ITU
  - Potencia de emisión 3 dBm
  - Coste 1000 Euro
- Transceptor de detección coherente a 100 Gb/s
  - Capacidad de codificar datos para corrección de errores (FEC)
  - Velocidad de transmisión 100 Gb/s neto (120 Gb/s bruto, incluyendo FEC)
  - BER máxima de 2 x10<sup>-2</sup>
  - OSNR mínima de 10.1 dB
  - Sintonizable de acuerdo con el estándar DWDM con espaciado de 50 GHz establecido por la ITU
  - Potencia de emisión 3 dBm
  - Coste 20000 Euro

**Amplificador:**

- Amplificador de fibra dopada con Erblio
  - Potencia de entrada entre -36 dBm y -4 dBm
  - Ganancia variable de 4 dB a 36 dB
  - Máxima potencia de salida +23 dBm
  - Potencia de salida de saturación +26 dBm
  - Factor de ruido 5 dB
  - Longitud de onda de operación: 1530 nm hasta 1560 nm

- Coste 1500 Euro

#### **Fibras:**

- Fibra monomodo
  - Atenuación media de 0.25 dB/km
  - Dispersión de 17 ps/nm $\times$ km
  - Coste 1 Euro/m el cable de 8 fibras
- Fibra compensadora de dispersión:
  - Atenuación media de 0.4 dB/km
  - Dispersión de -100 ps/nm $\times$ km
  - Coste 3 Euro/m cada fibra

#### **Multiplexador/demultiplexador:**

- Arrayed Waveguide Grating (AWG)
  - Bidireccional: 1x60 canales / 60x1 canales
  - Canales de acuerdo con el estándar DWDM con espaciado de 50 GHz establecido por la ITU
  - Perdidas de inserción 3 dB
  - Coste 2000 Euro

#### **OADM**

- OADM (Optical Add Drop Multiplexer)
  - Bidireccional: 1x60 canales / 60x1 canales
  - Factor de ruido 10 dB
  - Coste 1800 Euro



### 5.3.2.3 Viabilidad del enlace

#### 5.3.2.3.1. Sistema detección directa IM/DD a 10Gb/s

En este sistema en el transmisor, a la salida del multiplexor la potencia de salida es de  $P_0=0\text{dBm}$  por canal. Esto es debido a que los multiplexores no introducen ruido y por tanto en transmisión sólo nos afecta en la atenuación que introducen y en recepción no afectan al valor de la OSNR. Para el caso de 60 canales de 10Gbps la OSNR objetivo es la suma de los 7.6 dB del transceptor más los 10 dB del margen de seguridad; es decir, 17.6 dB. Nosotros queremos que nuestra OSNR esté por encima de este valor, de manera que teniendo en cuenta que la OSNR viene dada por:

$$OSNR = \frac{P_{oN}}{F_n h \nu_0 L B_o}$$

Donde  $h$ ,  $\nu_0$ ,  $B_o$  son constantes dadas:

- $\nu_0=c_0/\lambda$ , son 193.5 THz (correspondientes a los 1550 nm)
- $B_o$  es el ancho de banda de medida de OSNR, (12.5 GHz, 0.1 nm)
- $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ , es la constante de Plank

Y por otro lado:

- $P_o = 10 \text{ mW}$  (0 dBm) es la potencia a la salida del multiplexor,
- $N$  es el número de tramos de fibra,
- $F_n = 3.16$  (5dB)+ 10 (10dB) = 13.16 es el factor de ruido de los amplificadores en lineal más la figura de ruido de los OADMs,
- $L$  son las pérdidas por tramo de fibra (también en lineal)

Por tanto, podemos variar los valores de  $N$  y  $L$  para conseguir la  $OSNR > 17.6 \text{ dB}$ . Si tomamos  $N = 8$  tramos de 26 km / 8 = 3.25 Km de fibra estándar para el peor caso de conexión en el que se pasa por los 9 nodos, necesitamos  $3.25 \cdot 17/100 = 0.55 \text{ Km}$  de fibra compensadora de dispersión por tramo, por lo que las pérdidas totales a considerar son  $L = 0.25 \cdot 3.25 + 0.4 \cdot 0.55 = 1.03 \text{ dB}$  (1.26 lineal), las cuales entran en los valores de los márgenes de operación del EDFA especificado y también entra dentro de estos márgenes la potencia de entrada a cada amplificador que sería de -8.26 dBm.

Con estos valores la OSNR se podría calcular como sigue:



$$\text{OSNR} = 1 \times 10^{-3} \times 8 / 13.16 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 193.5 \times 10^{12} \times 1.26 \times 12.5 \times 10^9 = 8 / 13.16 \times 6.63 \times 10^{-10} \times 193.5 \times 1.26 \times 12.5 = 8 \times 10^{10} / 13.16 \times 6.63 \times 193.5 \times 1.26 \times 12.5 = 300856.25 \rightarrow 54.78 \text{ dB}$$

La OSNR es de 54.78 dB que es muy superior a la OSNR objetivo. Por tanto necesitamos, 2\*60 transceptores y 2 multiplexores para la transmisión y recepción, 8 tramos de 3.25 km de fibra estándar, 8 tramos de 0.55Km de fibra óptica compensadora de dispersión en doble sentido, 8 OADMs y 8 EDFAs siendo el coste total de  $120 \times 1000 + 2 \times 2000 + 8(3.25 \times 10^3 + 0.55 \times 10^3 + 1500 + 1800) = 180800$  euros.

#### 5.5.2.3.2. Sistema coherente a 100 Gb /s

Empezamos teniendo en cuenta las pérdidas de multiplexor considerando  $P_0 = 0 \text{ dBm}$ . De esta manera la OSNR será de  $10.1 + 10 = 20.1 \text{ dB}$ . En este caso no hay que compensar la dispersión acumulada en cada tramo de la fibra de manera que las pérdidas por tramo de fibra son menores que en el caso de la detección directa. Si consideramos los amplificadores EDFA, variando la L y la N podemos encontrar un resultado para la OSNR que esté por encima ligeramente de los 20.1 dB

Tomando la  $F_n$  de los amplificadores EDFA de 5dB (3.16 en lineal) y la de los OADM de 10dB (10 en lineal) y teniendo en cuenta que son  $N = 8$  tramos de 26 km / 8 = 3.25Km de fibra estándar para el peor caso de conexión en el que se pasa por los 6 nodos, las pérdidas totales a considerar son  $L = 0.25 \times 3.25 = 0.81 \text{ dB}$  (1.2 lineal), las cuales entran en los valores de los márgenes de operación del EDFA especificado y también entra dentro de estos márgenes la potencia de entrada a cada amplificador que sería de -4.62 dBm.

Con estos valores la OSNR se podría calcular como sigue:

$$\text{OSNR} = 1 \times 10^{-3} \times 8 / 13.16 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 193.5 \times 10^{12} \times 1.2 \times 12.5 \times 10^9 = 8 / 13.16 \times 6.63 \times 10^{-10} \times 193.5 \times 1.2 \times 12.5 = 8 \times 10^{10} / 13.16 \times 6.63 \times 193.5 \times 1.2 \times 12.5 = 315899 \rightarrow 54.99 \text{ dB}$$

La OSNR es de 54.99 que es superior a la OSNR objetivo. Por tanto necesitamos, 2\*60 transceptores y 2 multiplexores para la transmisión y recepción, 8 tramos de 3.25 km de fibra estándar, 8 OADMs y 8 EDFA, siendo el coste total de  $8 \times 20000 + 2 \times 2000 + 8(3.25 \times 10^3 + 1500 + 1800) = 212400$  euros.

Por tanto sería algo más caro y presenta una leve mejora OSNR un sistema con este tipo de detección que con la directa debido al mayor coste de los transceptores. Sin embargo puesto que la diferencia de coste no es muy grande y presenta una leve mejora de la OSNR se va a elegir este último método, también por lo que se explicará

en el apartado siguiente de asignación de longitudes de onda y de cara a su expansión.

#### 5.3.2.4. Plan de longitudes de onda

Si consideramos la opción de sistema coherente a 100Gbps tal y como se ha deducido en el apartado anterior y que, por tanto, cada nodo OADM tiene capacidad para 100Gbps (superior a los 60Gbps a la que hemos limitado cada nodo) necesitaremos una longitud de onda distinta por cada OADM, como son 9 nodos OADM se necesitarían 9 longitudes de onda para poder transmitir la capacidad máxima multiplexada, dejando un margen para ampliaciones futuras.

Para poder realizar la asignación de canales, se toma en cuenta la recomendación UIT-T G.694.1. En la Tabla 11, se indican algunas de las longitudes de onda de cada canal.

Las frecuencias centrales Nominal (THz) para separaciones de 50 GHz	Las frecuencias centrales Nominal (THz) para separaciones de 100 GHz	Central Nominal longitudes de onda (Nm)
196.10	196.10	1528.77
196.05		1529.16
196.00	196.00	1529.55
195.95		1529.94
195.90	195.90	1530.33
195.85		1530.72
195.80	195.80	1531.12
195.75		1531.51
195.70	195.70	1531.90
195.65		1532.29
195.60	195.60	1532.68
195.55		1533.07
195.50	195.50	1533.47
195.45		1533.86
195.40	195.40	1534.25
195.35		1534.64
195.30	195.30	1535.04
195.25		1535.43
195.20	195.20	1535.82
195.15		1536.22
195.10	195.10	1536.61
195.05		1537.00
195.00	195.00	1537.40
194.95		1537.79
194.90	194.90	1538.19

Tabla 11. Recomendación UIT-T G.694.1 para asignar lambdas [68]

Según esta recomendación se podría realizar la siguiente asignación de longitudes de onda a cada nodo mostradas en la Tabla 12.

Nodo	Longitud de onda
1	1528.77
2	1529.55
3	1530.33
4	1531.12
5	1531.90
6	1532.68
7	1533.47
8	1534.25
9	1535.04

Tabla 12. Longitudes de onda asignadas a la red sHealth

La razón para considerar estas longitudes de onda cerca de 1530 nm perteneciente a la banda C y no a la banda L, bandas en las que trabaja DWDM, es que alrededor de 1550 nm las pérdidas de cualquier fibra óptica son mínimas, según se puede observar en la Tabla 13 y la Figura 36.

Ventana	Banda (ITU-T)	$\lambda$ (nm)	Atenuac. típica (dB/Km)	Alcance (Km)	Costo opto-electrónica	Tipo fibra	Aplicaciones
1ª (años 70)		820-900	2,5	2	Bajo	MM	10M/Gb/10Gb Eth
2ª (años 80)	O	1260-1360	0,34	40-100	Medio	MM y SM	100M/Gb/10Gb Eth, SONET/SDH, CWDM
(años 00)	E	1360-1460	0,31 (LWP)	100	Alto	SM	CWDM
(años 00)	S	1460-1530	0,25	100	Alto	SM	CWDM
3ª (años 90)	C	1530-1565	0,2	160	Alto	SM	10Gb Eth, DWDM, CWDM
4ª (años 00)	L	1565-1625	0,22	160	Alto	SM	DWDM, CWDM
(años 00)	U	1625-1675				SM	

Tabla 13. Atenuación de Longitudes de onda en bandas C y L [71]

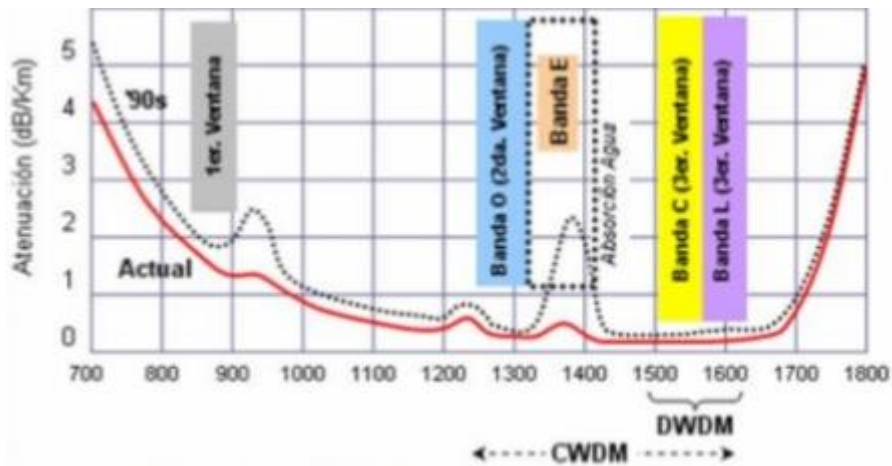


Figura 36: Gráfico de la atenuación de bandas C y L [72]

### 5.3.2.5. Redundancia

En las redes de anillo, tenemos diferentes estrategias de protección según si el anillo sea unidireccional o bidireccional

La estrategia BLSR/4 (Bidirectional Line Switching Ring / 4fibers) utiliza cuatro fibras para unir los nodos del anillo. Dos fibras están destinadas a trabajo (una para cada sentido, puesto que el enlace es bidireccional), y las otras dos, a protección (también una para cada sentido), lo cual sería adecuado para proporcionar redundancia a nuestro anillo. Se puede ver un esquema en la Figura 36.

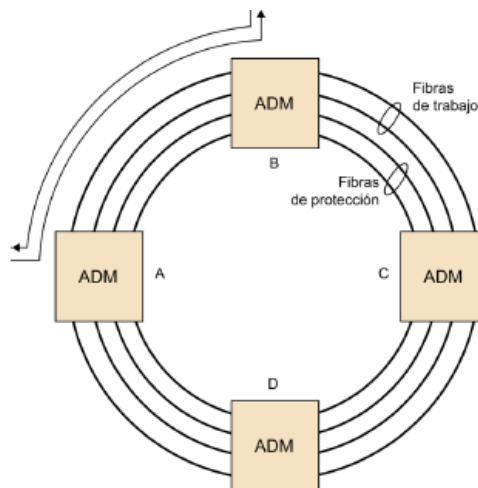


Figura 36: Esquema BLSR/4 [45]

En este sistema, basado en line switching, se pueden utilizar dos tipos de protecciones.

- Span protection: si se rompe una o las dos fibras de trabajo, se hace pasar la información por las fibras de protección, tal y como se muestra en la Figura 37.

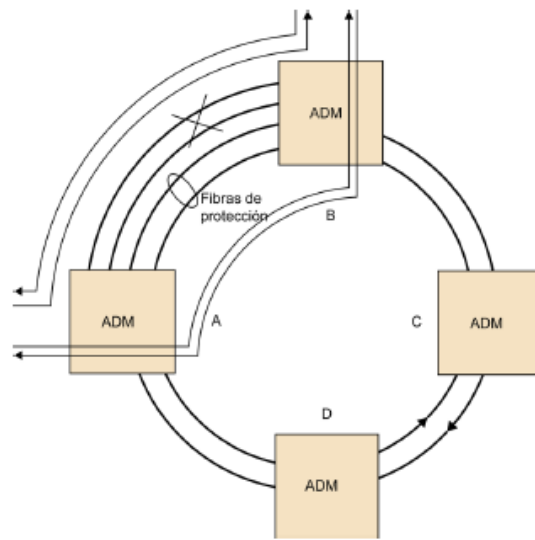


Figura 37: Span protection BLSR/4 [45]

- Line protection: si se rompen las fibras de trabajo y las fibras de protección, se restaura el anillo mediante las fibras de protección del resto del anillo, tal y como se muestra en la Figura 38.

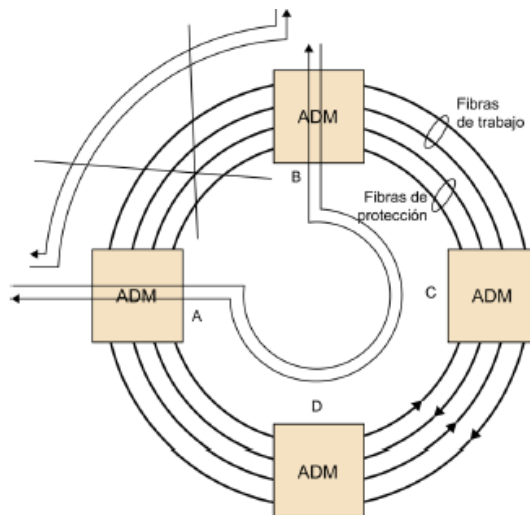


Figura 38: Line protection BLSR/4 [45]

## 6.Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un diseño preliminar de una red metropolitana 5G-DWDM para ofrecer servicios sHealth avanzados de forma ubicua y a todos sus habitantes en una ciudad de 5000 habitantes y 160km<sup>2</sup> como es la ciudad de Segovia.

Para llegar a este diseño preliminar, en primer lugar, se analizaron las características de estos servicios en cuanto QoS, para poder categorizarlos y limitar la tecnología a emplear. La principal conclusión derivada de este análisis fué que estos servicios requieren una latencia menor que 1ms y throughput máximos de 100Mbps, lo cual limita la tecnología de acceso.

A continuación, debido las características de ubicuidad se y a la limitación de la latencia de 1ms se descartaron tecnologías inalámbricas por no cumplir con el requisito de latencia, seleccionando la 5G por ser la única que cumple con este requisito. Por otro lado para la red troncal se llegó a la conclusión de que lo ideal era fibra óptica para soportar un tráfico global de 540Gbps para ofrecer servicios relacionados con el video al 1% de la población pero con posibilidades de rápido crecimiento a toda la población, es decir una capacidad global de 5Tbps. Ambas tecnologías fueron analizadas para poder realizar un diseño preliminar de la red global sHealth.

Tras estos análisis preliminares se pudo establecer el diseño preliminar de la red sHealth, estableciéndose la arquitectura híbrida 5G-DWDM, la topología, el número de nodos, tanto en la red de acceso 5G como en la troncal DWDM, la viabilidad de los enlaces, obteniéndose muy buenas relaciones de OSNR, la asignación de canales, así como el sistema BLSR4 de reducdancia.

Como trabajo futuro, para poder implantar este proyecto, sería necesario estudiar más detalladamente cada una de las partes específicas de la red, así como realizar simulaciones de tráfico para asegurar su funcionamiento en un escenario real. A continuación se presentan los trabajos futuros que podrían llevarse a cabo para poder implantar este proyecto.

Se podría mejorar la planificación de la fibra con dos tareas principales. La primera se relaciona con la decisión de interconexión donde la asignación del enlace dada la

topología de doble anillo se realizó manualmente. La segunda sería desarrollar un algoritmo de optimización con fibra o minimización de zanjas como objetivos. La tarea posterior sería mejorar los algoritmos de planificación de la red explotando los detalles y restricciones específicos del entorno. Esto también podría abarcar opciones de planificación, como proporcionar caminos separados o evitar las calles donde las zanjas pueden causar problemas al tráfico.

Por otro lado en relación con el dimensionamiento y previsión del tráfico, se podrían obtener resultados más precisos al analizar más en detalle aplicaciones sHealth. La previsión de tráfico es un parámetro esencial a considerar también para diseñar una red a prueba de futuro. En el proyecto, el dimensionamiento se realizó manualmente, en un escenario complejo, sin embargo, con muchos nodos puede surgir la necesidad de una herramienta automatizada. En relación con la elección de la topología de MAN, SQoS también debe considerarse como un factor importante al diseñar una red.

En cuanto al cálculo del rendimiento de la red relacionado con las métricas de rendimiento de la red, como la disponibilidad, la distancia media de salto, deberían calcularse y compararse con otras topologías. Antes de realizar un proyecto tan grande como la red híbrida de la ciudad, sería sensato evaluar el comportamiento en un entorno de simulación. Allí, las deficiencias de diseño se pueden identificar y resolver con bajo coste.

Finalmente sería recomendable realizar una planificación de la radio mediante la definición de esquemas de modulación que gobiernan el datarate, que dependen de la calidad del canal. La inclusión de esta información en el algoritmo de planificación de la radio llevaría a resultados más seguros.

## 7. Bibliografía

1. 5G & eHealth: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-White-Paper-on-eHealth-Vertical-Sector.pdf>
2. Deployment considerations. Capter 13, Ramaswami.
3. Medical applications on fiber-optics:  
<https://www.laserfocusworld.com/articles/2011/01/medical-applications-of-fiber-optics-optical-fiber-sees-growth-as-medical-sensors.html>
4. Seguridad en redes: [https://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Participacion/RespuestasPlan5G/10\\_Ayuntamiento\\_Bilbao.pdf](https://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Participacion/RespuestasPlan5G/10_Ayuntamiento_Bilbao.pdf)
5. Internet de las cosas IOT y salud centrada en el hogar:  
<http://www.scielo.org.co/pdf/sun/v32n2/v32n2a14.pdf>
6. eHealth Traffic Detection and Classification Using Machine Learning Techniques:  
[https://www.researchgate.net/publication/275038798\\_eHealth\\_Traffic\\_Detection\\_and\\_Classification\\_Using\\_Machine\\_Learning\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/275038798_eHealth_Traffic_Detection_and_Classification_Using_Machine_Learning_Techniques)
7. Analysis of QoS Requirements for e-Health Services and Mapping to Evolved Packet System QoS Classes:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4469784/>
8. A New Generation of e-Health Systems Powered by 5G:  
<https://www.wwrf.ch/files/wwrf/content/files/publications/outlook/Outlook17.pdf>
9. Smart Health: A Context-Aware Health Paradigm within Smart Cities:  
[https://www.researchgate.net/publication/265091720\\_Smart\\_Health\\_A\\_Context-Aware\\_Health\\_Paradigm\\_within\\_Smart\\_Cities](https://www.researchgate.net/publication/265091720_Smart_Health_A_Context-Aware_Health_Paradigm_within_Smart_Cities)
10. Global diffusion of e-Health:  
<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/252529/9789241511780-eng.pdf;jsessionid=87125C2E72CB2C844625F81B409C1CD1?sequence=1>
11. Tecnologías sanitarias H2020 Tendencias:  
[https://www.seeic.org/images/site/Presentaciones\\_electromedicina/Presentaciones/2\\_Carlos\\_Sisternas\\_H2020\\_Tendencias\\_eHealth\\_2015/SEEIC\\_H2020\\_Tendencias\\_eHealth\\_2015.pdf](https://www.seeic.org/images/site/Presentaciones_electromedicina/Presentaciones/2_Carlos_Sisternas_H2020_Tendencias_eHealth_2015/SEEIC_H2020_Tendencias_eHealth_2015.pdf)
12. Smart-health, Smart-city y Poder: La Vida del Nuevo Ciudadano:  
[https://www.researchgate.net/publication/293468112\\_Smart-health\\_Smart-city\\_y\\_Poder\\_La\\_Vida\\_del\\_Nuevo\\_Ciudadano](https://www.researchgate.net/publication/293468112_Smart-health_Smart-city_y_Poder_La_Vida_del_Nuevo_Ciudadano)



13. A journey towards smart health:  
[https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/lu/Documents/life-sciences-health-care/lu\\_journey-smart-health-digitalisation.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/lu/Documents/life-sciences-health-care/lu_journey-smart-health-digitalisation.pdf)
14. Smart health services:  
[https://www.researchgate.net/publication/275274958\\_Smart\\_healthcare\\_services\\_a\\_patient\\_oriented\\_cloud\\_computing\\_solution](https://www.researchgate.net/publication/275274958_Smart_healthcare_services_a_patient_oriented_cloud_computing_solution)
15. Smart health: improving health services within smart cities:  
<http://web.fdi.ucm.es/posgrado/conferencias/AgustiSolanias-slides.pdf>
16. Cómo crear un servicio de telemedicina:  
<https://www.actualidadmedica.es/archivo/2014/791/car03.html>
17. Marco de implementación de un servicio de telemedicina:  
<http://www.salud.gob.ar/telesalud/sites/default/files/marco-servicio-telemedicina.pdf>
18. w-Health Wearable technologies:  
<https://aunclidelastic.blogthinkbig.com/whealth-vestirse-de-salud/>
19. Utilidades de e-Health en el entorno del paciente:  
[https://www.sefh.es/sefhjornadas/38\\_1\\_Utilidad\\_de\\_la\\_EHEALTH.pdf](https://www.sefh.es/sefhjornadas/38_1_Utilidad_de_la_EHEALTH.pdf)
20. App para el diagnóstico de problemas en la piel:  
[https://www.abc.es/sociedad/abci-aplicacion-movil-permitira-diagnostico-problemas-piel-cualquier-punto-mundo-201611221906\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-aplicacion-movil-permitira-diagnostico-problemas-piel-cualquier-punto-mundo-201611221906_noticia.html)
21. <https://www.elmundo.es/salud/2014/04/28/535e8f67e2704e58568b456e.html>
22. [https://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/5G/Documents/plan\\_nacional\\_5g.pdf](https://www.mincotur.gob.es/telecomunicaciones/5G/Documents/plan_nacional_5g.pdf)
23. ¿Cuántas antenas puede soportar una ciudad?  
<https://www.xataka.com/alcatelmoviles/cuantas-antenas-puede-soportar-una-ciudad>
24. Aprobado el estándar final del 5G: el 5G real:  
<https://www.adslzone.net/2018/06/14/estandar-final-5g-sa/>
25. Antenas como faros para que el 5G llegue a buen puerto:  
<https://www.nobbot.com/destacados/antenas-faros-la-telefonía-5g-llegue-buen-puerto/>
26. Google tendrá smartband para medir el azúcar:  
<http://www.cioal.com/2015/12/08/google-tendra-smartband-para-medir-azucar/>
27. Medida de azúcar en sangre a través del smartwatch:  
[https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/gadgets/reloj-cuenta-azucar-sangre-necesidad-pincharte\\_2014072957f789280cf2fd8cc6aa9085.html](https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/gadgets/reloj-cuenta-azucar-sangre-necesidad-pincharte_2014072957f789280cf2fd8cc6aa9085.html)
28. Figura .Tráfico estimado VRAR para 2025:  
<http://www.redetelecom.es/mercado/noticias/1104762002103/realidad-virtual-y-aumentada-punto-de-mira-de-telco.1.html>
29. Figura10:  
[https://www.google.com/search?q=imagenes+fitbit+medida+azucar&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=-knA7QcO7I7S9M%253A%252C26y6wZiGNLLPmM%252C\\_&usg=AI4\\_-kSY5zR4sohY9XRn7aD4HIHGIPFPrw&sa=X&ved=2ahUKEwjuuNTz\\_PveAhWKVRUIHfuaDAoQ9QEwA3oECAAQCg#imgsrc=h6Sz1qkEWc1luM](https://www.google.com/search?q=imagenes+fitbit+medida+azucar&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=-knA7QcO7I7S9M%253A%252C26y6wZiGNLLPmM%252C_&usg=AI4_-kSY5zR4sohY9XRn7aD4HIHGIPFPrw&sa=X&ved=2ahUKEwjuuNTz_PveAhWKVRUIHfuaDAoQ9QEwA3oECAAQCg#imgsrc=h6Sz1qkEWc1luM)
30. Microsoft hololens: <https://www.microsoft.com/es-es/hololens>
31. Figura 11: <https://www.google.com/search?q=hololens&client=firefox-b-ab&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj->

- [trrP9\\_veAhWB\\_KQKHad4BW4Q\\_AUIDygC&biw=1354&bih=642#imgrc=5bywIB9MWAQT1M](http://trrP9_veAhWB_KQKHad4BW4Q_AUIDygC&biw=1354&bih=642#imgrc=5bywIB9MWAQT1M)
32. Figura 12: <https://blogs.windows.com/devices/2015/11/11/meet-the-award-recipients-of-the-first-microsoft-hololens-academic-research-grants/>
  33. Figura 6: 5G: A technology vision –Huawai
  34. Figura13: Cronograma de desarrollo 5G: [http://www.3gpp.org/images/5g\\_timeline\\_int2020.jpg](http://www.3gpp.org/images/5g_timeline_int2020.jpg)
  35. Número de antenas por km: <https://www.adslzone.net/2018/05/03/video-instalacion-antenas-5g/>
  36. Antenas MIMO 5G: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v11n2/v11n2a19.pdf>
  37. Figura 7: smallcell en 5G: [https://www.google.com/search?q=small+cells&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=XQ4C4wxOv7DtEM%253A%252CfrXvpD9m7xhAbM%252C\\_&usg=AI4\\_-kSQb3foxN2EEKbkXFO86A1bSFpatg&sa=X&ved=2ahUKEwjVr4LcoPzeAhXsTxUIHTQIBQgQ\\_h0wD3oECAQOCg#imgrc=NwDhVT5pFaf8mM:](https://www.google.com/search?q=small+cells&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=XQ4C4wxOv7DtEM%253A%252CfrXvpD9m7xhAbM%252C_&usg=AI4_-kSQb3foxN2EEKbkXFO86A1bSFpatg&sa=X&ved=2ahUKEwjVr4LcoPzeAhXsTxUIHTQIBQgQ_h0wD3oECAQOCg#imgrc=NwDhVT5pFaf8mM:)
  38. Figura 8: tecnología small cell. [https://www.google.com/search?q=small+cells&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=XQ4C4wxOv7DtEM%253A%252CfrXvpD9m7xhAbM%252C\\_&usg=AI4\\_-kSQb3foxN2EEKbkXFO86A1bSFpatg&sa=X&ved=2ahUKEwjVr4LcoPzeAhXsTxUIHTQIBQgQ\\_h0wD3oECAQOCg#imgrc=XQ4C4wxOv7DtEM:](https://www.google.com/search?q=small+cells&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=XQ4C4wxOv7DtEM%253A%252CfrXvpD9m7xhAbM%252C_&usg=AI4_-kSQb3foxN2EEKbkXFO86A1bSFpatg&sa=X&ved=2ahUKEwjVr4LcoPzeAhXsTxUIHTQIBQgQ_h0wD3oECAQOCg#imgrc=XQ4C4wxOv7DtEM:)
  39. Figura 9: estructura de una macrocélula: [https://www.google.com/search?q=backhaul&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=8zJ-xvI3ft8AHM%253A%252C6FOyjKgTjlt9IM%252C\\_&usg=AI4\\_-kRmFOq3\\_mqV4IS0BG43jbXc7JpTPg&sa=X&ved=2ahUKEwjluPyZo\\_zeAhUB\\_aQKHc-TBmEQ\\_h0wGXoECAIQDA#imgdii=5Y1eOEYNx5E7KM:&imgrc=8zJ-xvI3ft8AHM:](https://www.google.com/search?q=backhaul&client=firefox-b-ab&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=8zJ-xvI3ft8AHM%253A%252C6FOyjKgTjlt9IM%252C_&usg=AI4_-kRmFOq3_mqV4IS0BG43jbXc7JpTPg&sa=X&ved=2ahUKEwjluPyZo_zeAhUB_aQKHc-TBmEQ_h0wGXoECAIQDA#imgdii=5Y1eOEYNx5E7KM:&imgrc=8zJ-xvI3ft8AHM:)
  40. Espectro 5G: <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2017/02/Espectro-5G-Posici%C3%B3n-de-la-GSMA-sobre-pol%C3%ADticas-p%C3%BAblicas.pdf>
  41. El 5G transformará las telecomunicaciones tal y como las conocemos: <https://www.xataka.com/tecnologiazen/el-5g-transformara-las-telecomunicaciones-tal-y-como-las-conocemos>
  42. Sistemas MIMO Masivo: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v11n2/v11n2a19.pdf>
  43. [https://www.itu.int/en/ITU-D/Documents/ITU\\_5G\\_REPORT-2018.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Documents/ITU_5G_REPORT-2018.pdf)
  44. Redes de fibra: <http://www.thefoa.org/ESP/Diseno.htm>
  45. Apuntes y PECs de la asignatura Comunicaciones ópticas de la UOC
  46. Despliegue de red de fibra óptica hasta el hogar: [https://lasnavasdelmarques.es/public/files/catpages\\_pages-816-att-838-plandespliegueftth.3HM.pdf](https://lasnavasdelmarques.es/public/files/catpages_pages-816-att-838-plandespliegueftth.3HM.pdf)
  47. Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica: [http://oa.upm.es/33869/1/PFC\\_jaime\\_prieto\\_zapardiel.pdf](http://oa.upm.es/33869/1/PFC_jaime_prieto_zapardiel.pdf)
  48. Fiber –Wireless Convergence in Next-Generation Communication Networks: [https://books.google.es/books?id=PZPZDQAAQBAJ&pg=PA397&lpg=PA397&dq=otn+5g&source=bl&ots=zqTO2X-xtl&sig=FT9GLkubAYyTZ0VHtx9a36RyDw0&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiew5Lg09LfAhVTBWBHRL\\_Blo4MhDoATAAegQIARAB#v=onepage&q=otn%205g&f=false](https://books.google.es/books?id=PZPZDQAAQBAJ&pg=PA397&lpg=PA397&dq=otn+5g&source=bl&ots=zqTO2X-xtl&sig=FT9GLkubAYyTZ0VHtx9a36RyDw0&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiew5Lg09LfAhVTBWBHRL_Blo4MhDoATAAegQIARAB#v=onepage&q=otn%205g&f=false)
  49. Leading to LTE IoT evolution to connect the massive Internet of Things: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/whitepaper-leading-the-lte-iot-evolution-to-connect-the-massive-internet-of-things.pdf>
  50. Small Cell Networks and the Evolution of 5G: <https://www.gorvo.com/design-hub/blog/small-cell-networks-and-the-evolution-of-5g>

51. 5G small-cell networks leveraging optical technologies with mm-wave massive MIMO and MT-MAC protocols: <http://ikee.lib.auth.gr/record/297265/files/5G%20small-cell%20networks%20leveraging%20optical%20technologies%20with%20mm-wave%20massive%20MIMO%20and%20MT-MAC%20protocols.pdf>
52. Masive MIMO: <https://www.allaboutcircuits.com/news/sprints-bid-to-have-5g-in-2019-using-massive-mimo/>
53. 5G explained-how 5G Works: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>
54. Figura 1: Electronic Healthcare: <https://www.shutterstock.com/es/image-vector/electronic-healthcare-ehealth-background-vector-illustration-651777256?src=vOQmFLhJ4FfbSO5MWKpBIg-1-0>
55. La ruta hacia las smart cities: [https://books.google.es/books?id=NR9vDwAAQBAJ&pg=PA624&lpg=PA624&dq=smart+city+5g+otn&source=bl&ots=nJxOOD-0RN&sig=bzgpsXIngRFTsrnfRdE2fZ9vgwc&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjxsZ-TI9LfAhUyluAKHU\\_bBF84ChDoATADegQIBxAB#v=onepage&q=smart%20city%205g%20otn&f=false](https://books.google.es/books?id=NR9vDwAAQBAJ&pg=PA624&lpg=PA624&dq=smart+city+5g+otn&source=bl&ots=nJxOOD-0RN&sig=bzgpsXIngRFTsrnfRdE2fZ9vgwc&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjxsZ-TI9LfAhUyluAKHU_bBF84ChDoATADegQIBxAB#v=onepage&q=smart%20city%205g%20otn&f=false)
56. Ciudad de Segovia: <https://www.google.com/maps/>
57. A future proof optical network infrastructure for 5g transport: [https://www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/a\\_future\\_proof\\_optical\\_network\\_infrastructure\\_for\\_5g\\_transport.pdf](https://www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/a_future_proof_optical_network_infrastructure_for_5g_transport.pdf)
58. RF and SOI technologies for 5G: <http://soiconsortium.eu/wp-content/uploads/2018/08/RF-and-SOI-technologies-for-5G-deployment-version-for-release.pdf>
59. Migration towards next generation optical access and transport networks: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1094888/FULLTEXT02.pdf>
60. Redes de transporte óptico: <https://media.ciena.com/documents/Ciena+Experts+Guide+to+OTN+es+LA.pdf>
61. Estudio de la interoperabilidad entre distintos equipamientos DWDM: <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/613/Trabajo%20Especializaci%C3%B3n%20PS%20vbeta%20Corregido.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
62. Diseño e implementación de una red metropolitana usando DWDM: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/5922/1/fdeherasTFC0111.pdf>
63. Diseño de una red OTN soportada en la red de transporte DWDM para CELEC ep-EP-TRANSELECTRIC: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1947/1/04%20RED%20025%20%20ARCHIVO%20T%C3%89CNICO.pdf>
64. Sprint's Bid to have 5G in 2019 using Massive MIMO: <https://www.allaboutcircuits.com/news/sprints-bid-to-have-5g-in-2019-using-massive-mimo/>
65. 5G explained. How 5G works: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916>
66. Tecnología WDM: <https://www.monografias.com/trabajos103/tecnologia-wdm/tecnologia-wdm.shtml>
67. Introduction to DWDM technology: [https://www.cisco.com/c/dam/global/de\\_at/assets/docs/dwdm.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/de_at/assets/docs/dwdm.pdf)
68. NGN: tecnología WDM: [https://www.tutorialspoint.com/es/ngn/ngn\\_wdm\\_technology](https://www.tutorialspoint.com/es/ngn/ngn_wdm_technology)

69. Estudio para el proceso de migración de SDH a DWDM de una red de fibra óptica:  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6961/1/T-ESPE-047100.pdf>
70. Multiplexación por división de longitud de onda WDM:  
[http://www.coimbraweb.com/documentos/opticas/8.8\\_wdm.pdf](http://www.coimbraweb.com/documentos/opticas/8.8_wdm.pdf)
71. Redes ópticas: <https://slideplayer.es/slide/10218590/release/woothee>
72. Sistemas de conmutación. Múltiplex por división de longitud de onda WDM:  
<https://es.slideshare.net/fernandomendioroz/introduccion-a-wdm-y-otn>
73. 5G small cells networks leveraging optical technologies with mm-wave massive MIMO and MT-MAC protocols: <http://ikee.lib.auth.gr/record/297265/files/5G%20small-cell%20networks%20leveraging%20optical%20technologies%20with%20mm-wave%20massive%20MIMO%20and%20MT-MAC%20protocols.pdf>
74. Estudio para la integración de la técnica de multiplexación DWDM:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/41463727.pdf>
75. Telemedicine and E-Health Services, Policies, and Applications  
<https://books.google.es/books?id=Q4a85pOaarQC&pg=PA193&lpg=PA193&dq=servicios+eHealth+latencia&source=bl&ots=q2aIhZLbmX&sig=yFm-TtSifc3CvoKWfzu5AfRb52A&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwilzr-ji9ffAhXrAWMBHVdmDhQQ6AEwBnoECAMQAO#v=onepage&q=servicios%20eHealth%20latencia&f=false>
76. Figura 6 :Enhanced mobile broadband:  
[https://www.google.com/search?q=enhanced+mobile+broadband&client=firefox-b-ab&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVhPXSnvfAhUOcBQKHxnmCo0Q\\_AUIDigB&biw=1366&bih=654#imgrc=\\_7wQ7Gaj7Chk2M](https://www.google.com/search?q=enhanced+mobile+broadband&client=firefox-b-ab&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVhPXSnvfAhUOcBQKHxnmCo0Q_AUIDigB&biw=1366&bih=654#imgrc=_7wQ7Gaj7Chk2M)
77. Figura 7: Expected VRAR impact on telco network network traffic by 2025:  
[https://www.google.com/search?q=expected+VRAR+impact+on+telco&client=firefox-b-ab&tbn=isch&source=iu&ictx=1&fir=gKvMb6A9M6XeXM%253A%252CbsayBH-Lb7bN\\_M%252C\\_&usg=AI4-kQn0Y\\_8H8M6JZKgW8qC5KuUXIXV2g&sa=X&ved=2ahUKEwiq4J\\_QoOvfAhUMFRQKHVLuCRcQ9QEwAnoECAQQBA#imgrc=gKvMb6A9M6XeXM](https://www.google.com/search?q=expected+VRAR+impact+on+telco&client=firefox-b-ab&tbn=isch&source=iu&ictx=1&fir=gKvMb6A9M6XeXM%253A%252CbsayBH-Lb7bN_M%252C_&usg=AI4-kQn0Y_8H8M6JZKgW8qC5KuUXIXV2g&sa=X&ved=2ahUKEwiq4J_QoOvfAhUMFRQKHVLuCRcQ9QEwAnoECAQQBA#imgrc=gKvMb6A9M6XeXM)
78. Samsung presenta las antenas 5G que empezará a instalar:  
<https://www.adslzone.net/2018/07/16/samsung-antenas-5g-2018/>
79. Planificación y diseño de redes ópticas DWDM:  
[http://oa.upm.es/49901/1/PFC\\_SERGIO\\_CASTILLA\\_IBEAS.pdf](http://oa.upm.es/49901/1/PFC_SERGIO_CASTILLA_IBEAS.pdf)
80. Planning and design of a Smart Metro access network:  
<https://projekter.aau.dk/projekter/files/198541182/master.pdf>
81. 5G oriented optical transport network solution: [https://res-www.zte.com.cn/mediates/zte/Files/PDF/white\\_book/5G-oriented\\_Optical\\_Transport\\_Network\\_Solution.pdf?la=en](https://res-www.zte.com.cn/mediates/zte/Files/PDF/white_book/5G-oriented_Optical_Transport_Network_Solution.pdf?la=en)
82. Migration towards next generation optical access and transport networks:  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1094888/FULLTEXT02.pdf>

## 8. Glosario

ADM	Add- Drop Multiplexer, Multiplexador de adición-caída
AGW	Access Gateway, Pasarelas de acceso
AWG	Arrayed Waveguide Grating, Multiplexor/Demultiplexor óptico en sistemas WDM
BER	Bit Error Rate, Tasa de error de bit
BLSR/4	Bidirectional Line Switching Ring / 4 fibers
CNMV	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
CPD	Centro de Proceso de Datos
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por división de longitud de onda gruesa
DWDM	Dense WDM, Multiplexación densa de división de longitud de onda
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier, Amplificador de fibra dopada con erbio
e-Health	electronic Health
e-ROADM	Extended Reconfigurable Optical Add Dropp Multiplexer
FEC	Forward Error Correction, Mecanismo de corrección de errores que permite su corrección en el receptor sin retransmisión de la información original
FOADM	Fixed Optical Add Dropp Multiplexer
HD	High Definition Alta definición
HPC	High Performance computing, Computación de alto rendimiento
m-Health	mobile-Health, salud móvil.
IM/DD	Intensity Modulation and Direct Detection, Modulación de intensidad y detección directa
IoT	Internet Of Things, Internet De las Cosas
IP	Internet Protocol, protocolo de internet
ITU-T	International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones. Sector de para la estandarización de las telecomunicaciones
L-MIMO	Large MIMO
LTE	Long Term Evolution
LTE-4G	Long Term Evolution 4G
MAN	Metropolitan Area Network, Red de Area Metropolitana
MIMO	Multiple Input-Multiple Output
M-MIMO	Massive MIMO
MRI	Magnetic Resonance Imaging, Imagen por resonancia magnetic
OADM	Optical Add- Drop Multiplexer, Multiplexador óptico de adición-caída
OLA	Optical Line Amplifier, amplificador lineal óptico
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio, Relación señal a ruido óptica
OSP	Fibra Óptica de planta externa
OTN	Optical Transport Network, Red de transporte óptica
QoS	Quality of Service, Calidad de servicio

ROADM Reconfigurable Optical Add Dropp Multiplexer  
s-Health Smart Health, Sanidad inteligente.  
SONET Synchronous Optical NETwork, Red Óptica Síncrona  
SDH Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Síncrona  
TIC Tecnologías de la Información y las Comunicaciones  
UDWDM Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing  
UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones  
USG Ultra Sonography, Ultra sonograma  
VoIP Voice over IP, Voz sobre IP  
VRAR Virtual and Augmented Reality, Realidad Virtual o Aumentada  
WAN Wide Area Network, Red de Area Amplia  
WDM Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por Longitud de Onda  
WiMax Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad mundial para acceso por microondas  
WSS ROADM Wavelength Selective Switch Reconfigurable Optical Add-Dropp Multiplexer  
4G 4th Generation of mobile networks  
5G 5th Generation of mobile networks