

# Diseño de un sistema de captación y tratamiento de datos sanitarios con fines de investigación

**Marta Herranz Pascual**

Máster de Ingeniería de Telecomunicación (plan 2017)  
Sistemas de comunicación

**Raúl Parada Medina**

**Carlos Monzo Sánchez**

Enero 2020



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

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	<i>Diseño de un sistema de captación y tratamiento de datos sanitarios con fines de investigación</i>
<b>Nombre del autor:</b>	<i>Marta Herranz Pascual</i>
<b>Nombre del consultor/a:</b>	<i>Raúl Parada Medina</i>
<b>Nombre del PRA:</b>	<i>Carlos Monzo Sánchez</i>
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	01/2020
<b>Titulación:</b>	<i>Máster de Ingeniería de Telecomunicación (plan 2017)</i>
<b>Área del Trabajo Final:</b>	<i>Sistemas de comunicación</i>
<b>Idioma del trabajo:</b>	<i>Español</i>
<b>Palabras clave</b>	<i>eHealth, WBAN, Blockchain</i>
<p><b>Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras):</b> <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.</i></p>	
<p>Existen múltiples propuestas de diseños para la captación de información de carácter sanitario y su tratamiento. Sin embargo, en su gran mayoría el objetivo es el de proporcionar un método que facilite el trabajo de los especialistas en el modo en que se realiza hoy en día.</p> <p>Este proyecto va un paso más allá persiguiendo escapar de patrones o pasos preestablecidos a seguir, buscando información y analizándola para aportar un aspecto investigativo a estas labores.</p> <p>El diseño propuesto se centra en la captación de distintos parámetros fisiológicos de distintos perfiles de usuario que permitan realizar un análisis estadístico de los mismos que se proporcione a los especialistas, fomentando la investigación de enfermedades no comunes y/o conseguir nuevos patrones que sirvan de ayuda, ya sea para la investigación de una enfermedad desconocida o para añadir información que hasta ese momento no fuese conocida sobre otras enfermedades más comunes. Para ello se diseñará un sistema de comunicación entre pacientes y centros de investigación, ya sea a través de dispositivos <i>wearables</i> usados por los pacientes o con las herramientas de los propios centros de investigación.</p> <p>Se ha desarrollado una solución que pasa por el diseño de una red de comunicaciones inalámbrica que permita la compartición de datos fisiológicos de pacientes entre centros de investigación de forma segura. Para ello se utilizarán en el diseño redes WBAN, WLAN y 5G y, además, para asegurar la confidencialidad y la anonimidad de los datos se integrará en el sistema <i>Blockchain</i>.</p>	

**Abstract (in English, 250 words or less):**

There are multiple design proposals for the collection of health information and its treatment. However, for the most part the objective is to provide a method that facilitates the work of specialists in the way it is done today.

This project goes one step further in order to escape from preset patterns or steps to follow, seeking information and analyzing it to provide an investigative aspect to these tasks.

The proposed design focuses on the capture of different physiological parameters of different user profiles that allow a statistical analysis of them to be provided to specialists, encouraging the investigation of uncommon diseases and / or getting new patterns that help , either for the investigation of an unknown disease or to add information that until that moment was not known about other more common diseases. For this, a communication system between patients and research centers will be designed, either through wearable devices used by patients or with the tools of the research centers themselves.

A solution has been developed that involves the design of a wireless communications network that allows the sharing of physiological data of patients between research centers in a secure way. For this, WBAN, WLAN and 5G networks will be used in the design and, in addition, to ensure the confidentiality and anonymity of the data, it will be integrated into the *Blockchain* system.

# Índice

1. Introducción	1
1.1 Contexto y justificación del Trabajo	1
1.2 Objetivos del Trabajo	3
1.3 Enfoque y método seguido	3
1.4 Planificación del Trabajo	4
1.5 Breve resumen de productos obtenidos	6
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria	8
2. Estado del arte	9
3. Diseño	18
3.1. Esquema general de diseño	18
3.1.1. Redes WBAN	20
3.1.2. Redes WLAN como conexión a la red 5G.	26
3.1.3. Redes 5G de comunicación entre bloques	29
3.2. Análisis de la solución propuesta para el sistema de comunicación entre pacientes y un centro de investigación.	33
3.2.1. Primera fase	33
3.2.2. Segunda fase	42
3.2.2.1. Subsistema 1: Captación y recopilación de la información	45
3.2.2.2. Subsistema 2: Captación y recopilación de la información	48
3.2.2.3. Subsistema 3: Envío de los resultados obtenidos a los sistemas de muestra de información	49
3.2.2.4. Revisión de los requerimientos planteados en la fase 1	50
3.3. Análisis de la escalabilidad del sistema hacia la solución global.	51
3.3.1. Primera fase	52
3.3.2. Segunda fase	55
3.4. Seguridad en el sistema: Integración de Blockchain	58
4. Conclusiones	66
5. Líneas futuras	69
6. Glosario	71
7. Bibliografía	72
8. Anexos	75
8.1. Anexo 1: Breve estudio de los dispositivos <i>wearables</i> de mercado	75

## Lista de figuras

Ilustración 1. Planificación temporal	5
Ilustración 2. Desglose de la PEC3 de la planificación temporal del proyecto	5
Ilustración 3 Esquema de un centro de investigación	6
Ilustración 4 Esquema de la comunicación entre varios centros de investigación	7
Ilustración 5 Número de países con políticas o estrategias de UHC, eHealth, HIS y telemedicina, acumulativamente por año de adopción (1990-2015) Fuente: “Global diffusion of eHealth: making universal health coverage achievable. Report of the third global survey on eHealth (ISBN 978-92-4-151178-0)”	10
Ilustración 6 Esquema del sistema global	18
Ilustración 7 Esquema del diagrama de bloques de un centro de investigación	19
Ilustración 8 Esquema del diagrama de bloques del sistema con las comunicaciones de las redes WBAN resaltadas en azul	20
Ilustración 9 Esquema del diagrama de bloques del sistema con las comunicaciones de las redes WLAN resaltadas en azul	26
Ilustración 10 Esquema del diagrama de bloques del sistema con las comunicaciones de las redes 5G resaltadas en azul	29
Ilustración 11 Características de la tecnología 5G. Fuente <a href="http://datosmoviles5g.blogspot.com/2018/01/la-tecnologia-5g-esta-caracterizada-por.html">http://datosmoviles5g.blogspot.com/2018/01/la-tecnologia-5g-esta-caracterizada-por.html</a>	31
Ilustración 12 Diagrama de conexiones del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación	43
Ilustración 13 Diagrama de conexiones del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación	56
Ilustración 14 Resumen de casos de uso de <i>Blockchain</i> para la industria <i>Healthcare</i> . Fuente: healthit.gov; Frost & Sullivan	60
Ilustración 15 Pasos del funcionamiento de Blockchain. Fuente: Deloitte Tech Trends 2016, Blockchain: Democratized Trust	63

## Lista de tablas

Tabla 1 Resumen de las principales aplicaciones de las redes WBAN según el tipo de nodos utilizados <sup>[11]</sup>	13
Tabla 2 Proyectos con redes WBAN <sup>[11]</sup>	14
Tabla 3 Comparación del proyecto de esta memoria con los proyectos de la Tabla 2	15
Tabla 4 Comparación de las distintas tecnologías que se pueden utilizar en las redes WBAN	24
Tabla 5 Listado de servicios del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación, con sus respectivas fuentes de datos	36
Tabla 6 Características de las fuentes de datos del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación	37
Tabla 7 Listado de requisitos y especificaciones del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación	38
Tabla 8 Requisitos de la capa física del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación	40
Tabla 9 Requisitos de la capa de acceso al medio del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación	41
Tabla 10 Actualización de la Tabla 7 con la revisión de los requisitos	50
Tabla 11 Actualización de la Tabla 8 con la revisión de los requisitos	50
Tabla 12 Listado de servicios del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación, con sus respectivas fuentes de datos	52
Tabla 13 Características de las fuentes de datos del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación	52
Tabla 14 Listado de requisitos y especificaciones del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación	53
Tabla 15 Requisitos de la capa física del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación	54
Tabla 16 Requisitos de la capa de acceso del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación	54
Tabla 17 Sensores más comunes en la industria del fitness <sup>[48]</sup>	77

# 1. Introducción

Para introducir al lector a lo largo de este capítulo se presenta el esquema seguido en la realización del proyecto.

En los puntos siguientes se pondrá en contexto al mismo y se detallarán los objetivos perseguidos junto con la especificación de la planificación temporal para conseguirlos, el desglose de la metodología y el enfoque seguidos para comprender mejor la solución propuesta.

## 1.1 Contexto y justificación del Trabajo

En los últimos años, la sociedad convive con los términos: IoT (*Internet of Things*), Big Data, inteligencia artificial, 5G, etc. Esto ya no es cosa del futuro, sino que es una realidad. El mundo está sufriendo una transformación digital. <sup>[1]</sup>

En el caso del sector sanitario esto no es menos y hoy en día se habla de *eHealth*, que incluye los servicios de atención de salud, la vigilancia y la documentación sanitarias, así como la educación, los conocimientos y las investigaciones en materia de salud. Este concepto se ve respaldado por tecnologías anteriores, ya que, gracias a la evolución de las mismas se consiguen muchos avances en el sector sanitario. Es por esto por lo que en el presente proyecto se trabajará con todos estos conceptos y a lo largo de su desarrollo se explicará la relación entre ellos.

Se ha analizado el camino a seguir para el desarrollo del proyecto evaluando inicialmente dos líneas posibles a estudiar dentro de este campo:

- Enfocarlo a nivel de instituciones como hospitales, centros de investigación, etc.
- Enfocarlo hacia usuarios, utilizando los dispositivos *wearables* para gimnasios, entrenamientos personales, equipos de fútbol, bomberos, etc.

Todos estos son temas a la orden del día. Hay muchas investigaciones y proyectos a nivel mundial para aplicar la tecnología a este sector en estas líneas, sin embargo, es complicado estandarizar los patrones a seguir en este campo. Existen multitud de enfermedades muy diferentes entre sí y además una misma no afecta por igual a todas las personas que la padecen. Aparte de los procedimientos actuales de tratamiento, las herramientas de soporte para los profesionales del sector no incluyen medios para incentivar la investigación o el estudio de otros factores que no estén contemplados. Por ejemplo, se está dando poca importancia a pruebas genéticas que son fundamentales en el estudio de enfermedades poco comunes.

Aquí es donde entra este trabajo. Se eligió la primera línea enfocándose principalmente en los centros de investigación. El objetivo principal no es conseguir un sistema más de captación de información de parámetros conocidos en los pacientes, sino que se pretende analizar las fuentes de

interés y con ello aportar más información para fomentar la investigación de enfermedades no comunes y/o conseguir nuevos patrones que sirvan de ayuda a los profesionales del sector, ya sea para la investigación de una enfermedad desconocida o para añadir información que hasta ese momento no fuese conocida sobre otras enfermedades más conocidas. Con esto se conseguirá un seguimiento más personalizado de los pacientes, ofreciéndoles a los especialistas de forma sencilla un análisis estadístico de otros factores que pudiesen ser de interés.

Así, en este proyecto se propondrá el diseño de un sistema de captación de datos/información de usuarios para los centros de investigación que a su vez se dividirá en dos líneas:

- Diseño de una sala con los instrumentos de medición necesarios en estos centros.
- Diseño de dispositivos de usuario o *wearables* de captación de información.

Con todo esto se conseguiría un sistema para investigadores y médicos para que puedan obtener información sobre pacientes con enfermedades que se salgan de los protocolos habituales a través de estas dos vías, la primera desde los centros específicos y la segunda, en el día a día de los pacientes. Además, se plantea una opción de voluntariado de forma que las personas que quieran adquirir los dispositivos *wearables* porque ahora "estén de moda" también permitan que sus datos lleguen a estos centros de investigación y, con ello, ayudar a la causa pudiéndose hacer comparaciones entre estas y otros pacientes. Estas personas tendrían que rellenar un perfil del tipo edad, género y distintos condicionantes para luego poder sacar estas estadísticas y comparaciones.

Para comprender la solución propuesta como diseño, es importante introducir aquí otro concepto: las redes WBAN o redes inalámbricas de área corporal compuestas por nodos sensores/actuadores que pueden implantarse dentro o fuera del cuerpo humano. Este último punto va a ser muy relevante durante la elección de las tecnologías que se puedan utilizar. Habrá fuertes restricciones por seguridad ya que el sistema diseñado tiene que ser inocuo y no afectar a la salud de los usuarios. También en este punto de elección de tecnologías es donde entran los conceptos de *IoT*, *Big Data* o *5G*.

Por último, en este tipo de diseños aparece el problema de la accesibilidad de los datos. Se van a manipular datos personales y, en muchos casos confidenciales, por lo que la seguridad de estos es esencial en este sector. En este proyecto se hará un estudio de la integración de *Blockchain* al sistema como solución a estos problemas.

En resumen, este trabajo propone el diseño teórico de un sistema para la captación y el tratamiento de varios parámetros fisiológicos que aporten la información necesaria para fomentar la investigación de nuevos factores y parámetros en el estudio de distintas enfermedades, ya sean o no comunes.

## 1.2 Objetivos del Trabajo

A continuación, se presentan los objetivos que persigue el trabajo:

- Diseñar un sistema de captación de datos que permita monitorizar parámetros fisiológicos con el fin de aportar información adicional a profesionales del sector para el estudio de enfermedades. Para ello este objetivo se subdivide en:
  - Diseño del subsistema del centro de investigación.
  - Diseño del subsistema particular de los usuarios/pacientes.
- Diseño de una red inalámbrica de comunicaciones.
- Escalar el diseño para almacenar, procesar y centralizar la información recopilada.
- Proporcionar seguridad a la red y confidencialidad a los datos utilizando *Blockchain*.

## 1.3 Enfoque y método seguido

Para asegurar la correcta elaboración de los distintos entregables, tomamos como referencia el marco de trabajo de PMBOK <sup>[2]</sup> en el que se interrelacionan las dimensiones planificación del tiempo, esfuerzo y alcance.

El objetivo de este proyecto es el de diseñar una red de captación y tratamiento de datos de carácter sanitario con fines de investigación. Esta tarea se puede abordar desde distintas perspectivas, desde un nivel global hasta profundizar en un diseño a nivel electrónico. En el presente proyecto se ha decidido cubrir a nivel global la solución, por lo que debido a la magnitud del alcance se ha decidido mantener su desarrollo a nivel teórico.

Con todo esto, el enfoque del proyecto será la compartición de datos fisiológicos de pacientes entre centros de investigación de forma segura. Se desarrollará una investigación de las distintas posibilidades del diseño recopilando datos principalmente de artículos científicos y académicos, aunque también se harán algunas breves referencias a industriales si se da el caso.

Para ello, se establecerá una metodología a seguir que consistirá en varias fases.

En un primer lugar, se realizará una investigación previa de las posibilidades del diseño con el objetivo de conseguir asimilar conocimientos complementarios a los adquiridos en los estudios, relacionados con el sector de trabajo. El objetivo de esta será el de recopilar la información necesaria para identificar la problemática del tema y los objetivos perseguidos.

Después, se realizará un estudio de las diferentes tecnologías de comunicación y seguridad. Haciendo una comparación entre estas posibilidades en relación con el problema planteado se conseguirá definir el diseño de la solución.

Con esto, se puede descomponer la tarea de diseño en dos subsecciones:

- Diseño del sistema de comunicación entre pacientes y centros de investigación.
- Integración de *Blockchain* como capa de seguridad en el sistema para aportar confiabilidad al mismo y la confidencialidad de los datos.

Para llevar a cabo el primer punto, a su vez este se subdividirá en varios subsistemas intercomunicados:

- Sistema de captación de información (WBAN)
- Sistema de procesamiento de información.
- Sistema de muestra de información.

En general, durante las diferentes fases expuestas en la metodología seguida se identificarán todos los aspectos relevantes del problema a resolver y se obtendrá una visión holística de la sección en cuestión, que permitirá hallar una o varias soluciones viables.

#### 1.4 Planificación del Trabajo

El proyecto consiste en realizar tareas de investigación para el diseño de este tipo de redes consiguiendo un producto y exponiendo el desarrollo a lo largo de esta memoria. Además, también se aportará una presentación del proyecto.

Estos resultados se irán consiguiendo durante varias etapas entregables, que se describirán en este punto de la memoria.

Para la elaboración de dichos entregables se emplearán fuentes de conocimiento al alcance del autor como son la web, los recursos electrónicos especializados, artículos científicos, industriales y/o académicos y libros. Al tratarse de un proyecto eminentemente teórico, estos elementos permitirán recolectar los datos necesarios para disponer de una bibliografía en la que basar el trabajo final.

En general, habrá 5 fases o etapas entregables a las que se referirá como PEC.

Primero se explica en qué consistirá cada una y los objetivos a conseguir y después se mostrará en un Diagrama de Gantt la planificación temporal:

- **PEC1:** Fase de definición de los aspectos fundamentales del trabajo. Se pretende documentar el alcance, la motivación, los objetivos y la metodología a emplear del proyecto. También se elaborará una planificación temporal del semestre que identifique la duración y las relaciones de dependencia entre las diferentes tareas del programa.
- **PEC2:** Redacción del estado del arte. Se realizarán tareas de investigación sobre otros proyectos tanto del ámbito académico como del industrial relacionados con la solución propuesta en este. Esta parte

se empleará como un análisis previo del tema a tratar con el fin de recopilar bibliografía, definir un marco conceptual y normativo de la disciplina y describir las aportaciones previas a dicha área de conocimiento.

- **PEC3:** Desarrollo del diseño. Se redactará un resumen técnico y detallado con toda la información relacionada con el producto para la comprensión de su diseño. Para ello se utilizarán de nuevo los recursos digitales y la bibliografía incluida en los anteriores entregables añadiéndose nueva información justificándose así el diseño, ya que este será teórico.
- **PEC4:** Redacción de la memoria. Se plasmará todo el trabajo realizado en los anteriores entregables en una memoria.
- **PEC5:** Defensa del proyecto. El autor se apoyará en una presentación y realizará un vídeo. En este entregable también se incluye la fase de preguntas por parte del tribunal.



Ilustración 1. Planificación temporal

Destacar aquí un desglose de las tareas relacionadas con la PEC3:

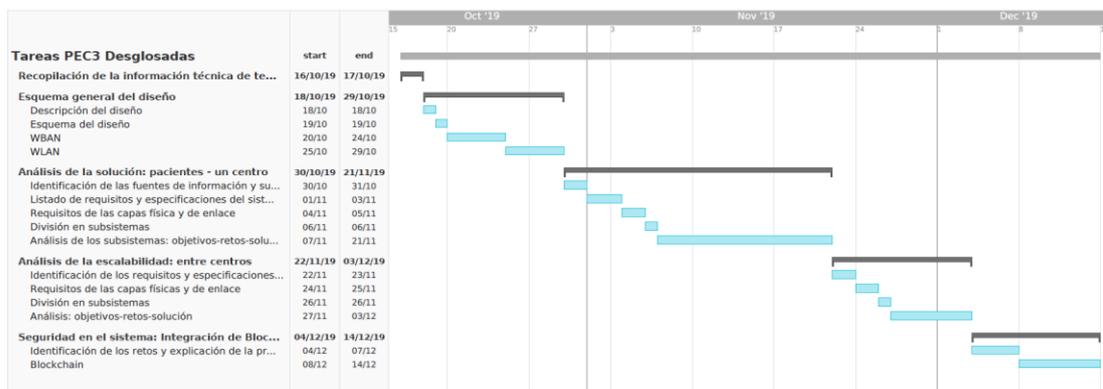


Ilustración 2. Desglose de la PEC3 de la planificación temporal del proyecto

## 1.5 Breve resumen de productos obtenidos

Como ya se ha dicho, en la comunicación de los pacientes con un centro de investigación, en principio el diseño de un sistema de captación y tratamiento de información se subdividirá en dos bloques funcionales:

- **Diseño de una sala en los centros de investigación.** Aquí se captará la información de los pacientes utilizando nodos sensores que midan los parámetros del usuario cuyo comportamiento se quiera estudiar. Se trataría de una sala "inteligente", que contenga varios instrumentos de medición que recopilen la información en un sistema.
- **Diseño de dispositivos de usuario.** El diseño de esta parte se enfocará al seguimiento en el día a día de esos pacientes y además permitirá añadir una línea de voluntariado.

Se presentará una solución teórica para cada uno de estos bloques funcionales. Así, cada uno de ellos abordará el diseño de una red inalámbrica de nodos sensores/actuadores que capten la información de los distintos parámetros fisiológicos que se quieran medir que se comuniquen con un sistema central que almacene la información. Ambos sub-bloques funcionales formarán parte del bloque de captación de información.

Aquí se introduce el tercer y el cuarto bloque funcional a diseñar, el **centro de procesamiento de la información del sistema** y los **sistemas de muestra** de información al usuario. El bloque de captación necesitará comunicarse a través de su sistema central de almacenamiento con estos bloques para que se traten los datos obtenidos y se envíen los resultados a las distintas herramientas que muestran la información, según el perfil del usuario (si es paciente, voluntario o profesional sanitario).

Se presentará una solución teórica para estos dos últimos bloques. Como ya se ha dicho, estos dos bloques tienen que estar conectados con el de captación con lo que se necesitará de nuevo el diseño de una red inalámbrica de comunicación entre estos bloques y el de captación.

Así, el esquema que se obtendrá en este caso queda:

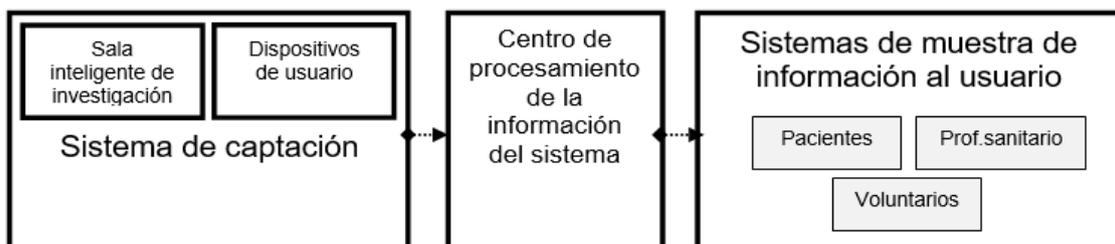


Ilustración 3 Esquema de un centro de investigación

Ahora bien, esto hay que escalarlo a la comunicación entre varios centros de investigación. Cada uno de ellos tendrá comunicación con un centro de procesamiento global a través de sus centros de procesamiento de sistema.

Siguiendo el esquema anterior, la comunicación global entre los distintos sistemas daría lugar al producto de este trabajo y quedaría de la siguiente manera:

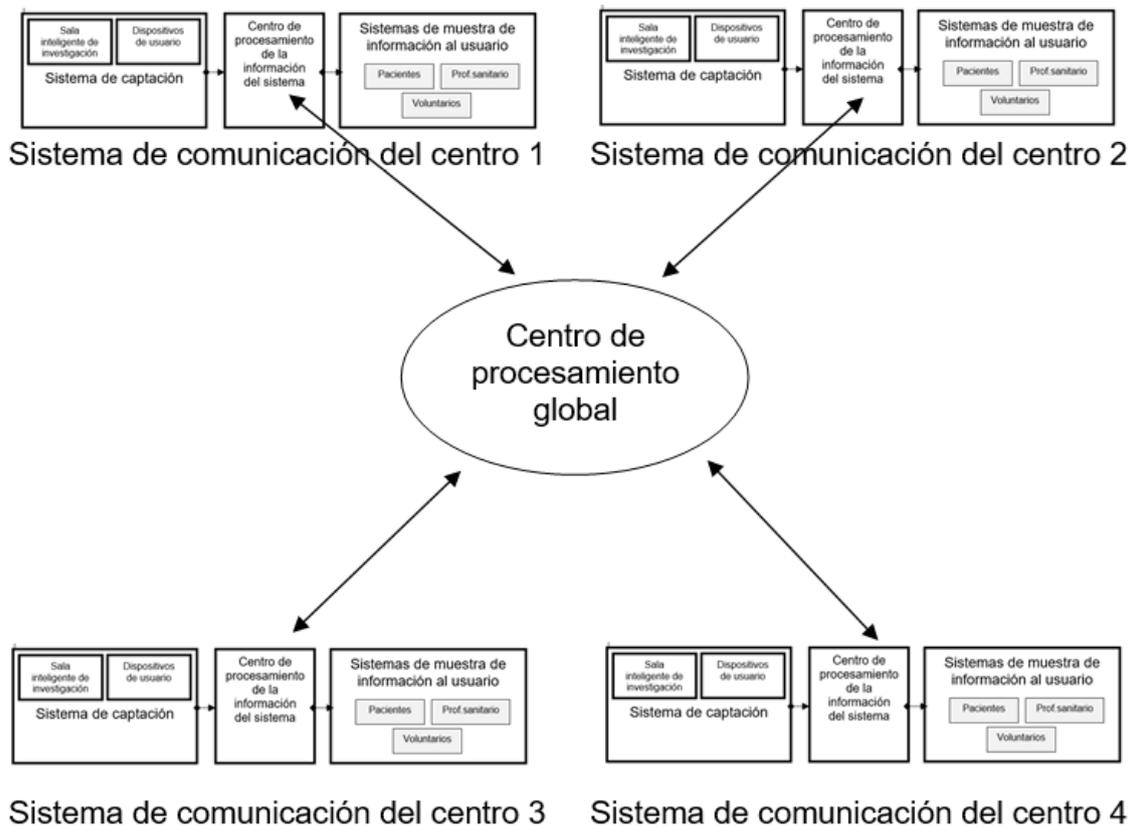


Ilustración 4 Esquema de la comunicación entre varios centros de investigación

Por otro lado, la seguridad en este tipo de sistemas es un punto crítico. Como ya se ha dicho, la confidencialidad y el anonimato de los datos es un aspecto muy importante a tener en cuenta durante el diseño de sistemas para aplicaciones del sector sanitario. Como solución, se realizará un estudio de las distintas posibilidades seleccionándose la integración en la capa de seguridad de *Blockchain*.

Concluyendo se puede decir que el producto de este proyecto es el diseño a nivel alto de un sistema seguro de captación y tratamiento de información debida a distintos parámetros fisiológicos ofreciendo al lector un estudio detallado de las distintas tecnologías a escoger y sus ventajas e inconvenientes.

## 1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

Para entrar en contexto, en este punto se detallarán los contenidos de cada capítulo de esta memoria. Así, en el capítulo 2 se presentará un estado del arte, haciéndose un repaso de la evolución de las tecnologías en el sector sanitario. Esto servirá para comprender las necesidades existentes en este campo y como se han ido desarrollando distintas soluciones para afrontarlas. Se da al lector una visión actual de los avances en el sector, incluyendo algunas de las innovaciones a futuro.

El capítulo 3 se corresponde con el desarrollo del diseño propuesto. Se presentará el esquema de la solución a nivel alto para después realizar un estudio detallado de cada uno de los módulos que lo componen. Por este motivo, este capítulo se subdividirá en varias secciones para facilitar la comprensión:

- **Esquema de la presentación a alto nivel de la solución propuesta**, y un análisis previo de las características a nivel técnico de las posibles tecnologías a utilizar en cada uno de los módulos que la componen a nivel global.
- **Análisis de la solución propuesta para el sistema de comunicación entre pacientes y un centro de investigación.** Utilizando la teoría estudiada en el punto anterior, se realizará una comparativa entre las distintas posibilidades a utilizar para proporcionar una solución y perseguir los objetivos de este proyecto. En este punto habrá dos fases diferenciadas:
  - Una primera fase en la que se especificarán y caracterizarán los servicios y las fuentes de información del sistema a nivel global, consiguiendo el listado de requerimientos y especificaciones de este.
  - Una segunda fase en la que, dividiendo el sistema en distintos subsistemas según su funcionalidad y comunicación entre ellos, se definirán, de acuerdo con los resultados de la fase anterior, los retos y objetivos de cada uno de ellos y se propondrá una solución.
- **Análisis de la escalabilidad del sistema hacia la solución global.** Aquí se realizará una comparativa entre las distintas tecnologías que permitan realizar la interconexión entre los distintos centros de investigación.
- **Análisis de la capa de seguridad de la red** donde se hará una breve introducción a la legislación actual y a los requisitos de los sistemas sanitarios. Se planteará *Blockchain* como una posible solución.

Después, en el capítulo 4 se resumirán las conclusiones del proyecto y por último en el capítulo 5 se presentarán las líneas futuras del mismo.

En esta memoria, además aparecen otras secciones para facilitar el seguimiento de su lectura y su comprensión como el Glosario y las referencias bibliográficas utilizadas para el desarrollo, así como unos anexos con información adicional que puede ser de utilidad al lector.

## 2. Estado del arte

A pesar de que la idea de Telemedicina está muy ligada a Internet, hay que tener en cuenta que este concepto, por definición, está relacionado con la transmisión y recepción de información de carácter sanitario por vía remota. Teniendo en cuenta esto, la primera aparición de este concepto surge en el siglo XIX con la invención del telégrafo. Se considera la primera muestra de telemedicina o medicina remota, a un caso documentado durante la Guerra Civil en los Estados Unidos en la que se utilizó el telégrafo para intercambiar información con un médico y atender a un herido en combate. <sup>[3]</sup>

Después de esto, esta ciencia siguió evolucionando gracias a la llegada del teléfono, pero seguía centrada únicamente en transmisión de voz. Aunque en los años 20 hubo algún intento de incluir otros factores, estos resultaron fallidos. Por ejemplo, se diseñó un prototipo de dispositivo para consultas entre médicos y pacientes que permitía comunicarse y recibir información biométrica a través de una televisión y un micrófono, pero por su precio, tamaño y resultado no pasó de ser un experimento.

A partir de aquí, hubo muchos avances en los Estados Unidos impulsados por el contexto de la Guerra Fría y el empuje de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) hasta la llegada de Internet, que ha supuesto un giro radical de este concepto. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) se define telemedicina como:

*“La presentación de servicios médicos en aquellos lugares donde la distancia sea un factor crítico; servicios que son entregados por profesionales médicos mediante equipos de telecomunicaciones y tecnologías de la información, con el fin de interactuar con el paciente y recabar información de él; con el objetivo de prevenir y curar enfermedades, lesiones, y ofrecer educación continua”.*

Actualmente, debido a todos los avances tecnológicos (*smartphones*, redes móviles, dispositivos *wearables*...) se está produciendo una revisión del término entendiendo que sería más apropiado eSalud o **eHealth**.

A nivel mundial, el estudio y desarrollo de este campo ha tenido mucha repercusión. Ya en el año 2006 la OMS creó el *Global Observatory for e-health*, cuyo objetivo principal no era otro que el de identificar el grado de desarrollo e implantación en el que se encontraba la *eHealth* a nivel mundial <sup>[4]</sup>. Con esto, se construían alianzas público-privadas para fortalecer los avances de las TIC (Tecnologías de la información y la comunicación) en el ámbito de la salud. Se han realizado encuestas entre los países participantes durante varios años, en su página se pueden consultar los resultados de cada país comparando su progreso con el del resto de países. <sup>[4]</sup>

Así, por ejemplo, con los datos extraídos del estudio realizado en el año 2006 se veía que el desarrollo comenzó paulatinamente en los años noventa hasta manifestarse más intenso en los 2000, las TIC se integran constantemente en los sistemas de salud de todo el mundo y hay un impulso creciente en la adopción de la *eHealth* por parte de los países que estaban trabajando en la

creación de políticas y estrategias tendentes a la cimentación de esta. A pesar de todo esto, se aprecia una tendencia creciente con impulso a finales del primer tercio del siglo XXI:

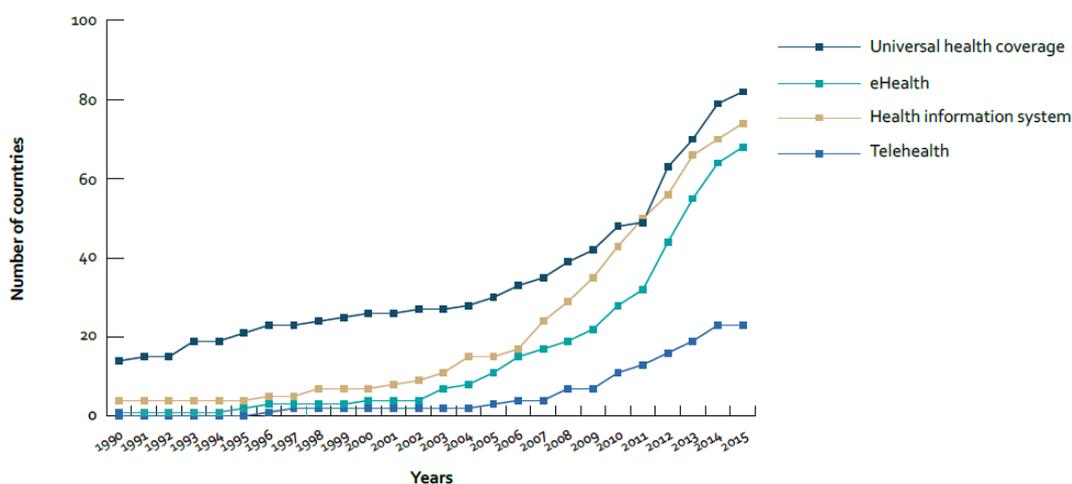


Ilustración 5 Número de países con políticas o estrategias de UHC, eHealth, HIS y telemedicina, acumulativamente por año de adopción (1990-2015) Fuente: “Global diffusion of eHealth: making universal health coverage achievable. Report of the third global survey on eHealth (ISBN 978-92-4-151178-0)”

En general, *eHealth* se ha llegado a convertir en uno de los temas más importantes de la agenda internacional, y que atrae el interés tanto de las instituciones públicas como de corporaciones privadas. [4]

Si nos centramos en la repercusión que ha tenido en nuestro país, todos estos avances se producen gracias a que la sociedad está cada vez más concienciada en la utilización de Internet para temas de salud. Así, por ejemplo, en 2016 una gran parte de los internautas españoles realizaban búsquedas sanitarias [5] y en 2017 esta cifra ha ido en aumento.

Como ya se ha dicho, aparentemente todas estas cifras apuntan a una tendencia creciente de *eHealth*. Sin embargo, es importante hacer un inciso en este punto.

Partiendo de un interesante artículo de la Revista de Administración Sanitaria Siglo XXI: “*La innovación en los servicios sanitarios; consideraciones desde la perspectiva del Sistema Nacional de Salud español*” [6] se habla de una nueva cultura de servicio sanitario para la comunidad y hacia la sociedad. La innovación en los servicios sanitarios públicos integra no solo formas avanzadas de conocimiento, sino también, y complementariamente, creencias, valores, modelos de experiencia y aprendizaje, ideas renovadas, e incluso bases intuitivas del pensamiento humano. Por lo que es importante destacar como afectan estas novedades a la sociedad actual.

Un ejemplo interesante es el caso de una campaña gubernamental de Holanda, la “*semana eHealth*” [7] que en 2018 ya hizo su segunda edición donde se realizaron diversas actividades dirigidas a los ciudadanos con objeto de

aumentar el conocimiento y las habilidades en el área del soporte digital de la asistencia sanitaria.

En este sector es importante tener en cuenta que la prioridad de los proyectos son los pacientes, por lo que es imprescindible concienciar a la sociedad y acercar su relación con los profesionales de forma sencilla y que lo vean como un valor añadido. El mayor reto en este sentido es que algunos pacientes no se sientan cómodos siendo tratados sin haberse visto con el médico. Aún se requiere un estudio más concienciado sobre la experiencia con estas nuevas tecnologías y es necesario como paciente tener una mente abierta.

Aun así, *eHealth* tiene un futuro muy prometedor. Volviendo a los aspectos tecnológicos, para los próximos años la continua innovación y avance se presenta como una de las características más representativas del conjunto de la sociedad digital. Concretamente, las transformaciones más importantes en materia de salud se vinculan con las siguientes áreas de actuación:

- **mHealth**, que hace referencia a los servicios e información sobre salud que se realizan desde el teléfono móvil. La demanda de las aplicaciones para la comunicación entre los servicios de salud y los usuarios aumenta exponencialmente.
- **Telehealth** o medicina tradicional a distancia. Son los servicios que ofrecen los profesionales a los pacientes con mayor rapidez, mayor acceso e independencia geográfica.
- **Social Media**. Utilizar plataformas digitales como *Facebook* o *Twitter* para generar canales interactivos para compartir y discutir contenidos promoviendo nuevas ideas.
- **Big Data**. Utilizar la inconmensurable cantidad de datos existentes en la red para obtener más información y promover el desarrollo de sistemas sanitarios más ajustados a las necesidades y exigencias de los pacientes.

Como se ve, en este punto cobran especial importancia ciertas técnicas y tecnologías.

La primera que se ha mencionado es el *Big Data*. A pequeña escala forma parte de la rutina de los profesionales sanitarios que, desarrollan estudios multicéntricos que buscan obtener investigaciones con más solidez científica aumentando el tamaño de las muestras. Pensando ahora en la cantidad de información que se puede conseguir gracias a esta técnica es fácil entender el avance que supone en el sector sanitario. Con ello, los profesionales conseguirían unos volúmenes de información mucho mayores y con ello podrían desarrollar más estudios con mayores niveles de exactitud.

Ahora bien, la siguiente pregunta sería cómo hacer llegar esa información a los profesionales. En este sector los datos se obtendrían de los pacientes, es decir, de personas. En 2019, el Ministerio de Sanidad español propuso un límite de 1500 pacientes por médico y enfermero <sup>[8]</sup>, si esta cantidad se multiplicase por

el número de profesionales en nuestro país, la cantidad de parámetros fisiológicos a medir y convertir en datos para fomentar el desarrollo y estudio en este sector (aquí de nuevo se corrobora la importancia de la técnica de *Big Data*) saldrían ya unas cantidades desproporcionadas sin escalar a nivel mundial aún. Toda esta información tendría que hacerse llegar a los centros de tratamiento de información y, en algunos casos, tendría que haber una respuesta para poder dar un tratamiento a los pacientes. Es aquí donde entra el concepto de *IoT*.

Imagina un mundo en el que hubiese nodos sensores y actuadores al alcance de todos, de forma que cualquier paciente pudiese estar supervisado y tener la atención necesaria en el momento indicado de forma fácil, controlada y en cualquier lugar. Quizá esto es más futurista, pero hay otros proyectos con gran importancia en este sector que utilizan esta tecnología. Un ejemplo claro es el dispensador de medicamentos de *Philips* <sup>[9]</sup> enfocado a pacientes de edad avanzada que les resulta difícil mantener la dosificación de su medicación por sí solos. Este, dispensa tazas precargadas siguiendo la dosis programada y notifica automáticamente cuando es hora de tomar medicamentos o cuando el paciente omite la dosis.

Luego, la relación de *IoT* con el sector sanitario es ya una realidad. Hay un artículo interesante en el que se exponen los principales retos de esta tecnología para la atención médica en 2019 <sup>[10]</sup>. Entre estos encontramos el aspecto antes comentado de la cantidad de datos con la que hay que trabajar y otros como la infraestructura que se utilizará. Este punto se analizará durante el diseño a nivel más técnico, pero antes, llegados a este punto se puede ver ya que la solución propuesta en este proyecto pasa por el diseño de una gran red de comunicaciones con varios nodos sensores y actuadores que se comunican con un nodo central de procesamiento de información. En concreto, se trata del diseño de una red *WLAN* (red de área local inalámbrica) que se comunique con una red 5G y que contenga una red *WBAN*, *Wireless Body Area Network*.

Estas últimas son redes de comunicaciones inalámbricas entre dispositivos de baja potencia utilizados en el cuerpo, ya sea dentro o fuera de este. Nació en los años 90 en el *MIT* (*Massachusetts Institute of Technology*) bajo la premisa de adjuntar dispositivos eléctricos al cuerpo humano.

La constante progresión a la hora de minimizar el tamaño de los distintos dispositivos de telecomunicaciones hace que sea posible que los dispositivos estén muy próximos al cuerpo humano, e incluso pegados a la piel o dentro del organismo, sin que su uso llegue a resultar incómodo ni peligroso para la salud.

Las redes *WBAN* prometen nuevas y revolucionarias aplicaciones, tanto médicas como de otros ámbitos, basadas en la comodidad y libertad de movimiento que ofrecen. En la **Tabla 1** se resumen las principales aplicaciones de estas según el tipo de nodos utilizados:

WBAN Applications	Medical	Wearable WBAN	Assessing Soldier Fatigue and Battle Readiness
			Aiding Professional and Amature Sport Training
			Sleep Staging
		Asthma	
		Wearable Health Monitoring	
		Cardiovascular Diseases	
	Implant WBAN	Cancer Detection	
		Ambient Assisted Living (AAL)	
	Remote Control of Medical Devices	Patient Monitoring	
		Tele-medicine Systems	
		Real Time Streaming	
Non-Medical	Entertainment Applications		
	Emergency (non-medical)		

Tabla 1 Resumen de las principales aplicaciones de las redes WBAN según el tipo de nodos utilizados <sup>[11]</sup>

Aquí se puede observar que la rama médica de estas se ajusta a los objetivos que persigue el proyecto. Durante el desarrollo de la solución se hará referencia a la **Tabla 1** de nuevo y se detallará el tipo utilizado.

Hasta ahora se ha dado al lector una breve introducción al estado de las tecnologías en el sector sanitario y su evolución hasta la actualidad.

El proyecto se centra en el campo de la telemedicina o, como se conoce actualmente, *eHealth*. Se han explicado brevemente los orígenes de esta técnica justificándose sus avances y su desarrollo con las necesidades de la sociedad, y dando al lector la visión a futuro que hoy en día se propone gracias a la evolución de la tecnología y a la aparición de los conceptos de *IoT* y *Big Data* que serán fundamentales para este objetivo. Es importante recordar de nuevo que la prioridad de estos proyectos son los pacientes, por lo que no hay que dejar de lado que el principal reto es la necesidad de un cambio cultural en este campo, de forma que la sociedad se percate del valor añadido de este desarrollo. Y, además, se ha introducido el concepto de *WBAN* que será la base de la solución propuesta en este proyecto.

En este punto, se va a dar al lector una visión actual de los proyectos existentes relacionados con el ámbito de trabajo exponiéndose varios ejemplos. Es importante destacar que estos se analizarán en detalle durante el desarrollo de este proyecto para llegar a la solución propuesta, ya que están fuertemente relacionados con el mismo.

Actualmente hay varios proyectos con propuestas de diseño para este tipo de redes <sup>[11]</sup> que se pueden resumir en la **Tabla 2**:

Proyecto	Entorno	Aplicación	Características técnicas			Ventajas / Inconvenientes
			Fiabilidad	Bajo consumo	Topología	
<b>Body inertial-sensing network</b>	Hospital	Datos en tiempo real para mediciones en cualquier orientación	No implementado	Cada nodo solicita sincronización y hay un <i>timeout</i>	Todos a uno	Máximo 9 nodos
<b>CodeBlue</b>	Red de 30 sensores ad-hoc	Atención médica	Enrutamiento multicast	No provee	Red multicast	Inundación periódica de la red para descubrir rutas con eventos de filtrado y agregación.
<b>LOBIN</b>	Hospital	Monitorizar parámetros fisiológicos (ECG, ritmo cardíaco o temperatura) y localización de pacientes	Red ad-hoc entre varios nodos	No provee	Estrella	Localización y múltiples nodos.
<b>MASN</b>	Simulación de redes ad-hoc de sensores	Captación en tiempo real de datos	Esquema de adaptación de la fiabilidad dinámica	Usando las posibilidades de los nodos sensores para trabajar en bajo consumo	Intracluster e intercluster con "Data Relay"	No soporta condiciones de movilidad
<b>MEDISN</b>	Red de sensores inalámbrica de hospitales	Detección de alarmas y emergencias	Arquitectura de dos niveles con red troncal inalámbrica dedicada y protocolos de control de velocidad optimizados	División de la funcionalidad entre la adquisición y la transmisión de datos	Muchos a uno o uno a uno	Adquisición periódica de los datos de acuerdo a la transmisión óptima
<b>Unobstructive body área networks</b>	Hospitales, eventos de emergencia y monitorización personal y diaria de actividades	Identificación de movimientos y posturas para lanzar alarmas	Nodo coordinador	Método estadístico de tratamiento reduciendo el muestreo	Estrella	Nodo coordinador en el cuerpo humano
<b>WirelessHART</b>	Industria	Control de procesos industriales	Central de control	No provee	Malla, muchos a muchos	No tiene mecanismos de bajo consumo y no están verificadas las condiciones de movilidad
<b>WPWS</b>	Superficie distribuida de hasta 4 metros de diámetro	Mediciones de temperatura, humedad, velocidad óptica y de flujo de aire	Los sensores utilizados no necesitan baterías	Similar a RFID	Estrella	No necesita alimentación

Tabla 2 Proyectos con redes WBAN [11]

Todos ellos proporcionan soluciones para monitorizar varios parámetros fisiológicos de los pacientes obteniendo datos e información que se almacenan y tratan para mostrársela a los profesionales del sector. La principal diferencia entre ellos es el diseño propuesto para conseguir estos objetivos.

Es importante destacar de todos modos que no se puede decir que un proyecto sea mejor que otro, sino que de acuerdo con estas características cada uno presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Sin embargo, esto no se va a analizar ahora puesto que este punto se centra en poner en contexto al lector, sin entrar en detalles técnicos.

Durante el desarrollo de la solución propuesta se estudiarán en profundidad las características y se detallarán más los requisitos de este tipo de redes haciéndose referencia a este punto, puesto que en la **Tabla 2** se puede

observar los aspectos más importantes para la decisión de diseño de este tipo de sistemas.

Por ahora se va a añadir una breve comparación entre estos con el diseño planteado en este proyecto.

Proyecto	Entorno	Aplicación	Características técnicas			Ventajas / Inconvenientes
			Fiabilidad	Bajo consumo	Topología	
<b>Body inertial-sensing network</b>	Hospital	Datos en tiempo real para mediciones en cualquier orientación	No implementado	Cada nodo solicita sincronización y hay un <i>timeout</i>	Todos a uno	Máximo 9 nodos
<b>CodeBlue</b>	Red de 30 sensores ad-hoc	Atención médica	Enrutamiento multicast	No provee	Red multicast	Inundación periódica de la red para descubrir rutas con eventos de filtrado y agregación.
<b>LOBIN</b>	Hospital	Monitorizar parámetros fisiológicos (ECG, ritmo cardiaco o temperatura) y localización de pacientes	Red ad-hoc entre varios nodos	No provee	Estrella	Localización y múltiples nodos.
<b>MASN</b>	Simulación de redes ad-hoc de sensores	Captación en tiempo real de datos	Esquema de adaptación de la fiabilidad dinámica	Usando las posibilidades de los nodos sensores para trabajar en bajo consumo	Intracluster e intercluster con "Data Relay"	No soporta condiciones de movilidad
<b>MEDISN</b>	Red de sensores inalámbrica de hospitales	Detección de alarmas y emergencias	Arquitectura de dos niveles con red troncal inalámbrica dedicada y protocolos de control de velocidad optimizados	División de la funcionalidad entre la adquisición y la transmisión de datos	Muchos a uno o uno a uno	Adquisición periódica de los datos de acuerdo a la transmisión óptima
<b>Unobstructive body área networks</b>	Hospitales, eventos de emergencia y monitorización personal y diaria de actividades	Identificación de movimientos y posturas para lanzar alarmas	Nodo coordinador	Método estadístico de tratamiento reduciendo el muestreo	Estrella	Nodo coordinador en el cuerpo humano
<b>WirelessHART</b>	Industria	Control de procesos industriales	Central de control	No provee	Malla, muchos a muchos	No tiene mecanismos de bajo consumo y no están verificadas las condiciones de movilidad
<b>WPWS</b>	Superficie distribuida de hasta 4 metros de diámetro	Mediciones de temperatura, humedad, velocidad óptica y de flujo de aire	Los sensores utilizados no necesitan baterías	Similar a RFID	Estrella	No necesita alimentación

Tabla 3 Comparación del proyecto de esta memoria con los proyectos de la Tabla 2

En la **Tabla 3** se ha sombreado con distintos colores algunos aspectos de estos proyectos que guardan en mayor o menor medida alguna similitud con el presente:

- Se han destacado en verde los aspectos que también aparecerán en este proyecto. No se entrará en detalle aún en esto puesto que requiere conocer los aspectos técnicos del diseño propuesto y aún no se han facilitado al lector.

- Se han destacado en azul otros que se pueden acercar en menor medida a los objetivos de este proyecto. En este caso, se trata de aspectos relacionados con el entorno y la aplicación de los proyectos. Como se ha destacado hasta ahora, en este proyecto no solo se va a hacer hincapié en los hospitales, sino que se generaliza la aplicación sobre cualquier centro de investigación sanitario.

Con lo que a priori, los tres proyectos con los que más se asemejará el presente serán el de “Body inertial-sensing network”, el de “LOBIN” y el de “Unobstructive body area networks”.

En principio, con esta breve introducción podría parecerle al lector que en este proyecto se va a desarrollar otro proyecto más como estos. Aunque va a ser necesario realizar un estudio de estos para definir la solución y estará fuertemente relacionada, la principal diferencia será que el objetivo de este proyecto es el diseño de un sistema como soporte para los centros de investigación, como se indicaba en la introducción.

La finalidad es conseguir una red de comunicaciones para obtener información de forma semejante a estas redes, pero enfocado al escenario de estudio comparando y evaluando las distintas posibilidades. Se utilizarán aspectos o características de estas siempre justificando las respuestas y se modificarán otros o se analizarán otras alternativas.

A nivel industrial, hay varios proyectos de grandes empresas en este sector como puede ser el “Hospital 2050” de Indra que propone un receptor de monitorización integral único y la captación de señales inalámbricas dentro de un hospital <sup>[12]</sup> para mejorar los sistemas actuales de captación y los sistemas de historial clínico (Por ejemplo, HCIS de HP <sup>[13]</sup>).

Sin embargo, como ya se ha dicho, el objetivo de este proyecto va más allá de esto. Con este diseño se busca fomentar la investigación de enfermedades no comunes por lo que se asemejaría más a las actividades realizadas por “Foundation29” <sup>[14]</sup>. Esta fundación ha diseñado un sistema para la captación de datos de pacientes de distintas enfermedades (por ejemplo: síndrome de *Duchenne*, Síndrome de *San Filippo*) que pueden compartirse para fomentar la investigación y otro sistema de diagnóstico. El presente proyecto se relaciona fuertemente con el primero, su herramienta *Health29* que ofrece:

- La captura datos del paciente, ya sea de sus informes médicos con un motor de lectura o directamente del usuario a través de una interfaz conversacional natural, para clasificar y categorizar la información en entidades médicas.
- Incluir los datos genéticos para ponerlos en relación con los recogidos en el punto anterior.
- La captura datos de vida real de pacientes a través de una interacción tipo Pregunta/Respuesta, mediante una interfaz conversacional o una similar a la de una red social.
- El reporte de datos por parte del propio paciente.

El presente proyecto podría ser un nuevo módulo de este sistema, esto es, la recopilación de datos por parte de *Health29* se realiza a través de la interacción del usuario con la herramienta o aporte información dada por algún profesional sanitario, pero tiene que ser él quien indique sus síntomas lo que muchas veces es complicado o son desconocidos aún. Con el presente proyecto se podría conseguir información del paciente sin requerir la acción de este o se podrían añadir nuevos campos de estudio cuya posible repercusión fuese desconocida hasta el momento. Luego, la semejanza de este proyecto con el de esta fundación se da únicamente en el bloque de tratamiento de información, ya que difiere completamente en el de captación aportando nuevas posibilidades.

Por último, como se ha mencionado ya, la confidencialidad y el anonimato de los datos son aspectos fundamentales a tener en cuenta durante el diseño de sistemas en este sector. Será necesario incluir en el diseño una capa de seguridad, *Blockchain*. ¿Pero qué es exactamente esto? Se trata de un sistema descentralizado sobre el que se asienta la moneda virtual *Bitcoin*, creada por el misterioso japonés Satoshi Nakamoto. En esencia, es un gran libro de contabilidad virtual que se va construyendo por bloques que luego se unen.

Es una tecnología que, básicamente, consiste en un registro de información que nadie puede alterar o borrar y que es auditable. Esta tecnología permite la transferencia de datos digitales con una codificación muy sofisticada y de una manera completamente segura.

Como es de imaginar, son múltiples los proyectos que utilizan esta tecnología actualmente en distintos sectores y aplicaciones. Por lo que en este proyecto únicamente se van a presentar aquellas referentes al sector sanitario que puedan aportar información útil para diseñar la solución.

Dentro de este sector, esta tecnología permite crear una criptografía segura de soporte para el registro de datos clínicos en conexión con entidades generadoras y explotadoras de información (a priori desconocidas) pero reservando al paciente la propiedad y la gestión integral de esos datos.

Actualmente ya hay una interesante lista de *startups* que están trabajando en sacar al mercado diferentes plataformas tecnológicas a nivel de *Blockchain* sanitario. Dependiendo de la finalidad se pueden encontrar varias propuestas desde la construcción de aplicaciones médicas propuestas por *GEMOS Health* o *Pkidok* <sup>[15]</sup>, hasta el desarrollo de fármacos y suministro de medicamentos de *iSolve* <sup>[16]</sup>. Pero si nos centramos en el objetivo de este proyecto, el proyecto actual que guarda más relación puede ser el de *Blockchain Health Co.* <sup>[17]</sup> que se centra en conectar pacientes e investigadores médicos.

Del mismo modo que con los proyectos de *WBAN*, en este punto no se va a entrar en detalles técnicos de los proyectos. Durante el desarrollo de la solución propuesta se estudiarán en profundidad las características y se detallarán más los requisitos para integrar *Blockchain* en el sistema haciéndose referencia a el último proyecto mencionado.

### 3. Diseño

Antes de comenzar a desarrollar la solución propuesta, será necesario explicar ciertos conceptos técnicos al lector para facilitar su comprensión. El objetivo de este punto es definir el esquema funcional del proyecto destacando los aspectos técnicos más importantes.

Como ya se ha explicado, la solución pasa por el diseño de una red de captación y de tratamiento de información constituida a grandes rasgos por una WLAN que permita conexión a una red 5G y una WBAN. Hasta aquí ya se han dado unas pinceladas como introducción a las segundas, pero ahora será necesario para una mejor comprensión de la solución estudiarlas de forma más técnica. Por lo que, para empezar, en el primer subapartado se realizará una esquematización general del diseño donde se irán presentando las características principales de estas redes haciendo un análisis técnico de los proyectos actuales expuestos en el punto anterior, para después aplicar esto al proyecto en cuestión.

Una vez que se haya dado la información técnica necesaria al lector, se procederá a explicar la solución propuesta en los siguientes subapartados, siempre desde el punto de vista teórico.

#### 3.1. Esquema general de diseño

Como se ha explicado hasta ahora, el producto consistirá en una red de comunicaciones entre centros de investigación compuestos a su vez por varias subredes de comunicaciones para la obtención y el tratamiento de la información.

En general, el sistema global quedaría:

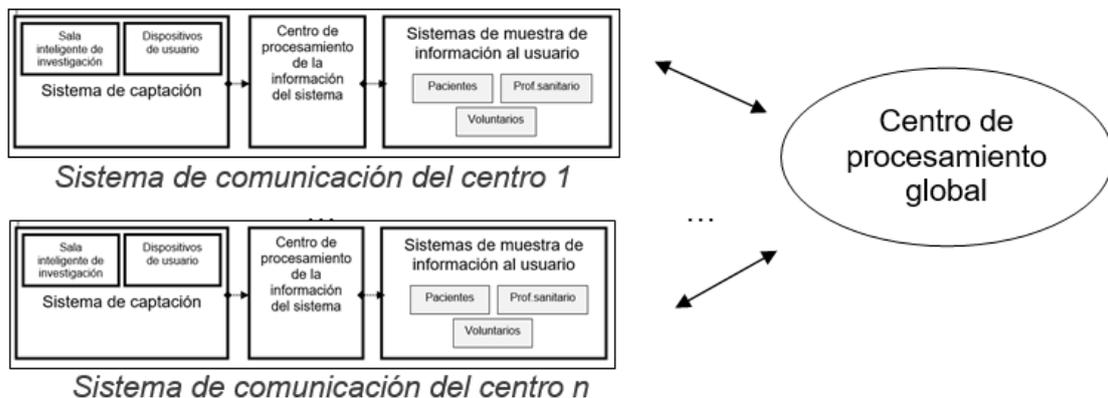


Ilustración 6 Esquema del sistema global

Se trata de un sistema para la compartición de datos entre distintos centros de investigación a través de un nodo central. La comunicación entre los centros de investigación y el centro de procesamiento de información global vendría dada por una red WLAN entre los procesadores de cada uno de los centros y un router, y una red 5G.

Por otro lado, haciendo “zoom” en uno de los centros de investigación, se tendría:

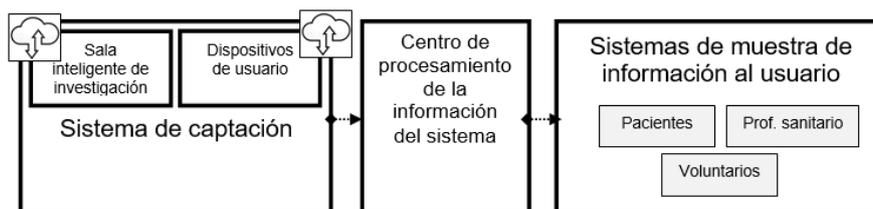


Ilustración 7 Esquema del diagrama de bloques de un centro de investigación

En este diagrama se aprecian los tres grandes bloques que conforman la red de comunicación entre los pacientes y un centro de investigación: Sistema de captación, centro de procesamiento de la información del sistema y sistemas de muestra de información al usuario. El primero de ellos se subdividirá en dos bloques funcionales:

- Diseño de una sala inteligente en los centros de investigación. Donde se captará la información de los pacientes utilizando instrumentos de medición sanitarios con nodos sensores que midan los parámetros del usuario cuyo comportamiento se quiera estudiar.
- Diseño de dispositivos de usuario. El diseño de esta parte se enfocará al seguimiento en el día a día de esos pacientes y además permitirá añadir una línea de voluntariado. Para realizar en este caso las tareas de medición de los parámetros de usuario se utilizarán dispositivos *wearables*.

Respecto a los dos siguientes, el centro de procesamiento de la información del sistema será el encargado de tratar la información del anterior y gracias a los sistemas de muestra de información al usuario se enviarán los resultados a las distintas herramientas que muestran la información, según el perfil del usuario (si es paciente, voluntario o profesional sanitario). En este caso, para el diseño se puede diferenciar entre los siguientes tipos de redes de comunicación:

- Dos redes WBAN, las dos pertenecientes al bloque de captación de información. Una entre los dispositivos *wearables* de los pacientes y su sistema de almacenamiento de información, y otra entre los nodos sensores/actuadores de los centros de investigación y su sistema de almacenamiento de información.
- Dos redes WLAN, una entre los sistemas de almacenamiento anteriores y el respectivo router que permitirá conectar a través de 5G con el centro de procesamiento de este sistema, y otra análoga entre el centro de procesamiento y los sistemas de muestra de información. En realidad, se trata de una red WLAN bidireccional.
- Dos redes 5G, de forma análoga al punto anterior habrá dos redes 5G para comunicar los bloques de almacenamiento y de muestra de información con el centro de procesamiento de este sistema. En realidad, se trata de una red 5G bidireccional.

A continuación, se va a hacer un desglose de cada tipo de red para estudiar y analizar sus características y aplicaciones en este sector con objeto de obtener un listado de los requerimientos y retos generales para cualquier diseño de este tipo de proyectos.

### 3.1.1. Redes WBAN

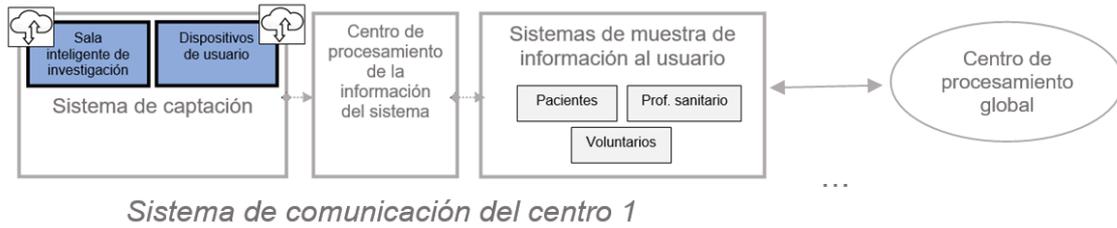


Ilustración 8 Esquema del diagrama de bloques del sistema con las comunicaciones de las redes WBAN resaltadas en azul

Una *WBAN* (*Wireless Body Area Network*) es una red compuesta por elementos inteligentes (nodos sensores y actuadores) específicamente creada para trabajar en un entorno muy particular como es el cuerpo humano y sus inmediaciones.

Antes de entrar a una especificación a bajo nivel, para comprender mejor la estructura y el funcionamiento de este tipo de redes es interesante repasar el artículo: “*A WBAN-based System for Health Monitoring at Home*” (1)<sup>[18]</sup>. Se trata del diseño de una red WBAN a pequeña escala en una vivienda.

El objetivo que se presenta en este artículo es el de diseñar un sistema para monitorizar distintos parámetros fisiológicos utilizando una red doméstica WBAN. Para ello, en concreto se diseña un sistema con nodos sensores de movimiento y de ritmo cardíaco que se comuniquen con un pequeño servidor.

A nivel de arquitectura, el sistema se compone de un conjunto de nodos sensores colocados estratégicamente en el cuerpo humano que envían los datos a un servidor local o incluso a un servidor médico remoto. Para establecer estas comunicaciones entre los nodos y los servidores será necesario diseñar tres tipos de redes: una WLAN, otra WBAN y una red 5G. Volviendo a lo explicado hasta este punto, se puede ver que la solución que se va a proponer en este proyecto consiste en escalar esta idea a varios centros de investigación y a nivel personal, añadiendo más nodos sensores y otros actuadores. Si se profundiza en la lectura de este artículo, ya se pueden obtener algunos de los requisitos fundamentales para el diseño de este tipo de redes como por ejemplo la reducción de tamaño de los elementos utilizados o la necesidad de mejoras en los sistemas de alimentación o baterías para alargar su duración. Pero vamos poco a poco.

Para analizar las características de estas redes se va a ir un paso más abajo, a nivel de componentes e interconexión.

Como se ha dicho hasta ahora las redes WBAN están compuestas por un conjunto de nodos sensores pertenecientes a una red que envían o reciben información de un centro de procesamiento. Pero, con esta definición ¿por qué no se consideran redes *Wireless Sensor Networks* (WSN)? ¿Qué diferencia hay entre ellas? En este punto es interesante hacer un inciso y realizar una comparativa entre ambos tipos de redes, ya que esto permitirá identificar las

características de las redes WBAN y además aportará como valor añadido una mayor comprensión de estas. <sup>[19]</sup> <sup>[20]</sup>

Por un lado, un conjunto de hasta cientos de sensores es lo que se considera una WSN. Hay que destacar principalmente que en este tipo de redes el despliegue se realiza en ocasiones sobre terrenos hostiles o de difícil acceso, haciendo que el mantenimiento de los nodos sensor no sea viable. Por otro lado, las redes WBAN se basan en radiofrecuencia (RF) para interconectar una serie de nodos emplazados en el cuerpo humano.

En principio, puede parecer que son lo mismo, sin embargo, las redes WBAN poseen una serie de características que las hacen diferenciarse las anteriores:

- Los sensores o actuadores, así como los routers que las conforman son independientes.
- No hay una gran densidad de sensores puesto que no tienen réplicas unos de otros.
- Tienen una latencia muy baja y a diferencia de otras redes de sensores el consumo de energía no es tan limitante, ya que el suministro eléctrico, en caso de agotarse, se puede sustituir con facilidad (A pesar de que muchos están introducidos en el cuerpo humano, haciendo una comparación con las WSN los nodos de estas últimas en muchos casos son inaccesibles).
- Todo el sistema es móvil. Se mueve en conjunto.

Con esto, los retos a los que deben enfrentarse los diseños con ambos tipos de redes son similares:

Tolerancia a fallos. Mientras que en las redes WSN se requiere que el funcionamiento de la red no se vea afectado por los fallos de los sensores, en las redes WBAN los nodos no se implementan con una alta redundancia.

Escalabilidad. No se requiere una alta densidad de nodos.

Costes de producción. A pesar de que las redes WSN no están justificadas por costes, las redes WBAN pueden tener hasta un coste mayor. Los materiales con los que se fabriquen los nodos para aplicaciones médicas deben ser apropiados para poder incluso introducirse en el cuerpo humano. En la mayoría de los casos, por no decir todos, los sensores/actuadores más comunes no serán válidos para esta aplicación, por lo que se necesitarán algunos más específicos, lo que supondrá un aumento de los costes del diseño. Esto solo sería imprescindible para los nodos introducidos en el cuerpo humano, para los externos el requisito no sería tan estricto, aunque depende de la zona del cuerpo.

Restricciones de Hardware. En este punto, aunque las restricciones de las WSN estarán enfocadas a dar cobertura a áreas geográficas casi inaccesibles y las WBAN estarán condicionadas por factores fisiológicos del cuerpo humano, sobre todo los nodos internos, para ambas los nodos tendrán propiedades muy específicas de fabricación. Además, habrá rígidas

restricciones de tamaño. Esto tampoco aplica de forma tan rigurosa para los nodos externos de las WBAN.

Topología de red de sensores. Habrá que tener en cuenta en ambos casos las tareas de mantenimiento que se requerirán, y además, en el caso de las WBAN que los nodos y los routers son independientes.

Entorno. Las WSN tendrán dificultades para desplegarse en las áreas remotas y en el caso de las WBAN, el problema vendrá a la hora de situar los sensores cerca del fenómeno. Para aplicaciones médicas habrá que tener cuidado a la hora de ubicar los nodos internos, para que no afecten al comportamiento natural del cuerpo humano. Los nodos externos no se verán tan afectados por este problema, aunque sí debe tenerse en cuenta la facilidad de uso para los usuarios, ya que debe de ser cómodo de llevar o utilizar.

Medios de transmisión. Aquí difieren más ambos tipos de redes. Las WSN se preocuparán principalmente de que la comunicación sea inalámbrica y de bajo consumo. Mientras que las redes WBAN, al estar basadas en RF se preocuparán principalmente de los parámetros: velocidad de transmisión y latencia. Respecto a la velocidad, en este caso como los fenómenos a medir son debidos a actividades fisiológicas humanas que en la mayoría de los casos se producen de forma periódica, los flujos de datos presentarán tasas relativamente estables. Y respecto a la latencia, en comparación con las anteriores tienen una latencia muy baja.

Consumo de energía. En ambas ocurre lo mismo para los nodos que estén ubicados en lugares con difícil acceso (si están introducidos en el cuerpo humano se requiere de intervención quirúrgica para acceder a ellos), ya que se requiere que sean de muy bajo consumo. Sin embargo, este requisito es menos restrictivo para estas redes en comparación con las WSN cuyos nodos pueden ser inalcanzables y el reemplazo de baterías es inviable.

También podría añadirse un reto en las WBAN respecto a la movilidad teniendo en cuenta que los nodos de una misma WBAN se mueven a la par, en tiempo y dirección.

En general, los retos para cualquiera de las aplicaciones de las WBAN son ligeramente diferentes a los de las WSN. Hay que hacer especial mención a los sensores que se ubican en el interior del cuerpo humano puesto que algunos de los requisitos serán más estrictos como se ha explicado.

A partir de aquí, para facilitar el seguimiento del desarrollo del proyecto se van a resumir estos retos teniendo en cuenta que los elementos que compongan una red WBAN deben ser de **bajo consumo, alcance** (máximo del orden de 5 metros), **altamente fiables, resistentes a interferencias** y además deben poder **trabajar en un amplio rango de velocidades de transmisión.** (1) <sup>[21]</sup>

Los principales requisitos para el diseño de una red WBAN vienen impuestos por el estándar 102.15.6 del IEEE publicado en 2012.

Este impone el uso de bandas médicas, industriales y científicas (*ISM*), así como las bandas de frecuencia aprobadas por médicos nacionales y/o las autoridades reguladoras, con objeto de proporcionar una norma internacional a corto plazo, de baja energía y una comunicación inalámbrica altamente fiable para su uso en la proximidad o en el interior del cuerpo humano.

Y como resumen de estos **requerimientos**, a la hora de realizar un diseño con una red WBAN habrá que tener en cuenta principalmente:

- Tasa de transmisión entre 10 Kb/s y 10 Mb/s.
- Packet Error Rate (PER) menor del 10%.
- Soporte teórico de hasta 256 nodos en cada WBAN
- Los nodos deben ser capaces de brindar comunicación confiable incluso cuando la persona está en movimiento.
- La latencia debe ser menor a los 125 ms en aplicaciones médicas.
- Potencia máxima de transmisión de 1mW (0 dBm); mínima de 0.1 mW (-10 dBm).
- Posibilidad de operar en ambientes heterogéneos conviviendo con otro tipo de redes.
- Incorporación de mecanismos para regular la Quality of Service (QoS).
- Incorporación de mecanismos de ahorro energético.

Con todo esto, el lector ya debe ser capaz de diferenciar entre ambos tipos de redes y además comprender los principales retos que afrontar a la hora de realizar un diseño con una red WBAN.

Ahora bien, ¿Qué soluciones hay para estos retos? Volviendo a la **Tabla 2**, donde se presentaban las distintas propuestas de proyectos actuales, se puede ver los aspectos más importantes para la decisión de diseño de este tipo de aplicaciones son el entorno, la aplicación, el mecanismo de confiabilidad, el consumo de energía y la topología de la red. Según la elección que se haga en estos aspectos se solucionarán de un modo u otro los retos antes planteados. Las soluciones propuestas pasan por la elección de la tecnología adecuada para cada aplicación.

Para la transmisión de los datos de los sensores las redes WBAN disponen de varias tecnologías. En términos de frecuencia y amplitud de señal se requerirá una baja frecuencia de muestreo y una baja velocidad de transmisión por trabajar sobre el cuerpo humano.

En general para la elección de la solución óptima hay que llevar a cabo los siguientes puntos sobre el diseño:

- Identificación de los mecanismos de propagación que afectan a las transmisiones de señales entre nodos.
- Evaluación de los efectos de las reflexiones de trayectos múltiples del entorno externo para señalar transmisiones entre nodos.

- Caracterización de las estadísticas de desvanecimiento en los enlaces del cuerpo que se producen con el movimiento del cuerpo y el cambio de la posición del cuerpo en entornos de dispersión dispersos y ricos.
- Desarrollo de modelos estándar de respuesta a impulsos de canal UWB y evaluación de esquemas de modulación típicos que los utilizan.

Haciendo un análisis de las posibles tecnologías a utilizar, lo primero hay que destacar que no son exactamente unas mejores que otras, sino que depende de la aplicación para la que se vayan a usar es óptimo elegir una u otra.

<b>Bluetooth LEE</b>	<b>UWB</b>
Es un tipo de Bluetooth que se caracteriza por un bajo consumo de energía y puede proporcionar velocidades de transmisión de hasta 1 Mbps. Mejora al Bluetooth tradicional en el uso de canales y en la sincronización instantáneas de los dispositivos. Si necesitamos un dispositivo que presente algún tipo de dificultad a la hora de cambiarle la batería podemos usar este tipo de Bluetooth para ahorrar en energía y evitar tener que cambiar la batería continuamente.	Para ser usado en entornos donde existe mucha sensibilidad a la RF y donde no se requiere un largo alcance. Permite alcanzar velocidades de hasta 480 Mbps, por lo que es viable transmitir por ellos audio y video.
<b>Bluetooth 3.0</b>	<b>Zigbee</b>
Trasmite de manera independiente datos y audio. Puede conectar en topología lógica de estrella hasta 7 nodos Bluetooth, es decir que si tenemos más sensores con Bluetooth 3.0 no podríamos conectarlos con un único dispositivo agregador. Presenta una latencia mayor que el Bluetooth LEE porque la sincronización no es tan inmediata. Lo hace quizá ser el menos indicado para una red con gran densidad de sensores.	Muy bajo consumo, cobertura hasta 100 metros, velocidades de transmisión pequeñas 250 Kbps por lo que las cabeceras de los paquetes que usa no pueden ser muy grandes. Orientado a eventos (es decir que se dispara cuando algo ocurre). Estas características hacen que sea una de las mejores opciones para las redes WBAN.

Tabla 4 Comparación de las distintas tecnologías que se pueden utilizar en las redes WBAN

Como se ha dicho, en la situación actual cada una de ellas tiene su nicho de aplicación y en la práctica no deben considerarse como rivales. De acuerdo con la aplicación final se elegiría una u otra tecnología.

En general hay muchas aplicaciones médicas para las redes WBAN con distintas características. Así, se van a exponer algunos ejemplos indicando qué tecnología sería la más adecuada para facilitar la comprensión y entender las diferencias entre ellas.

Para sensores ubicados en el interior del cuerpo del usuario la opción óptima sería utilizar Bluetooth LEE o Zigbee. Ambas tecnologías son de bajo consumo, por lo que facilitan el mantenimiento de las baterías. Así, por ejemplo, para un chip introducido en el cuerpo de un animal como podría ser el sistema de identificación animal, el reemplazo de los sistemas de alimentación de los nodos implicaría una operación quirúrgica por lo que hay que evitar que esta acción tenga que repetirse en numerosas ocasiones, por coste y riesgo.

También sería interesante el uso para implantes utilizando nodos actuadores como por ejemplo el “ojo electrónico” de los científicos del Hospital de Ojos de la Universidad de Oxford y el King's College de Londres <sup>[22]</sup> o un implante de ayuda a parapléjicos de los investigadores del Consejo de Investigación de Ciencias de Ingeniería y Física (EPSRC). <sup>[23]</sup>

Dependiendo de la ubicación específica y del tiempo de actividad del sensor sería mejor utilizar uno u otro ya que con Bluetooth LEE dos pilas AA pueden funcionar entre 1 y 7 días mientras que con Zigbee este plazo se amplía de 6 a 24 meses.

Por otro lado, UWB sería útil para la comunicación de los nodos sensores y actuadores dentro de los hospitales porque estos entornos están expuestos a fuerte radiación electromagnética y, como se ha indicado, esta tecnología no tiene un gran alcance. Podría ser usado, por ejemplo, para monitorizar imágenes de escáner del interior del cuerpo o un órgano para diagnosticar posteriormente basándonos en dichos datos. También sería útil para obtener audios de la respiración o del latido del corazón.

El objetivo de este proyecto será conseguir el diseño de un sistema de captación de datos utilizando una red WBAN y, por tanto, buscar las soluciones más oportunas para la aplicación en cuestión teniendo en cuenta los retos de este tipo de redes y las soluciones a nivel de tecnologías de comunicación propuestas.

### 3.1.2. Redes WLAN como conexión a la red 5G.

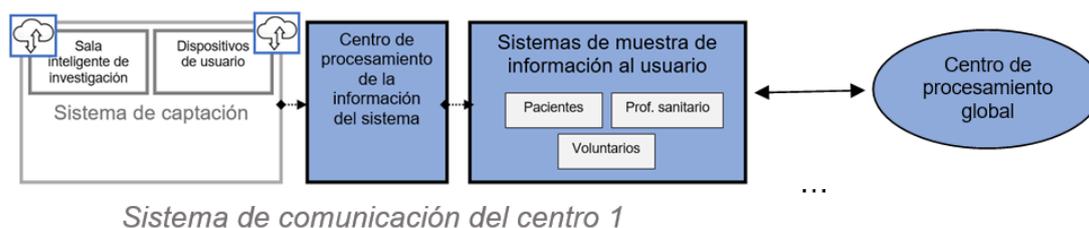


Ilustración 9 Esquema del diagrama de bloques del sistema con las comunicaciones de las redes WLAN resaltadas en azul

Las redes de área local inalámbricas (WLANs) constituyen en la actualidad una solución tecnológica de gran interés en el sector de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha. Con las WLANs la red, por sí misma, es móvil y elimina la necesidad de usar cables, se establecen nuevas aplicaciones añadiendo flexibilidad a la red.

Las redes inalámbricas en los entornos hospitalarios no sólo dan soporte al despliegue en movilidad de sistemas de voz o de la Historia Clínica Electrónica, sino que también lo hacen a los cientos de dispositivos y aplicaciones médicas móviles, como los sistemas de monitorización de pacientes o de administración de medicamentos.

En un entorno tan crítico como el sanitario es imprescindible una conectividad inalámbrica de calidad, que permita a los especialistas sanitarios contactar entre ellos o tener acceso instantáneo a datos sobre los pacientes. El enorme despliegue de estas redes en recintos sanitarios puede poner en peligro tanto la privacidad de la información de los pacientes como la disponibilidad de la propia red para dar servicio en condiciones adecuadas, al sobrepasar la capacidad de dicha red y de los recursos de TI, afectando tanto al rendimiento como a la seguridad.

En cuanto al rendimiento, es necesario que no haya cuellos de botella. Estas conexiones deben ser altamente disponibles y tolerantes a fallos, para garantizar un servicio ininterrumpido. La solución aquí es una red inteligente, automatizada y configurable a nivel de puerto dependiendo del tipo de dispositivo, usuario, momento y lugar en el que la conexión se realiza. Todo ello exige una adaptación de la infraestructura de red y los sistemas de TI lo que se ve reflejado en los nuevos estándares en los que trabaja la industria como el IEC 80001-1.<sup>[24]</sup>

Por otro lado, los aspectos relacionados con la seguridad de la red también se ven reflejados en el estándar. Hay que recordar en este punto que se está trabajando con información personal y confidencial y, por tanto, se requiere una red inalámbrica de última generación que lleve incorporadas las herramientas avanzadas de seguridad. Este punto se desarrollará en profundidad más adelante.

La WLAN puede actuar como una extensión de una red cableada pudiendo ser ésta una red Ethernet o Token Ring.

Si comparamos las características de una red inalámbrica y una cableada respecto a estos aspectos de rendimiento y seguridad, en principio sería más sencillo realizar el diseño utilizando la segunda, ya que frente a las WLAN las redes cableadas ofrecen más resistencia a posibles ataques, presentan mejores velocidades de transmisión, son menos sensibles a interferencias y abarcan distancias mayores. Sin embargo, requieren de una inversión en infraestructura y son menos flexibles que las inalámbricas. Por lo que dependiendo de la aplicación y las características de esta será mejor utilizar una u la otra.

Así, a la vista de esto, en este proyecto se podrían combinar ambos tipos de tecnologías para las comunicaciones entre los distintos subsistemas.

Analizando el diagrama de bloques del sistema completo se entendería que la mayoría de las comunicaciones entre subsistemas tendría que hacerse de forma inalámbrica por las ubicaciones físicas de cada uno de ellos, pero si hay una parte que podría cablearse consiguiendo mejores prestaciones en la comunicación. Pero por facilitar el seguimiento de la solución este proyecto se unificará el diseño de las comunicaciones entre estos elementos utilizando para todos una red WLAN como método de comunicación con los routers que conectarán cada uno de estos bloques a una red 5G inalámbrica permitiendo la comunicación entre ellos. En este caso, hay que tener en cuenta que, de acuerdo a la normativa de gestión de redes en entornos hospitalarios ya mencionada, tendrían que cumplirse de forma más restrictiva las condiciones de rendimiento y seguridad siendo óptimo en este caso utilizar una red cableada.<sup>[25]</sup>

En este punto únicamente se van a exponer las características y los requisitos técnicos del diseño de la red WLAN para permitir la conexión a 5G de cada uno de los bloques. Así, estos puntos se recogen en el estándar internacional del IEEE 802.11. Bajo este estándar existen varios subtipos que han ido evolucionando a lo largo de los años, según las necesidades.

Todos ellos trabajan en las mismas bandas de frecuencia, esto es debido a que en la actualidad las redes WLAN operan exclusivamente en entornos de radio frecuencia en la banda ISM (2,4 GHz) y 5 GHz, pero presentan diferencias entre sus características.

Los primeros que aparecieron en 1999 fueron:

- **IEEE 802.11b:** se estableció una capa física para usar el espectro de extensión de secuencia directa, o DSSS. La red operaba en la banda de 2,4GHz y en un único canal de 20MHz de ancho de banda. Con dicho estándar, se aceptaba sólo la baja modulación QPSK y limitaba la velocidad de envío de datos a 11Mbps.
- **IEEE 802.11a:** Corría de forma paralela al anterior fijando la banda de frecuencia en 5GHz y ofrecía una velocidad de transferencia mucho más alta, de hasta 54Mbps.

En 2003 se corrigieron muchos de los problemas de los anteriores presentandose el estándar **IEEE 802.11g**. Este continuó funcionando en la banda de 2,4GHz pero añadiendo características más avanzadas a la onda, como la multiplexación por división de frecuencias (OFDM) o una innovadora modulación de amplitud en cuadratura (64QAM). Por otro lado, no aumentó la velocidad de transmisión de datos (54Mbps) pero sí logró que los dispositivos compatibles con él fuesen más baratos de fabricar debido a su mayor sencillez. Su eficiencia fue tal que se sostuvo en el mercado dos años más que los estándares anteriores.

En 2009 apareció en estándar **IEEE 802.11n**, uno de los más extendidos en la actualidad. Gracias a los avances tecnológicos este ofrecía más rendimiento y una mayor robustez. Llegó admitiendo las dos bandas de frecuencia que se habían usado hasta ahora (2,4GHz y 5GHz) y ampliaba el ancho de banda por primera vez desde el desarrollo del estándar. Los 20MHz del inicio se multiplicaban por dos, llegando a los 40MHz, aún con OFDM y 64QAM, pero elevando la velocidad de transmisión hasta los 600Mbps, 11 veces más que el máximo permitido por el estándar anterior.

Nuevamente se persiguió aumentar la velocidad de transmisión apareciendo en 2013 el estándar **IEEE 802.11ac** saltando del ancho de banda de 40MHz a los 160MHz. Esto se consiguió gracias a la utilización de los distintos streams MIMO que llegaron con el estándar. Como añadido a este salto en el ancho de banda, la modulación de amplitud en cuadratura se amplió hasta cuatro veces. El 64QAM dejó paso al 256QAM aumentando así una mayor compactación de los datos, y el envío de más cantidad de información. Se aumentó la calidad de la señal y la velocidad de las conexiones.

El último estándar aprobado, pero que en 2019 aún apenas cuenta con dispositivos compatibles (emisores y receptores) es el **802.11ax**. Trae consigo una nueva mejora en robustez y velocidad hasta los 10,53Gbps. Utiliza la misma banda que los anteriores (5GHz) y el nuevo MIMO-OFDMA. Con este nuevo avance sobre los múltiples canales de entrada y salida (Constará de hasta ocho canales 256QAM de hasta 160MHz) es capaz de optimizar la transferencia de datos y aumentar la velocidad.

Con esto, durante el desarrollo del proyecto para el diseño de las comunicaciones que utilizan WLAN se hará uso del estándar IEEE 802.11ac, por ser el más estable y compatible hasta el momento.

Así, bajo este estándar las características del diseño de una red WLAN serán:

- Velocidad de transmisión de 1.3Gbps.
- Banda de frecuencia de 5GHz
- Ancho de banda de canal opcional de 160 MHz y obligatorio de 80 MHz para estaciones
- Hasta 8 flujos MIMO
- Modulación de alta densidad, 256-QAM

### 3.1.3. Redes 5G de comunicación entre bloques

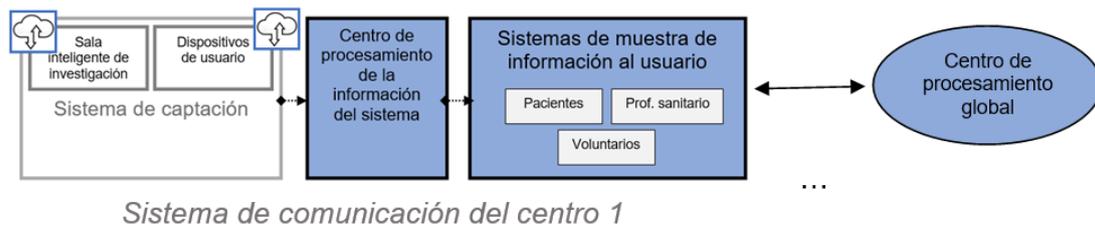


Ilustración 10 Esquema del diagrama de bloques del sistema con las comunicaciones de las redes 5G resaltadas en azul

Una vez que cada uno de los bloques tenga conectividad a través de la red WLAN con sus respectivos routers, se utilizará la tecnología 5G como medio de comunicación entre estos. [26]

Esta quinta generación de comunicación inalámbrica nos promete una mayor velocidad que el actual 4G/LTE y una menor latencia. Ha empezado a dar sus primeros pasos en 2019 consiguiendo que la mayoría de los operadores móviles del mundo estén invirtiendo en la expansión y la actualización de sus redes.

Según Mats Granryd, director general de la GSMA (*Global System for Mobile communications Association*) durante el pasado MWC (*Mobile World Congress*) Barcelona 2019:

*“5G forma una parte importante del movimiento del mundo hacia una era de conectividad inteligente, que, junto con los desarrollos en el Internet de las cosas, Big Data e Inteligencia Artificial, está a punto de ser un motor clave del crecimiento económico en los próximos años”*

Sus especiales características hacen de esta tecnología una pieza clave para la transformación digital, en particular gracias a su capacidad de gestión de grandes cantidades de dispositivos en tiempo real. Además de esto, con ella también se conseguirá ampliar la cobertura de banda ancha a velocidades altas en zonas rurales y aisladas, contribuyendo a la reducción de la brecha digital y a la disponibilidad de servicios públicos digitales.

Según un informe de Ericsson de junio de 2019, 5G alcanzará una cobertura de población del 45% y 1.900 millones de suscripciones para 2024, lo que la convierte en la generación más rápida que se haya implementado a escala mundial. [27] [28]

En España el proceso planteado para este del desarrollo del estudio y la implementación de esta tecnología es el siguiente:

- 2017: Consulta Pública Plan 5G y Banda 700 MHz. Plan Nacional 5G. Oficina Técnica del Plan
- 2018: Licitación de primeras bandas de frecuencias (Banda 3,6- 3,8 GHz según Orden ETU/531/2018). Convocatoria de pilotos y acciones I+D+i. Publicación Hoja de Ruta nacional banda 700 MHz.

- 2019: Desarrollo proyectos piloto y casos de uso. Proceso de liberación de segundo dividendo digital. Evaluación de medio plazo y posibles nuevas acciones

Esperándose que para el año 2020 ya hubiese un primer despliegue oficial de estas redes.

Sin embargo, ya en este año, 2019, Vodafone ha conseguido hacer un primer despliegue de este tipo de red para sus clientes. En una primera fase, de acuerdo con el mapa de red que ha proporcionado este operador, la cobertura está disponible en 15 ciudades utilizando la frecuencia 3,7GHz. <sup>[29]</sup>

Las siguientes fases se producirán a partir del primer trimestre de 2020 debido al hecho de que se requiere ampliar la infraestructura y las torres de comunicaciones para conseguir una mayor área de cobertura, tareas en las que tendrán principal importancia Huawei y Ericsson. Además, también influye el hecho de que en el futuro se espera ofrecer 5G a través de la banda 700MHz, actualmente ocupada por el TDT (Televisión Digital Terrestre).

El resto de los operadores también tiene previsto desplegar su red 5G. Mientras que a Vodafone le seguirán sus operadores asociados, los despliegues comerciales masivos de 5G de Movistar serán en 2021 o 2022 cuando haya concluido la subasta de los 700MHz. <sup>[30]</sup>

Particularizando los usos de esta tecnología en el sector sanitario, son numerosas las posibilidades provocando un cambio en la actual concepción de la tecnología en esta área gracias a las ventajas que ofrece:

- Descentralización de la Sanidad, desde los hospitales hasta los hogares.
- Transformación de los hospitales en centros de datos
- La monitorización remota a través de wearables
- La interacción virtual entre el médico y el paciente
- La cirugía robótica por control remoto

Todo esto queda recogido en los informes de Ericson “5G Healthcare” <sup>[31]</sup> o “From Healthcare to Homecare” <sup>[32]</sup>.

Si se hace un repaso de lo desarrollado hasta ahora en esta memoria, teniendo en cuenta el estado actual de la tecnología en este sector, para conseguir un diseño robusto, seguro, escalable y accesible esta tecnología es una buena opción por las posibilidades antes listadas, ligadas fuertemente con los objetivos de este proyecto a pesar de que esté aún bajo estudio.

Aunque aún no es una realidad absoluta, como ya se ha dicho en los párrafos anteriores solo Vodafone ha conseguido una primera fase de despliegue, se ha predefinido un listado de las características de estas redes.

Partiendo de que esta tecnología está impulsada por los siguientes requisitos:



Ilustración 11 Características de la tecnología 5G. Fuente <http://datosmoviles5g.blogspot.com/2018/01/la-tecnologia-5g-esta-caracterizada-por.html>

Las características de este tipo de redes serán:

- Velocidades de 1 Gbit/s hasta los 2Gbps.
- Tasa de datos de hasta 10Gbps.
- Comunicaciones ultra fiables y de baja latencia, en torno a 1 milisegundo (ms) frente a 20-30 ms propios de las redes 4G.
- Se incrementará la capacidad para gestionar conexiones simultáneas, lo que permitirá, entre otras cosas, el despliegue masivo de sensores.
- Disponibilidad del 99'999%.
- Cobertura del 100%.
- Reducción del 90% en el consumo de energía de la red.
- Hasta 10 diez años de duración de la batería en los dispositivos IoT de baja potencia.

Como ya se indicó en el punto anterior, esta red será la encargada de comunicar los distintos bloques del sistema, pero requerirá de una red WLAN para la conexión de los distintos dispositivos de almacenamiento y procesamiento a la red 5G. <sup>[33]</sup>

¿Y por qué este diseño se ha decidido hacer así? El lector en este momento podría preguntarse el por qué no utilizar únicamente la red 5G para las comunicaciones si ofrece mejores prestaciones a priori que las redes WiFi.

Actualmente se requeriría de un enorme despliegue de estas redes para poder unificar todas las comunicaciones de este diseño únicamente con la red 5G. Pero hay un motivo de más peso para no utilizar las redes 5G para todas las comunicaciones en este proyecto: se persigue la accesibilidad para los usuarios. Los elementos de comunicación serán móviles u ordenadores.

Los segundos actualmente no disponen de conexión 5G por lo que se tiene que ofrecer la posibilidad de comunicación a esta red haciendo una transformación de protocolos de comunicación con routers compatibles, esto es, los ordenadores se comunicarán vía Wifi con los routers que se comunicarán con la red 5G.

El caso de los dispositivos móviles es más complejo, puesto que la mayoría si contarán con la comunicación 5G. En este caso, la justificación viene dada por el hecho de que no se quiere condicionar a los usuarios a disponer de tarifas que permitan esta comunicación o que les suponga un coste adicional para poder utilizar este sistema.

### 3.2. Análisis de la solución propuesta para el sistema de comunicación entre pacientes y un centro de investigación.

En este apartado se va a desarrollar de forma teórica el diseño del sistema de captación y tratamiento de información de carácter sanitario.

Para ello, se dividirá en dos fases:

- En la primera se hará un análisis del problema. Para ello se realizará la identificación y caracterización de las fuentes de información y se definirán los objetivos y los retos. Se conseguirá un listado de los requerimientos principales para el diseño del sistema.
- En la segunda fase, se realizará un análisis del resultado obtenido en el apartado anterior y se propondrán soluciones de diseño.

#### 3.2.1. Primera fase

En este punto se van a definir las especificaciones técnicas del sistema a diseñar dentro de la comunicación entre pacientes y un centro de investigación.

Para comenzar se van a definir los objetivos a conseguir con este diseño, es decir, de que va a ser capaz el sistema:

- **Captar información y datos de carácter fisiológico** desde distintos sensores y en distintas localizaciones del sistema:
  - A nivel de usuario.
  - A través de los dispositivos de medición de los centros de investigación.
- **Procesar y tratar** la información recibida en el centro asociado al usuario.
- **Mostrar los resultados**, también:
  - A nivel de usuario
  - A nivel clínico o para los profesionales del sector

Con esto se puede ver que inicialmente habrá varios niveles o bloques interconectados entre sí, los que ya se habían definido en los puntos anteriores, con los que se conseguirá ofrecer varios servicios.

En concreto, se captará información de varios factores fisiológicos, a lo que se sumará también la posibilidad de adición de otro tipo de pruebas como, por ejemplo, una muy importante en el campo de la investigación: las pruebas genéticas. Todo ello se procesará y tratará permitiendo a los profesionales obtener unos resultados y compartirlos entre ellos o con otros pacientes, respetando siempre en este caso el anonimato y la confidencialidad de los datos. Como se ha dicho, este punto se centrará en la fase de captación de los datos, su procesamiento y su muestra únicamente a nivel de un centro de investigación.

Lo primero es definir el cómo se obtendrá la información o qué se utilizará en la fase de captación: los nodos sensores/actuadores. Volviendo a lo que se describía en la **Tabla 1** para las aplicaciones del sector sanitario, habrá distintas posibilidades para la localización de estos. Podrán ubicarse dentro o fuera del cuerpo humano y de acuerdo con esto tendrán que cumplirse unas especificaciones más o menos estrictas. En este proyecto solo se van a evaluar los externos por varios motivos:

- Los nodos internos requieren de cirugía, lo que por un lado complica el diseño y lo hace más costoso, y por otro lado, falta mucho aún para concienciar a la sociedad sobre estos avances y transmitir confianza.
- Como ya se dijo en un principio, también se quiere conseguir una línea de voluntariado lo que es más sencillo a través de dispositivos *wearables* por los mismos motivos que el punto anterior.
- En el presente proyecto se está analizando el diseño de un sistema muy genérico para la captación de datos que fomenten y ayuden a la investigación de enfermedades no comunes. Para cada una de estas será más importante la información de uno u otro tipo de nodo sensor, por lo que los implantes deberían seleccionarse y particularizarse en consecuencia al ser una solución tan agresiva hoy en día para los pacientes.

Del mismo modo ocurre con los nodos actuadores, la tercera rama presente en la **Tabla 1**. También complicarán el diseño y aumentarán los costes, esto junto con la todavía actual desconfianza en estas tecnologías hacen que sea inviable contemplar la opción de incluirlos en un diseño tan general. Sí sería interesante como línea futura caracterizar este sistema para una enfermedad específica y evaluar las posibilidades de estos para ese caso particular.

Esto no quiere decir que los implantes de nodos sensores o actuadores no tengan posibilidades, ya que haciendo un estudio actual de los avances de las tecnologías en este campo se pueden encontrar proyectos muy interesantes y que sin duda a futuro aportarán muchas ventajas. Un ejemplo para destacar serían los “nanoimplantes”, una tecnología menos invasiva con dispositivos muchísimo más pequeños, que no interactúan o interfieren con las funciones naturales del organismo y aportan muchos beneficios y posibilidades de mejora de los dispositivos existentes. <sup>[34]</sup>

Pero como ya se ha dicho, esta información solo se proporciona al lector por estar fuertemente relacionada con los objetivos de este proyecto y para exponer las distintas posibilidades que podrían tener las particularizaciones de esta solución. Aquí no se utilizará este tipo de nodos por los motivos antes mencionados, sino que todos serán nodos externos que no requieran ningún tratamiento quirúrgico.

Para comenzar, se define el listado de parámetros fisiológicos que permitirá medir y tratar esta solución:

- La temperatura
- La presión arterial
- Señal electrocardiográfica
- Frecuencia cardíaca
- Frecuencia respiratoria
- Saturación de oxígeno

Ahora bien, ¿por qué se han elegido estos? Puede parecer que se esté evaluando de nuevo un sistema de captación de datos de carácter sanitario más como los expuestos en el punto del estado del arte del proyecto. Se han elegido parámetros muy comunes hoy en día y muy fáciles de medir gracias a los avances en las tecnologías y a la accesibilidad a sensores para ello. Sin embargo, ya se ha repetido en numerosas ocasiones que la finalidad de este proyecto es fomentar la investigación. En este punto es interesante exponer un caso real para comprender la importancia de las lecturas de estos valores en el día a día de personas que padecen enfermedades no comunes y como se puede aportar información y fomentar la investigación de estas. Este es el caso de Sergio, un niño con síndrome de Dravet <sup>[35]</sup>, que ha tenido que hacer frente a muchísimos impedimentos, consecuencias entre otros aspectos de una mala decisión de tratamiento. Este síndrome provoca, entre otros muchos síntomas, dificultades en el movimiento y en el equilibrio y afecciones ortopédicas, sin embargo, hay otras muchas consecuencias o factores que afectan que requieren de una investigación fuera de patrones médicos establecidos como, por ejemplo, los ataques epilépticos. En este punto medir cualquier parámetro y tener un seguimiento personalizado y casi diario de los pacientes podría aportar nueva información y ayudar a la investigación de este tipo de causas, donde cualquier granito de arena será bien recibido y fomentará el crecimiento, la investigación y dará facilidades y herramientas a los especialistas para conseguir mejores resultados.

Estos valores se medirán a través de los dispositivos *wearables* y/o de los dispositivos médicos de los centros de investigación, y se enviarán al centro de procesamiento del centro, donde se procesarán y tratarán para obtener resultados estadísticos.

Con lo que ya se tiene un listado de servicios que ofrecerá este sistema:

SERVICIOS		FUENTES DE DATOS
Control de la temperatura corporal	Incluido tanto en los dispositivos <b>wearables</b> como en los dispositivos médicos del <b>centro de investigación</b>	Sensor de Temperatura
Control de la presión arterial		Sensor tensiómetro
Control de la actividad física cardíaca.		Sensor ECG
Control de frecuencia respiratoria.	Solo incluido en los <b>centros de investigación</b>	Sensor de frecuencia respiratoria
Control de la saturación de oxígeno.		SpO2

Tabla 5 Listado de servicios del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación, con sus respectivas fuentes de datos

Se utilizarán distintos tipos de sensores para obtener información y proporcionar cada uno de los servicios expuestos en la **Tabla 5**. Algunos de estos estarán incluidos en los dispositivos de usuario mientras que otros solo estarán disponibles en los centros de investigación por la metodología de uso.

Además de esto, como ya se ha dicho, habrá una línea dedicada al voluntariado de forma que cualquier usuario que quiera participar en el proyecto podrá enviar sus datos. Esto hace que el diseño tenga que ser lo suficientemente versátil para no condicionar a utilizar un dispositivo específico, sino que se permita que el usuario elija entre los disponibles en el mercado y con la instalación de una aplicación móvil pueda participar. Ahora bien, realizar una aplicación compatible con todos los dispositivos es complicado, por lo que inicialmente lo más prudente es elegir una lista de dispositivos compatibles con los que se trabajará para después ir la ampliando con el crecimiento del proyecto. En el desarrollo de este proyecto no se va a entrar a diseñar dicha aplicación, por lo que este estudio, análisis y selección se presenta como una posible línea futura. Lo que sí entra en el ámbito de este proyecto es la selección de sensores para elegir los servicios que se proporcionarán, por lo que se ha estudiado cuales son los sensores que la mayoría de estos dispositivos contienen llegando a los presentados en la **Tabla 5**. Como justificación a esta conclusión y para proporcionar información adicional al lector se expone un breve estudio inicial de los distintos tipos de dispositivos *wearables* en el apartado “**8.1. Anexo 1: Breve estudio de los dispositivos wearables de mercado**”

Haciendo un análisis de las características de los sensores se llega a los resultados de la siguiente tabla:

Fuente de datos	Características					
	analógica/discreta	Datos críticos voluntarios	Datos críticos Pacientes	Datos críticos centro de investigación	Interpretación de la info	Inalámbrico
Sensores de temperatura	Discreto	Bajo	Medio	Alto	Directa	SI
Sensor tensiométrico						
Sensor ECG		NA	NA			
Sensor de frecuencia respiratoria		NA	NA			
SpO2		NA	NA			

Tabla 6 Características de las fuentes de datos del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación

Lo primero hay que indicar que el acrónimo NA significa “No aplica” en la **Tabla 6**, es decir, que esos casos no se dan para el tipo de usuario.

Todos los sistemas serán inalámbricos. Si se repasa de nuevo el esquema del diseño propuesto todas las comunicaciones que se plantea utilizar son inalámbricas por lo que los distintos puntos no estarán conectados con ninguna infraestructura cableada. Con esto, la información que recojan estos sensores será enviada de forma inalámbrica a los siguientes bloques del sistema.

Respecto a la naturaleza de las señales de estos sensores en todos los casos será discreta, es decir, se utilizarán sensores digitales. Los sensores disponibles en los dispositivos *wearables* son digitales, por lo que los tres primeros de la **Tabla 6** que deben estar disponibles tanto en estos dispositivos de usuario como en los equipos sanitarios de los centros de investigación serán de naturaleza discreta y la interpretación de la información será directa sin necesidad de ningún módulo conversor. Los dos últimos solo estarán presentes en los centros de investigación, por lo que dependerán del equipamiento utilizado en los mismos. En concreto los sensores de frecuencia respiratoria siempre son digitales, mientras que los de SpO2 pueden ser también analógicos. Por simplificar el diseño, se han elegido unificar todos los tipos de sensores y utilizar los digitales, evitando así utilizar conversores analógico-digitales para interpretar la información recibida que aumentan la complejidad del diseño y pueden introducir un factor de error en el sistema.

Por último, el estudio de la criticidad de los datos para cada servicio se ha dividido de acuerdo con su usabilidad, si el dato viene de voluntarios, pacientes o si se ha medido directamente con los dispositivos médicos de los centros de investigación.

Se ha considerado a los datos provenientes de los equipos de los centros de investigación como muy críticos, ya que estos dispositivos deberían tener una muy baja probabilidad de error y proporcionar datos altamente fiables. Por haberse catalogado como dispositivos sanitarios deben haber pasado unas severas pruebas técnicas y cumplir con unas especificaciones muy críticas.

Los datos recopilados de los dispositivos *wearables* sin embargo se dividen de acuerdo con el tipo de usuario. Si los datos provienen de voluntarios no serán tan críticos y aceptarán una mayor probabilidad de error que si vienen de pacientes. Aquí se entiende que por utilizarse sensores a precio de mercado los datos no serán siempre correctos y habrá que tenerlo en cuenta durante el diseño de las aplicaciones de tratamiento, es decir, de acuerdo con el que se elija tendrá unas especificaciones técnicas diferentes y con ello unas dificultades y retos a la hora de interpretar esa información, pero no se quiere cerrar la posibilidad de que sea el usuario quien elija qué dispositivo quiere utilizar. En estos diseños hay que tener en cuenta que los pacientes no deberían sentirse diferentes al resto de personas y hacer un dispositivo específico para ellos puede suponer que por llevarlo se les identifique y se les catalogue en su día a día apareciendo un rechazo hacia ellos. La prioridad de estos proyectos como ya se ha dicho es el paciente, por lo que hay que tener en cuenta a la hora del diseño que la finalidad es que esté integrado en la sociedad y que pueda llevar una “vida normal”.

Con todo esto, ya se pueden definir el listado de requerimientos y especificaciones para cada uno de los servicios ofrecidos:

		Requerimientos y especificaciones del servicio							
		Throughput (velocidad de transmisión)	Probabilidad de error	Identificar posibles fuentes de interferencia	Latencia	Disponibilidad de sistema	Cobertura (area y características) y rango (distancia a nodo)	Escalabilidad	Seguridad
Servicios	Control de la temperatura corporal	WBAN: ~ 721 Kbps WLAN: ~ 1.3 Gbps	Media para wearables ( $\sim 10^{-6}$ PFD)	Edificios y obstáculos	Media para wearables (400ms)	Media	WBAN: Area y rango pequeño (cm-m) e inalámbrico WLAN: Area y rango grande (kms) e inalámbrico	Alta	Alta
	Control de la presión arterial		Baja para centros de investigación ( $\sim 10^{-6}$ PFD)		Baja para centros de investigación (100ms)				
	Control de la actividad física cardíaca		Baja ( $\sim 10^{-6}$ PFD)		Baja (100ms)	Alta			
	Control de frecuencia respiratoria								
	Control de la saturación de oxígeno								

Tabla 7 Listado de requisitos y especificaciones del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación

El acrónimo que aparece para medir la probabilidad de error, PFD, se refiere a la probabilidad de error bajo demanda (*Probability of Failure on Demand*).

En este punto, para cada uno de los requisitos habrá que diferenciar entre:

- El tipo de red que se necesita utilizar en cada punto del esquema para poder dar el servicio.
- La localización de los nodos sensores: dispositivos *wearables* o equipos del centro de investigación.

Entendiendo todo esto, se procede a explicar y desarrollar las decisiones tomadas para cada parámetro.

Para las redes WLAN y las redes 5G las velocidades de transmisión serán notablemente más elevadas que para las WBAN. En el caso de las primeras las distancias entre nodos serán mayores y las tecnologías que se pueden utilizar para su implementación consiguen cifras de velocidad muy superiores como se puede ver haciendo una comparativa entre las características de diseño de ambos tipos de redes expuestas en el apartado 3.1 de esta memoria.

En el análisis de las interferencias lo que ocurrirá es parecido. Las redes WLAN y 5G tendrán que hacer frente a un mayor número de obstáculos, incluyéndose los presentes en espacios urbanos como por ejemplo edificios y los geográficos como por ejemplo las montañas, mientras que las redes WBAN son de más corto alcance por lo que tendrán que hacer frente a un menor número de obstáculos, en concreto únicamente al cuerpo humano. Sin embargo, aunque con esto parezca que el diseño de las primeras para hacer frente a estas interferencias será más complicado y costoso, la influencia de este factor en cada una será diferente de forma que, aunque haya menos obstáculos o estos sean de menor tamaño en las segundas, en cada caso las interferencias afectarán en igual medida a cada una de las redes. Las distintas tecnologías que se pueden utilizar en cada caso ya proponen soluciones a este inconveniente en una u otra medida y en ambos casos este parámetro será vital para el diseño.

Este mismo análisis realizado para los dos factores anteriores se puede aplicar al parámetro de cobertura de las redes.

Respecto a los parámetros de probabilidad de error y de latencia la diferenciación vendrá dada por el tipo de nodos utilizados o la fuente de información: centro de investigación o dispositivos *wearables*. Los dispositivos utilizados en los centros de investigación tendrán que ser mucho más precisos en sus mediciones ya que se trataran de equipos sanitarios certificados mientras que, para las realizadas por los sensores de los dispositivos *wearables* el sistema será más flexible en cuanto a exactitud.

El parámetro de disponibilidad también está algo relacionado con esta diferenciación por tipo de nodos, así los que pertenecen a los centros de investigación por el mismo motivo tendrán que garantizar una alta disponibilidad mientras que para los de los dispositivos *wearables* o de usuario no será tan estricto.

Por último, los parámetros de escalabilidad y seguridad del sistema son independientes al tipo de red o nodos utilizados.

En primer lugar, se requerirá que el sistema sea altamente escalable por la arquitectura planteada en el diseño y el objetivo de este proyecto. Como se ha visto en los puntos introductorios de esta memoria, 1 y 2, el diseño de este tipo de proyectos ha de estar dirigido a los pacientes y, hoy en día, los profesionales sanitarios proporcionan atención a miles de personas, es decir, el número de pacientes crece exponencialmente. Este proyecto es para ellos, por lo que debe adaptarse y permitir, por un lado, que cada vez más personas puedan utilizarlo (que aumente el número de nodos) y, por otro lado, que se pueda añadir información de otros parámetros fisiológicos para ayudar a los profesionales en su día a día (que aumente el tipo de nodos).

Y, en segundo lugar, el sistema tiene que ser seguro. Del mismo modo, durante el desarrollo de este proyecto ya se ha mencionado que uno de los puntos críticos en el diseño de este tipo de proyectos es el anonimato y la confidencialidad de los datos de los pacientes.

Hasta aquí, en este documento ya se han presentado los siguientes puntos:

- Comprensión del problema y definición
- Evaluación de los recursos e identificación de retos

Antes de concluir y entrar en la fase de análisis también es interesante identificar las fuentes de interferencia y ruido y en especificar las características del medio tanto a nivel físico como de acceso.

Respecto a la capa física se pueden resumir los requisitos en la siguiente tabla:

Servicio	QUÉ CANAL	CANAL CRÍTICO	INTERFERENCIAS/RUIDO (BAJA SNR)	REQUERIMIENTOS DEMASIADO EXIGENTES DE PRESTACIONES (elevada velocidad de transmisión, muy baja probabilidad de error)	POCOS RECURSOS (potencia/ ancho de banda)
Control de la temperatura corporal	Inalámbrico	Wearables: NO Centros de investigación: SI	Entorno con muchas interferencias y ruido, baja SNR (SNR 18dB aprox)	En general, los requerimientos no son exigentes a excepción de los centros de investigación: dispositivos sanitarios	Redes WBAN: Poco recurso de potencia (transmisores) General: Espectro compartido con otras aplicaciones (limitación en ancho de banda)
Control de la presión arterial					
Control de la actividad física cardiaca.					
Control de frecuencia respiratoria.		SI			
Control de la saturación de oxígeno.					

Tabla 8 Requisitos de la capa física del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación

Como ya se ha explicado hasta ahora todos los sistemas serán inalámbricos y se trabajará sobre un entorno con una fuerte influencia de interferencias y ruido. Para el análisis del resto de parámetros de nuevo hay que hacer una diferenciación de acuerdo con el tipo de red y el tipo de nodos utilizados.

Así, para los dispositivos *wearables* o de usuario que se utilizarán en la red WBAN el canal no será crítico, mientras que para los de los centros de investigación sí. Esta condición viene dada por la probabilidad de error requerida por cada uno de ellos y que el diseño de los segundos requiere del uso de dispositivos sanitarios certificados que cumplirán con especificaciones más rígidas.

En cuanto al tipo de red, en general todas las redes utilizarán un espectro compartido con otras aplicaciones ya sean de este proyecto o ajenas lo que provocará unas limitaciones de ancho de banda. Y además de esto, las redes WBAN, como se vio en el punto 3.1, contarán con otras limitaciones como pocos recursos de potencia para los transmisores.

Si ahora se hace un análisis de la capa de acceso al medio del sistema se tiene que:

Servicio	MEDIO COMPARTIDO ENTRE USUARIOS	EL SIST. GENERA INTERFERENCIAS	MECANISMOS DE ACCESO
Control de la temperatura corporal	SI	SI	Acceso por contienda/ dinamico CON prevención de colisiones
Control de la presión arterial			
Control de la actividad física cardiaca.			
Control de frecuencia respiratoria.			
Control de la saturación de oxígeno.			

Tabla 9 Requisitos de la capa de acceso al medio del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación

En este caso todos los servicios comparten especificaciones. En primer lugar, habrá un gran número de usuarios accediendo al medio, por lo que la definición de la arquitectura a usar para el sistema también estará limitada para poder controlar y escalar este sistema. Se trabajará en un espectro compartido con otros servicios, para cada tipo de red que se utilizará en el diseño del sistema se utilizará una tecnología que trabaje en unas bandas de frecuencia estándar que también utilizan otras aplicaciones externas a este proyecto (red móvil, TV, radio, GPS, BLT, ...). Por último, todos los nodos compiten por el uso del medio, pero tienen un plan si se producen colisiones de forma que habrá unos mecanismos de acceso al medio mediante la autenticación encriptada de los usuarios garantizando la seguridad del sistema.

### 3.2.2. Segunda fase

Se va a proponer una solución de diseño del sistema de acuerdo con los requisitos y las especificaciones analizadas en el punto anterior.

Para ello, hay que realizar un trabajo previo consiguiendo:

- El listado de **objetivos** a conseguir
- El listado de **retos** a los que hacer frente

Cada uno de estos puntos estarán relacionados entre sí, de forma que para cada uno de los objetivos se asociarán un listado de retos a tener en cuenta para definir la propuesta de **solución**.

Con lo visto en el punto 1 de esta memoria, el objetivo del diseño descrito en este apartado es:

- Diseñar un sistema de captación de datos que permita monitorizar parámetros fisiológicos con el fin de aportar información adicional a profesionales del sector para el estudio de enfermedades. Para ello este objetivo se subdivide en:
  - Diseño del subsistema del centro de investigación.
  - Diseño del subsistema particular de los usuarios/pacientes.

Lo que se dividirá en un listado de servicios o subsistemas para conseguirlo. En este punto ya no se va a hacer una distinción por los servicios del punto anterior ya que todos tienen una base de funcionamiento común, y esta viene dada por el esquema del sistema para un centro de investigación que se veía en la **Ilustración 6**.

Así, el análisis de este apartado ahora se dividirá en el estudio de los siguientes tres subsistemas:

- **Captación y recopilación de los datos y la información** de los parámetros fisiológicos de los pacientes utilizando una red WBAN, tanto en los centros de investigación como a nivel de usuario con dispositivos *wearables*.
- **Envío de la información a un centro de procesamiento** asignado a un centro de investigación para el almacenamiento y el tratamiento de esta.
- **Envío de los resultados obtenidos** en el punto anterior **a los sistemas de muestra de información** de los usuarios y de los centros de investigación

Cada uno perseguirá un objetivo específico y contendrá un listado de retos a los que debe hacer frente la solución propuesta. Por este motivo, a partir de aquí se va a dividir este apartado de la memoria de acuerdo con estos subsistemas.

Pero además de entrar en esto, hay que destacar una cosa más. Como ya se ha visto en el apartado anterior muchos de los requisitos del sistema vienen diferenciados por el tipo de red utilizada, lo que repercutirá también en este punto.

Para comprender mejor la diferencia respecto al tipo de red utilizada se exponen a continuación un diagrama general de funcionamiento de los servicios ofrecidos:

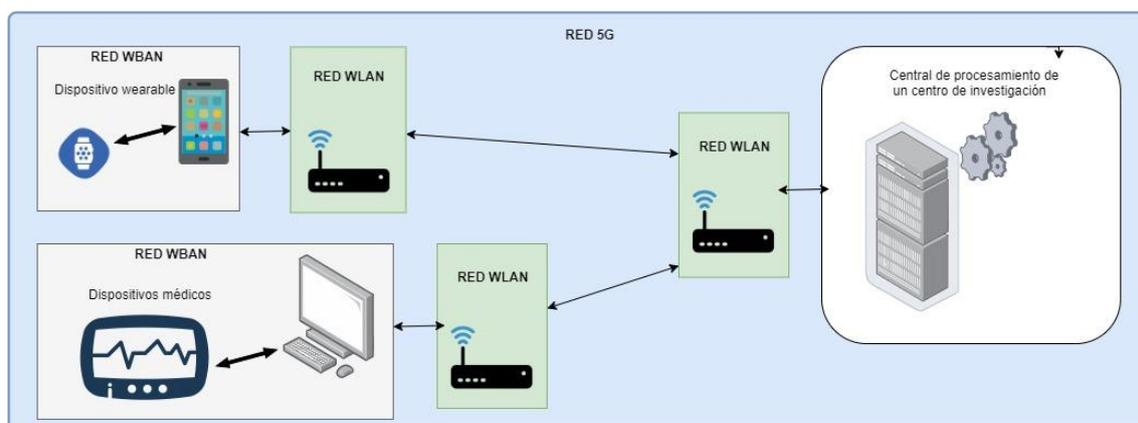


Ilustración 12 Diagrama de conexiones del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones de un centro de investigación

Las redes WBAN conectarán los nodos sensores con las aplicaciones de captación y recopilación de información para después enviarla al centro de procesamiento del centro de investigación utilizando una red 5G con acceso a través de una red WLAN.

Como ya se ha dicho, cada una de estas redes puede utilizar distintas tecnologías de comunicación. En los puntos anteriores ya se hizo un análisis de cada una de estas posibilidades.

En concreto, para las redes **WLAN** se eligió el **estándar IEEE 802.11ac** cuyas características se impondrán en el diseño de este proyecto y habrá que revisar los requisitos impuestos en el punto anterior.

Para la comunicación entre los distintos bloques del sistema se escogió las redes **5G** que también impondrán sus características en el diseño.

Respecto a las redes **WBAN** se citaron las distintas posibilidades de tecnología a elegir para establecer la comunicación, teniendo en cuenta que unas no eran mejores que otras, sino que dependía de la aplicación y del tipo y la ubicación de los nodos sensores. En este caso para analizar cuál de las opciones sería la más acertada hay que tener en cuenta que:

- Se van a utilizar dispositivos *wearables* actuales del mercado, los cuales en su mayoría se comunican mediante Bluetooth y principalmente utilizan estándares de bajo consumo.

- Como en este proyecto solo se utilizarán nodos externos al cuerpo humano, pero si se quiere incluir de cara a futuro el uso de nodos internos, es importante que esta decisión no afecte después a un cambio en la arquitectura del sistema. Esto junto con lo visto en el punto anterior hacen que las mejores opciones sean *Bluetooth Low Energy* o *Zigbee*, que presentan un consumo mínimo de energía.
- Del mismo modo, como se están utilizando dispositivos de mercado, con esta tecnología de baja energía se consigue una latencia mínima que es un factor importante en el diseño de aplicaciones médicas.
- Por otro lado, para un entorno hospitalario la influencia de la *RF* es muy elevada por lo que lo óptimo sería utilizar *UWB*. Sin embargo, este proyecto no solo está enfocado a estos entornos, sino a cualquier instalación de investigación por lo que para unificar la solución propuesta de forma independiente a la localización de los nodos se propone utilizar *Bluetooth* también para los dispositivos alojados en los centros de investigación.
- Por último, las distancias entre los nodos y los dispositivos de control serán mínimas. En el caso de los dispositivos de usuario, el paciente contará con una aplicación móvil y el dispositivo *wearable* de medición, por lo que prácticamente estarán a centímetros uno de otro. Y en el caso de los centros de investigación, los profesionales tendrán una aplicación para ordenador o móvil y estos dispositivos estarán en la misma sala que los equipos sanitarios de medida, como mucho a unos pocos metros.

Así, concluyendo para las redes WBAN se elige ***Bluetooth Low Energy*** como tecnología de comunicación. Esto junto con las características de este tipo de redes ya descritas anteriormente, influirá en el diseño de este proyecto y habrá que revisar los requisitos impuestos en el punto anterior.

Ahora, teniendo en cuenta estas elecciones se van a desarrollar las soluciones para cada uno de los subsistemas en distintos subapartados haciendo el análisis pertinente de los retos.

Así, este apartado se divide en otros tres:

- Subsistema 1: Captación y recopilación de la información
- Subsistema 2: Envío de la información a un centro de procesamiento
- Subsistema 3: Envío de los resultados obtenidos a los sistemas de muestra de información

Y por último habrá un cuarto subapartado en el que se realizará un análisis y una comparación entre los resultados obtenidos en la fase de diseño y los requisitos que se impusieron en el apartado anterior con las consecuentes modificaciones de los últimos.

### 3.2.2.1. Subsistema 1: Captación y recopilación de la información

Objetivo: “Obtener los datos de los sensores utilizando una red WBAN, tanto en los centros de investigación como a nivel de usuario con dispositivos *wearables*”.

#### Listado de retos:

- Sistema de bajo consumo  
Se requerirá que el consumo del sistema sea mínimo.
- Espectro compartido.  
Al encontrarse el sistema situado dentro de una población habrá múltiples aplicaciones y dispositivos que hagan uso del espectro.
- Entorno multicamino.  
Los dispositivos están situados en un entorno rodeado de obstáculos.
- Impacto en el cuerpo humano  
Al encontrarse los nodos situados en el cuerpo humano debe ser inocuo a la salud.

#### Solución propuesta:

La solución pasa por el diseño de una red **WBAN**. Se quiere diseñar una red *wireless* que permita captar los datos provenientes de distintas fuentes de información:

- Entre los dispositivos de usuario con nodos sensores o dispositivos wearables y una aplicación móvil.
- Entre los dispositivos médicos de captación de los centros de investigación y una aplicación.

Así, las características de esta red vendrán dadas por las propias de las redes WBAN que se estudiaron en el punto 3.1.1 de esta memoria:

- Tasa de transmisión entre 10 Kb/s y 10 Mb/s.
- Packet Error Rate (PER) menor del 10%.
- Soporte teórico de hasta 256 nodos en cada WBAN
- Los nodos deben ser capaces de brindar comunicación confiable incluso cuando la persona está en movimiento.
- La latencia debe ser menor a los 125 ms en aplicaciones médicas.
- Potencia máxima de transmisión de 1mW (0 dBm); mínima de 0.1 mW (-10 dBm).
- Posibilidad de operar en ambientes heterogéneos conviviendo con otro tipo de redes.
- Incorporación de mecanismos para regular la Quality of Service (QoS).
- Incorporación de mecanismos de ahorro energético.

Y, como ya se ha dicho, la tecnología de comunicación que se utilizará será Bluetooth, en concreto el más utilizado es el **Bluetooth 4.0** conocido también como **Bluetooth BLE** que se trata de un tipo de Bluetooth Low Energy. Con esto, se establecerá un enlace entre los dispositivos por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz que tendrá las siguientes características <sup>[36]</sup>:

- La tecnología *Bluetooth* siempre requiere un compromiso entre la velocidad de transmisión de datos, el alcance y el consumo de energía. En concreto para esta versión propuesta, en modo *Low Energy* necesita muy poca energía, pero apenas alcanza una velocidad de 1 Mb/s a una distancia de hasta 10 metros. En condiciones normales se puede conseguir una velocidad máxima de 25 Mb/s, lo que hace que el alcance y la demanda de energía eléctrica aumenten de manera proporcional consiguiendo alcances entre 50 y 150m.
- Un receptor de *Bluetooth* de baja energía está diseñado para tolerar un BER máximo de sólo alrededor del 0,1%
- Su potencia máxima de transmisión está limitada por los organismos reguladores (para RF +21dBm) y además por tratarse de una tecnología inalámbrica de baja potencia se incluyen otras restricciones para maximizar la duración de la batería de forma que el límite está en los +4dBm, y ocasionalmente +8dBm. Esto permite utilizar la necesaria en una red WBAN de 0dBm.
- Las tecnologías inalámbricas de baja potencia generalmente requieren la transferencia periódica de pequeñas cantidades de información del sensor entre los nodos de sensores y un dispositivo central, minimizando el consumo de energía, por ello los anchos de banda suelen ser modestos.

En este proyecto la velocidad de transmisión no es un factor crítico, como se acaba de ver en los requisitos de las redes WBAN no se requieren valores muy elevados de este parámetro mientras que el consumo de energía si lo es, por lo que la mejor opción para el diseño de esta aplicación sería trabajar con el modo *Low Energy* de este tipo de *Bluetooth* con 1Mb/s de velocidad de transmisión, que entra dentro del rango impuesto por este tipo de redes [10Kbps,10Mbps].

Por otro lado, respecto al alcance los dispositivos entre los que se establecerá esta comunicación estarán relativamente cerca y con los 10 metros de cobertura que ofrece esta tecnología en estas condiciones sería suficiente.

Esto último a su vez puede ser útil también para solventar el problema de la compartición del espectro con otras aplicaciones externas. A pesar de que el espectro de esta tecnología de comunicación esté saturado y el acceso en este punto se realice por contienda, se puede encontrar una solución gracias a la cercanía de los dispositivos entre los que se establece la comunicación y que se incluirá un sistema de prevención de colisiones basado en la autenticación

de los usuarios. En este punto también es importante destacar que con esta tecnología se requiere una vinculación inicial entre los dispositivos lo que aporta seguridad al sistema.

El problema del multicamino de la señal y las interferencias provocadas por obstáculos también se ve solucionado con esta tecnología de nuevo gracias a la corta distancia entre los dispositivos intercomunicados y a la visión casi directa en la mayoría de los casos entre ellos.

Por último, el mayor reto que tendrá el diseño de esta red viene dado por el objetivo principal del proyecto, su aplicación en el sector sanitario. La captación de información se produce en contacto directo con el cuerpo humano lo que conlleva a tener en cuenta el fuerte requisito de este tipo de trabajos: la inocuidad del sistema o, lo que es lo mismo, la medición ha de ser no invasiva.  
[37]

En general se deben cumplir un conjunto de requisitos mínimos para asegurar que las medidas obtenidas puedan ser usadas en tratamientos médicos:

- Sistema verdaderamente no invasivo
- Alta precisión y resolución
- Sistema pequeño y compacto
- Capacidad de medida en cualquier parte del cuerpo
- Precio razonable
- Fácil de adaptar su uso con otros equipos

Con la solución propuesta la mayoría de los objetivos se conseguirían gracias al uso de los dispositivos *wearables*. Además, esto también puede asegurarse teniendo en cuenta que la tecnología elegida es Bluetooth que es de baja potencia y sus señales RF son formas de radiación no ionizante.

En resumen, las características del diseño de esta red utilizando la tecnología *Bluetooth Low Energy* son:

- Velocidad de transmisión: 1Mbps
- Alcance: 10m
- Potencia de transmisor de 0dBm
- Probabilidad de error baja
- Latencia menor a 125ms

### 3.2.2.2. Subsistema 2: Captación y recopilación de la información

Objetivo: “Envío de la información a un centro de procesamiento asignado a un centro de investigación para el almacenamiento y el tratamiento de esta”.

#### Listado de retos:

- Espectro compartido.

Al encontrarse el sistema situado dentro de una población habrá múltiples aplicaciones y dispositivos que hagan uso del espectro.

- Entorno multicamino.

Los dispositivos están situados en un entorno rodeado de obstáculos.

- Compatibilidad de dispositivos

Los dispositivos tienen que poder trabajar en la banda seleccionada, en este caso 5GHz.

#### Solución propuesta:

La solución en este caso pasa por el uso de una red *wireless* utilizando una WLAN, en concreto se ha elegido el estándar IEEE 802.11ac, y una red 5G.

En este punto es importante comparar los requisitos de ambos tipos de redes. De acuerdo a lo desarrollado en el apartado 3.1 de esta memoria, se puede concluir que las redes WLAN tienen requisitos mucho más restrictivos de forma que para el diseño si se cumple con estos también se cumplirá con los dados para las redes 5G. Por este motivo, a partir de aquí únicamente se evaluarán los de las redes WLAN como solución al sistema entendiéndose que esta también será válida para las redes 5G.

Los requisitos y características de este tipo de redes como ya se vio eran:

- Velocidad de transmisión de 1.3Gbps.
- Banda de frecuencia de 5GHz
- Ancho de banda de canal opcional de 160 MHz y obligatorio de 80 MHz para estaciones
- Hasta 8 flujos MIMO
- Modulación de alta densidad, 256-QAM

En este caso el problema de saturación que presenta el espectro de los 2.4 GHz se soluciona utilizando esta tecnología que trabaja en el de los 5GHz y que no tiene este problema a tan gran escala. El número de dispositivos que trabajan sobre este espectro es mucho menor por lo que la banda está más desocupada y el sistema no sufre cortes ni interferencias.

Por otro lado, respecto a su comportamiento frente a las interferencias y el multicamino de la señal a este estándar, gracias al envío direccional de datos,

no le afectan tanto las paredes ni los obstáculos. Los routers Wireless AC o WiFi AC utilizan el Beamforming, que dirige la señal WiFi directamente al lugar donde se encuentran los dispositivos conectados. Esta tecnología permite reducir el efecto de los obstáculos y aprovechar al máximo la velocidad de conexión.

El único requisito es que para este diseño será obligatorio utilizar *routers* compatibles con esta tecnología y que además permitan la comunicación con la red 5G.

### **3.2.2.3. Subsistema 3: Envío de los resultados obtenidos a los sistemas de muestra de información**

Objetivo: “Envío de los resultados obtenidos en el punto anterior a los sistemas de muestra de información de los usuarios y de los centros de investigación”.

En este caso el listado de retos y soluciones propuestas es igual que el del apartado anterior, ya que se reutilizará la misma red WLAN y la misma red 5G para establecer la comunicación en el sentido inverso. Esto es, los sistemas de muestra al usuario se ubicarán sobre las mismas aplicaciones móviles y para ordenador que almacenaron la información de los sensores en el primer subsistema y la enviaron al centro de procesamiento del segundo.

### 3.2.2.4. Revisión de los requerimientos planteados en la fase 1

Revisando los requisitos y las especificaciones impuestos en la fase 1 del diseño de esta propuesta se puede ver que hay ligeras diferencias:

- En cuanto a la velocidad de transmisión, la impuesta para las redes WLAN y 5G era correcta mientras que para las redes WBAN será ligeramente superior modificándose este valor a 1Mbps.
- Respecto a la probabilidad de error ocurre algo similar, para las redes WLAN y 5G se eligió bien, pero para las redes WBAN en realidad habrá que considerarla también baja.
- Lo mismo ocurre con la latencia, que para las redes WBAN ha de ser mucho menor pasando de los 400ms a máximo 125ms.

El resto de los parámetros están bien definidos, con lo que la tabla de requerimientos y especificaciones hay que actualizarla así:

	Throughput (velocidad de transmisión)	Probabilidad de error	Identificar posibles fuentes de interferencia	Requisitos y especificaciones del servicio			Escalaibilidad	Seguridad		
				Latencia	Disponibilidad de sistema	Cobertura (area y características) y rango (distancia a cubrir).				
Servicios	Control de la temperatura corporal	WBAN: * 721Kbps WLAN: * 1.3 Gbps	Baja (*10 <sup>-4</sup> PDF)	Edificios y obstáculos	Baja para wearables (max. 125ms)	Media	WBAN: Area y rango pequeño (cms-m) e inalámbrico WLAN: Area y rango grande (kms) e inalámbrico	Alta	Alta	
	Control de la presión arterial				Baja para centros de investigación (100ms)					
	Control de la actividad física o cardíaca.				Baja (100ms)					Alta
	Control de frecuencia respiratoria.									
	Control de la saturación de oxígeno.									

Tabla 10 Actualización de la Tabla 7 con la revisión de los requisitos

Del mismo modo, haciendo un estudio de las características de la capa de enlace aparecen modificaciones. De nuevo, las redes WLAN y las 5G se habían caracterizado bien pero hay diferencias para las WBAN:

- Respecto a la potencia máxima permitida se impondrá el requisito de 0dBm.
- Como la probabilidad de error y la latencia se ha modificado ahora todos los servicios serán críticos.
- Y aparecerán los requisitos de baja probabilidad de error y de bajo consumo de energía.

Quedando la tabla entonces así:

Servicio	QUÉ CANAL	CANAL CRITICO	INTERFERENCIAS/RUIDO (BAJA SNR)	REQUERIMIENTOS DEMASIADO EXIGENTES DE PRESTACIONES (elevada velocidad de transmisión, muy baja probabilidad de error)	POCOS RECURSOS (potencia/ ancho de banda)
Control de la temperatura corporal	Inalámbrico	SI	Entorno con muchas interferencias y ruido, baja SNR (SNR 18dB aprox)	Los dispositivos de los centros de investigación deben tratarse de equipos sanitarios. Para las redes WBAN baja probabilidad de error y bajo consumo de energía	Redes WBAN: Poco recurso de potencia (0dBm) General: Espectro compartido con otras aplicaciones (limitación en ancho de banda)
Control de la presión arterial					
Control de frecuencia respiratoria.					
Control de la saturación de oxígeno.					

Tabla 11 Actualización de la Tabla 8 con la revisión de los requisitos

Respecto a la capa física no hay diferencias, se mantiene la que estaba, **Tabla**

### 3.3. Análisis de la escalabilidad del sistema hacia la solución global.

En el apartado anterior se definió el diseño de la comunicación entre pacientes y un centro de investigación, pero ¿qué pasaría si un paciente quisiera en algún momento acudir a otro centro?, o si varios centros trabajasen con pacientes con la misma enfermedad o los mismos síntomas ¿no sería interesante que pudiesen compartir sus estudios? [38]

Actualmente, la sociedad ha ido evolucionando hacia el concepto de globalización y de un mundo sin fronteras. Estos conceptos hacen referencia a un proceso mundial en el que se incluyen sociedades, mercados, culturas, ciencias y relaciones internacionales con el fin de un comercio único, donde su mayor persistente es el cambio. La idea principal es eliminar las barreras entre países y establecer una igualdad de condiciones y medios para todas las personas a nivel mundial. [39] [40] [41]

Esto también incluye al sector sanitario, de forma que todos los recursos y medios sean accesibles de igual modo para cualquier persona. La globalización de la salud se entiende como un problema global alrededor de un bien esencial, centrado en los valores humanos, enfrentado a la desigualdad y apoyado en una conciencia sanitaria universal.

Con esta idea se presentan muchas oportunidades dentro del sector, desde las facilidades a nivel personal hasta el impulso que provoca sobre la investigación y los avances científicos en este sector. Así, como ya se ha dicho en el punto introductorio de este proyecto, uno de los objetivos que se perseguirá será el de:

- Escalar el diseño para almacenar, procesar y centralizar la información recopilada.

Así, el resultado de este apartado será una propuesta de diseño de una red a nivel global que interconexione y comunique los distintos centros de investigación proporcionando:

- Libertad geográfica a los pacientes y usuarios
- Una mayor cantidad de información y datos y facilidad a su acceso independientemente de su procedencia geográfica a los profesionales sanitarios facilitándoles su trabajo.

Análogamente al apartado anterior, se dividirá en dos fases:

- En la primera se hará un análisis del problema. Para ello se realizará la identificación y caracterización de las fuentes de información y se definirán los objetivos y los retos. Se conseguirá un listado de los requerimientos principales para el diseño del sistema.
- En la segunda fase, se realizará un análisis del resultado obtenido en el apartado anterior y se propondrán soluciones de diseño.

### 3.3.1. Primera fase

En este punto se van a definir las especificaciones técnicas del sistema a diseñar dentro de la comunicación entre varios centros de investigación.

En este caso el objetivo perseguido se puede subdividir en:

- **Recibir** la información de los centros en un nodo central
- **Enviar** la información desde el nodo central al centro que lo solicite

Es decir, todos los centros de investigación se comunicarán con un nodo central global con una topología de estrella donde se almacenará la información de todos ellos y al que podrán solicitar la información de otros centros. Esto se podía ver en la **Ilustración 6**.

Con esto se puede ver que habrá un solo servicio que sea el de **compartir la información entre centros** y que los nodos que componen este sistema tendrán una comunicación bidireccional con el nodo central global.

SERVICIOS	FUENTES DE DATOS
Comparación de información entre centros de investigación	Centros de investigación

Tabla 12 Listado de servicios del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación, con sus respectivas fuentes de datos

Haciendo un análisis de las características de las fuentes de información se llega a los resultados de la siguiente tabla:

Fuente de datos	Características					
	analógica/discreta	Datos críticos voluntarios	Datos críticos Pacientes	Datos críticos centro de investigación	interpretación de la info	Inalámbrico
Centros de investigación	Discreto	Bajo	Medio	Alto	Directa	SI

Tabla 13 Características de las fuentes de datos del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación

El sistema será inalámbrico. Si se repasa de nuevo el esquema del diseño propuesto todas las comunicaciones que se plantea utilizar son inalámbricas ya que los distintos nodos pueden estar ubicados en localizaciones geográficas diferentes y no estarán conectados utilizando ninguna infraestructura cableada.

Respecto a la naturaleza de las señales, lo que se recogía desde los centros de investigación era información discreta. Esto mismo será lo que se enviará a la central global así que tanto su transmisión como su interpretación será asimismo directa sin necesidad de módulos conversores.

Por último, el estudio de la criticidad de los datos del mismo modo que ocurre dentro de un centro de procesamiento, al ser esta misma información la que se envía, estará dividido de acuerdo con su usabilidad, si el dato viene de voluntarios, pacientes o si se ha medido directamente con los dispositivos médicos de los centros de investigación.

Análogamente a lo visto en el diseño del apartado 3.2, se ha considerado a los datos provenientes de los equipos de los centros de investigación como muy críticos, los de los dispositivos wearables de voluntarios no serán tan críticos y aceptarán una mayor probabilidad de error que si vienen de pacientes.

Con todo esto, ya se pueden definir el listado de requerimientos y especificaciones para el servicio ofrecido:

		Requerimientos y especificaciones del servicio							
		Throughput (velocidad de transmisión)	Probabilidad de error	Identificar posibles fuentes de interferencia	Latencia	Disponibilidad de sistema	Cobertura (área y parámetros) y rango (distancia a cubrir)	Escalabilidad	Seguridad
Servicios	Compartición de información entre centros de investigación	~ 1.3 Gbps	Baja ( $\sim 10^{-7}$ PFD)	Edificios y obstáculos	Baja (100ms)	Media	Área y rango grande (kms) e inalámbrico	Alta	Alta

Tabla 14 Listado de requisitos y especificaciones del sistema para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación

El acrónimo que aparece para medir la probabilidad de error, PFD, se refiere a la probabilidad de error bajo demanda (*Probability of Failure on Demand*).

Los requisitos vendrán impuestos del mismo modo que la comunicación WLAN y 5G del diseño del apartado 3.2. La idea ahora es escalar ese diseño para intercomunicar varios centros de investigación, es decir, añadir un paso más en la red introduciendo el diseño anterior como un nodo de una gran red de comunicaciones con topología en estrella que conecte varios de estos con un nodo central global.

Así, análogamente a lo visto en el desarrollo anterior para este tipo de red la velocidad de transmisión vendrá condicionada por las distancias entre nodos y las tecnologías que se puedan utilizar para su implementación que consigue cifras de velocidad elevadas. Esto también afectará al análisis de las interferencias, en el que habrá que hacer frente a obstáculos presentes en espacios urbanos como edificios y geográficos como, por ejemplo, las montañas.

Este mismo análisis realizado para los dos factores anteriores se puede aplicar a los parámetros de cobertura, probabilidad de error, latencia y disponibilidad de la red. Para ellos, cobrará mucha importancia la localización de los nodos y el alcance de la red y como esto influye a las características de la transmisión de información.

Por último, se requerirá que el sistema sea altamente escalable por la arquitectura planteada en el diseño y el objetivo de este proyecto relacionado con la globalización del sector sanitario. Y, además, el sistema tiene que ser seguro. Uno de los puntos críticos en el diseño de este tipo de proyectos es el anonimato y la confidencialidad de los datos de los pacientes.

De nuevo con esto ya se ha presentado la comprensión del problema y definición, y se ha hecho un análisis de los recursos y la identificación de los retos. Ahora, antes de concluir, análogamente al diseño del apartado 3.2 se identificarán las fuentes de interferencia y ruido y se especificarán las características tanto a nivel físico como de enlace.

Respecto a la capa física se pueden resumir los requisitos en la siguiente tabla:

Servicio	QUÉ CANAL	CANAL CRITICO	INTERFERENCIAS/RUIDO (BAJA SNR)	REQUERIMIENTOS DEMASIADO EXIGENTES DE PRESTACIONES (elevada velocidad de transmisión, muy baja probabilidad de error)	POCOS RECURSOS (potencia/ ancho de banda)
Comparación de información entre centros de investigación	Inalámbrico	SI	Entorno con muchas interferencias y ruido, baja SNR (SNR 18dB aprox)	En general, los requerimientos no son exigentes a excepción de los centros de investigación: dispositivos sanitarios	Espectro compartido con otras aplicaciones (limitación en ancho de banda)

Tabla 15 Requisitos de la capa física del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación

Como ya se ha explicado hasta ahora todos los sistemas serán inalámbricos y se trabajará sobre un entorno con una fuerte influencia de interferencias y ruido. La red trabajará en un espectro compartido con otras aplicaciones ya sean de este proyecto o ajenas lo que provocará unas limitaciones de ancho de banda.

Si ahora se hace un análisis de la capa de acceso del sistema se tiene que:

Servicio	MEDIO COMPARTIDO ENTRE USUARIOS	EL SIST. GENERA INTERFERENCIAS	MECANISMOS DE ACCESO
Comparación de información entre centros de investigación	SI	SI	Acceso por contienda/ dinámico CON prevención de colisiones

Tabla 16 Requisitos de la capa de acceso del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación

Se trabajará en un espectro compartido con otros servicios, para cada tipo de red que se utilizará en el diseño del sistema se utilizará una tecnología que trabaje en unas bandas de frecuencia estándar que también utilizan otras aplicaciones externas a este proyecto (red móvil, TV, radio, GPS, BLT, ...). Por último, todos los nodos compiten por el uso del medio, pero tienen un plan si se producen colisiones de forma que habrá unos mecanismos de acceso al medio mediante la autenticación encriptada de los centros de investigación garantizando la seguridad del sistema.

### 3.3.2. Segunda fase

Aquí se va a proponer una solución de diseño de acuerdo con los requisitos y las especificaciones del punto anterior.

Análogamente a lo visto en el punto 3.2 de esta memoria, hay que realizar un trabajo previo consiguiendo el listado de objetivos y los retos asociados consiguiendo una propuesta de solución.

El objetivo en este caso es simple, conseguir una comunicación bidireccional entre centros de investigación y un nodo central. Así en este caso no habrá división en subsistemas más pequeños, sino que se analizará este sistema por completo. Y, además, de nuevo habrá que tener en cuenta el análisis y la caracterización realizada para las redes WLAN en el punto 3.1.2 de esta memoria, puesto que estas serán las que se utilizarán para este diseño. En concreto se eligió el estándar IEEE 802.11ac. Y además también la caracterización de las redes 5G que también se utilizarán y el cual se realizó en el apartado 3.1.3 de la memoria.

Del mismo modo que se explicó en el punto 3.2, haciendo un análisis de las características de estos dos tipos de redes se tiene que las de las redes WLAN son mucho más restrictivas. De esta forma, si el diseño cumple con las mismas también lo hará con las de las redes 5G. A partir de aquí el análisis de este apartado vendrá dado únicamente por las especificaciones de las redes WLAN para el estándar elegido.

En este apartado no habrá una división por subsistemas como ocurría en el 3.2, sino que se hará el análisis del sistema y a continuación se expondrá una comparación entre los resultados de este y los requisitos impuestos en la fase anterior.

Teniendo en cuenta el objetivo de este diseño, el listado de retos quedaría:

- Espectro compartido.

Al encontrarse el sistema situado dentro de una población habrá múltiples aplicaciones y dispositivos que hagan uso del espectro.

- Entorno multicamino.

Los dispositivos están situados en un entorno rodeado de obstáculos.

- Compatibilidad de dispositivos

Los dispositivos tienen que poder trabajar en la banda seleccionada, en este caso 5GHz.

Y la solución consistirá en el diseño de una red *wireless* utilizando una WLAN, con el estándar IEEE 802.11ac, y una red 5G.

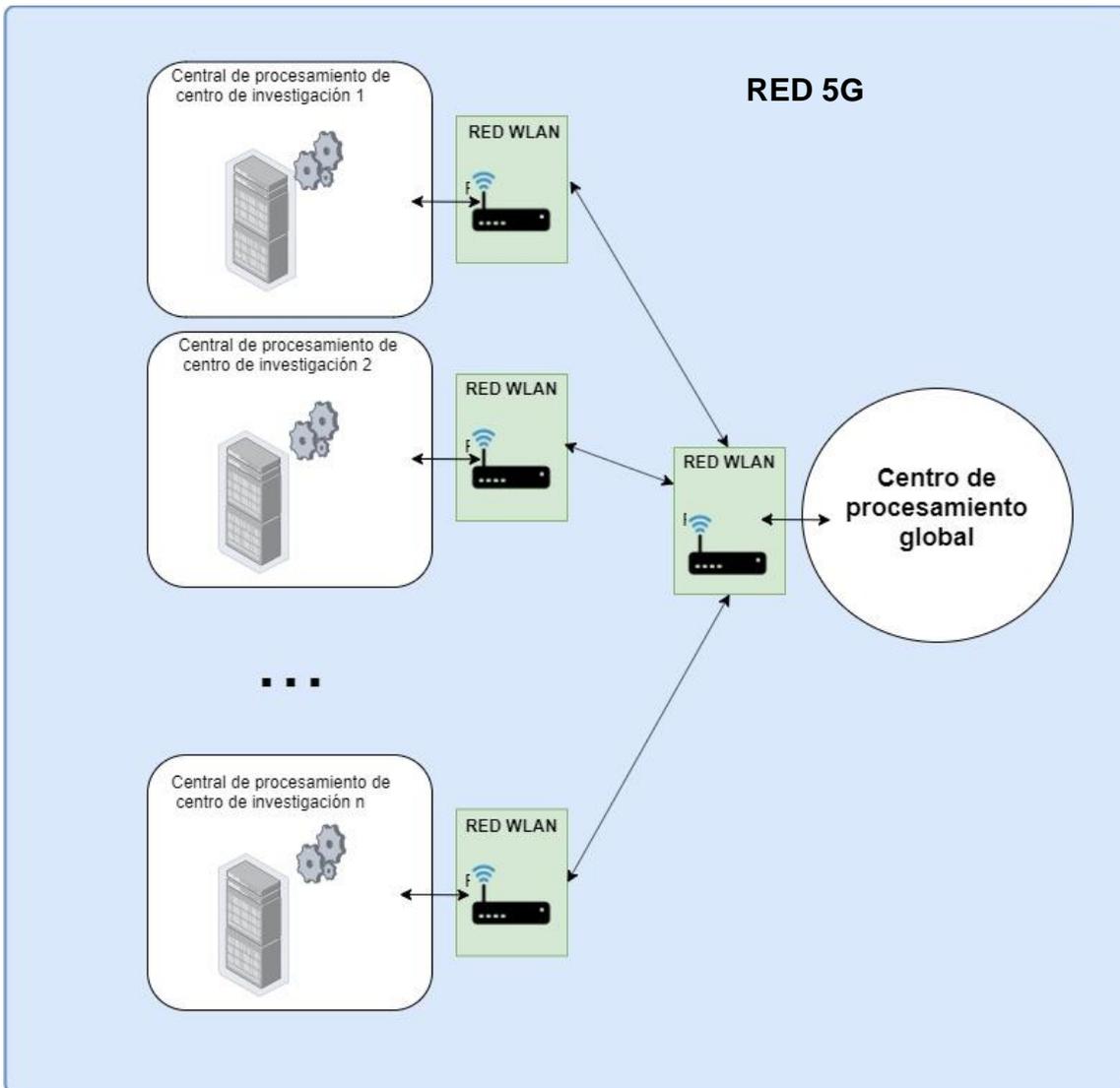


Ilustración 13 Diagrama de conexiones del diseño para la solución del diseño de las comunicaciones entre centros de investigación

Pero se analizarán únicamente los requisitos y características de la primera por ser más restrictivos expuestos en el apartado 3.1.2 de esta memoria:

- Velocidad de transmisión de 1.3Gbps.
- Banda de frecuencia de 5GHz
- Ancho de banda de canal opcional de 160 MHz y obligatorio de 80 MHz para estaciones
- Hasta 8 flujos MIMO
- Modulación de alta densidad, 256-QAM

Como se puede ver, en realidad el diseño de este sistema es similar al realizado en los subsistemas 2 y 3 del expuesto en el apartado 3.2.

En este caso aparece de nuevo el problema del espectro compartido con otras aplicaciones. Una posible solución viene dada por el estándar elegido de comunicación, que trabaja en la banda de los 5GHz en lugar de utilizar la de los 2.4GHz que está saturada. El número de dispositivos que trabajan sobre este espectro es mucho menor por lo que la banda está más desocupada y el sistema no sufre cortes ni interferencias.

Este mismo estándar también propone soluciones para el problema del multicamino y la influencia de las interferencias en el sistema. Como ya se había dicho esto se solventa ya que se utiliza el envío bidireccional de los datos y que los routers compatibles con esta tecnología utilizan *Beamforming*.

De nuevo, el único requisito es que para este diseño será obligatorio utilizar routers compatibles con esta tecnología y, de nuevo, que permitan la comunicación con el estándar 5G.

Si ahora se realiza una comparativa entre los requisitos impuestos en la fase 1 y los resultados obtenidos en esta lo que se obtiene es que se ajustan perfectamente. Esto no es una coincidencia.

Como se ha dicho a lo largo de este apartado, el diseño de este sistema es análogo al diseño de los subsistemas 2 y 3 del anterior del apartado 3.2. Esto es, como ya se había analizado previamente el diseño de una red WLAN y de una red 5G en el apartado anterior, validándose los requisitos y características y se ha tenido en cuenta todo lo desarrollado en los párrafos anteriores para el análisis de la primera fase de este diseño, los resultados de esta segunda fase se ajustan perfectamente a lo especificado en la primera fase de este diseño.

### 3.4. Seguridad en el sistema: Integración de Blockchain

Ahora que ya está definido el diseño del sistema queda pendiente el estudio de los riesgos y los puntos críticos de este sistema, en concreto, la seguridad de este. Como se ha ido introduciendo durante el desarrollo uno de los objetivos principales de cualquier diseño en el ámbito sanitario e imprescindible en trabajos de investigación es el de garantizar la confidencialidad y el anonimato de los datos de los usuarios. [42]

En nuestra legislación, aunque está legitimado el uso de datos de carácter personal con fines científicos, es un derecho de todo paciente que la información de carácter personal que deriva de la atención médica sea tratada de forma confidencial. La LOPDGDD establece que el tratamiento de los datos personales, incluidos los datos de carácter sanitario, están sometidos al deber de confidencialidad por parte tanto de los responsables y encargados del tratamiento, como de todas las personas que intervengan en cualquier fase de éste (artículo 5.1). Estamos ante un deber que se complementa, a su vez, con los deberes de secreto profesional a los que alude el apartado segundo del referido precepto legal, y que deberán interpretarse de conformidad con su normativa vigente. [43]

Una de las opciones para poder trabajar con estos datos sin incumplir la normativa es el anonimato. Las colecciones de datos anónimos y los registros anonimizados pueden ser utilizados y cedidos sin el consentimiento informado de los sujetos. Este supuesto no precisaría de especiales consideraciones éticas, al no poder asociarse la información con persona alguna. Como norma general, siempre que haya que acceder a datos contenidos en las historias clínicas, se realizará un proceso de anonimización que permita obtener los datos clínicos de interés, separándolos de los identificativos (por ejemplo, utilizando procedimientos informáticos para la extracción selectiva de estos datos). Cuando esto no sea posible, será necesario que el investigador solicite el consentimiento informado de los sujetos, de acuerdo con la legislación vigente.

Luego hasta este punto, para cumplir con la normativa vigente hay que incluir en el diseño anterior:

- Un sistema de **anonimización** de los datos
- Herramientas que garanticen la **confidencialidad** y la **seguridad** de los datos.

El primero de los puntos se podría solventar desde el almacenamiento de la información, diferenciándose entre los tipos de datos recibidos en los distintos centros de procesamiento. Un ejemplo de solución podría ser trabajar con bases de datos diferentes para el almacenamiento de los datos personales de los pacientes y los relacionados con síntomas o una enfermedad específica, de forma que esta información no esté directamente relacionada. Sin embargo, no se va a entrar más en este estudio puesto que en este proyecto lo que se propone es un diseño a alto nivel del sistema, sin entrar en detalles a bajo nivel de ninguno de los bloques o subsistemas que lo conforman. Como ya se ha

visto a lo largo de este diseño se abrirán muchas líneas futuras para continuar con este desarrollo en las que se puede profundizar en el diseño de los distintos elementos que lo conforman para que cumplan siempre con las especificaciones generales propuestas aquí.

Por otro lado, el segundo punto sí depende de las decisiones tomadas en este proyecto y del diseño a alto nivel del sistema. Ahora bien, ¿qué implica que un sistema sea seguro?

Lo primero se va a estudiar las **características de un sistema seguro**:

- Integridad de los datos: La información no puede ser modificada por quien no esté autorizado. La información ha de mantenerse con exactitud, tal cual fue generada, sin ser alterada por personas o procesos informáticos no autorizados para ello.
- Confidencialidad: Los datos sólo deben ser legibles para las personas autorizadas; la información no debe divulgarse a personas, entidades o procesos no autorizados.
- Disponibilidad: La información ha de estar disponible para las personas, procesos o aplicaciones que deban acceder a ella en el momento en el que lo requieran.
- Autenticación: El generador de la información, o el que acceda o la edite, ha de estar perfectamente identificado en todo momento, de forma unívoca e inequívoca.
- Irrefutabilidad: Imposibilidad, para una persona usuaria, programa o proceso, de negar (rechazar) la autoría de una acción.

¿Y cómo se puede conseguir que un diseño cumpla con estas especificaciones? Es aquí donde entra *Blockchain* o la cadena de bloques, una base de datos distribuida que registra información que no puede alterarse. Las transacciones que se almacenan pueden realizarse entre dos o más partes y siempre de forma segura, confiable e irreversible.

¿Y por qué es una buena opción para este diseño? Analizando las necesidades de este proyecto se puede comprobar que son equiparables a las planteadas por esta tecnología:

- Hay transacciones entre partes.
- Se necesita confiar que sean válidas.
- Los intermediarios son ineficientes.
- Es necesario asegurar la integridad del sistema

En el sector sanitario, *Blockchain* ofrece una lista amplia de posibilidades de uso:

## Blockchain Technology – Promising Use Cases for Healthcare Industry

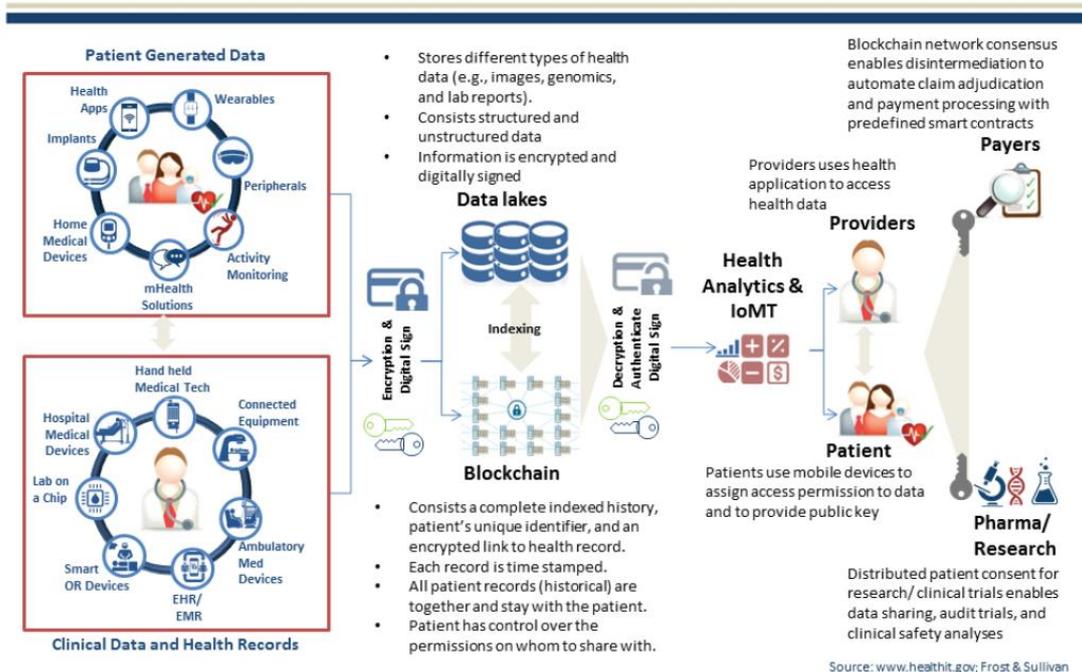


Ilustración 14 Resumen de casos de uso de *Blockchain* para la industria *Healthcare*. Fuente: healthit.gov; Frost & Sullivan

Respecto al almacenamiento e intercambio de información, esta tecnología se puede extender en cinco aspectos:

- La historia clínica de los pacientes.
- La información generada en ensayos clínicos.
- Los datos genómicos.
- La información generada por los propios pacientes a través de dispositivos conectados (IoHT – *Internet of Healthcare Things*).
- Los procesos de reclamación y pago de servicios sanitarios asegurados.

Lo que está fuertemente relacionado con los objetivos de este proyecto.

En general, esta tecnología tiene una influencia muy relevante en las áreas de interoperabilidad, historial clínico, ciberseguridad e investigación sanitaria.

Respecto a la interoperabilidad, según los informes realizados por la ONC (*The Office of the National Coordinator for Health Information Technology*) o la Clínica Mayo:

“La tecnología *Blockchain* tiene el potencial suficiente para abordar los desafíos de interoperabilidad actualmente presente en los sistemas de TI sanitarios y ser la norma técnica que permita a las personas, proveedores de servicios e investigadores médicos compartir datos”.

“Creemos que una red de datos basada en *Blockchain* es una solución viable para el complejo problema de compartir los datos de salud.”

Es decir, esta tecnología ofrece el potencial de una plataforma compartida que descentralice las interacciones de los datos de salud mientras garantiza el control de acceso y la integridad en el intercambio de información. E incluso es posible utilizar una cadena de bloques como capa de seguridad y confianza, desplegada a un nivel superior al de los sistemas de información sanitaria existentes.

Su sistema distribuido puede hacer más natural el acceso a la información, parece que es altamente seguro y que se puede asumir una alta fiabilidad en los datos. Esto podría suponer un avance en el historial clínico pero es muy ineficiente como almacén de datos debido a su carácter distribuido. El funcionamiento correcto es como registro para los datos almacenados externamente, como un índice que indica dónde está la información y también como huella digital o marca de tiempo de cada acción pudiendo saber quién hizo qué y cuándo.

Por otro lado, aunque existen sistemas de intercambio de información sanitaria descentralizados, tanto el cifrado de datos como los procesos de validación hacen que *blockchain* pueda jugar un papel importante en la integridad de datos para los sistemas de tecnología sanitaria, y en la administración de los dispositivos médicos facilitando el impulso de la IoHT.

Y, por último, esta tecnología tiene una gran influencia en el área de investigación en el que se localiza este proyecto. Con *Blockchain* se consigue aportar veracidad a los datos gracias a tener registros inmutables, reduciéndose la probabilidad de error de los datos y los registros, una característica crítica del sistema propuesto en este proyecto. Con esta tecnología se permite el seguimiento, intercambio y protección de los datos consiguiendo el objetivo de diseño de un sistema seguro. De igual forma podría ser una base para mejorar la metodología de investigación clínica y un paso adelante hacia una mayor transparencia para mejorar la confianza dentro de las comunidades de investigación y con los pacientes.

Habiendo elegido entonces esta tecnología para solventar el problema de seguridad del sistema, la siguiente pregunta que se hará el lector es, ¿cómo funciona? Pues bien, lo primero es identificar las partes o bloques que conformarán el sistema:

- Las entidades que quieren realizar una transacción bajo unas condiciones pactadas.
- Los bloques que corresponden con los registros convenientemente codificados mediante un *hash* y posteriormente validados.
- Los nodos o sistemas informáticos que guardan de forma distribuida una copia de cada bloque.

En nuestro sistema estos bloques se corresponderán con los del sistema diseñado diferenciando entre el diseño para un solo centro de investigación y la escalabilidad de este para la comunicación entre centros de investigación. Luego esta tecnología se aplicará en dos niveles en el diseño propuesto en este trabajo.

En el primer caso, el primer punto se corresponderá con las aplicaciones móviles o para ordenador que utilizarán los usuarios o los profesionales del sector para hacer el envío y la recepción de la información. El segundo y el tercero se llevarán a cabo desde los nodos centrales de procesamiento de los centros de investigación.

En el segundo caso, ahora los nodos centrales de procesamiento de cada centro de investigación se corresponderán con las entidades que quieren realizar la transacción, y el segundo y tercer punto serán el nodo central global que interconecta a todos los centros de investigación.

En ambos casos, el flujo de trabajo de esta tecnología se puede describir en la siguiente imagen:

**Figure 2. Blockchain: How it works**

Blockchain allows for the secure management of a shared ledger, where transactions are verified and stored on a network without a governing central authority. Blockchains can come in different configurations, ranging from public, open-source networks to private blockchains that require explicit permission to read or write. Computer science and advanced mathematics (in the form of cryptographic hash functions) are what make blockchains tick, not just enabling transactions but also protecting a blockchain's integrity and anonymity.



Source: Deloitte Tech Trends 2016, Blockchain: Democratized Trust.

Deloitte University Press | [dupress.deloitte.com](http://dupress.deloitte.com)

Ilustración 15 Pasos del funcionamiento de Blockchain. Fuente: Deloitte Tech Trends 2016, Blockchain: Democratized Trust

Si se cambia cualquier dato en cualquier bloque, éste y todos los siguientes a partir de él son invalidados. Y, además, el modelo de almacenamiento distribuido puede contener una gran cantidad de nodos en los que se replica la información.

Actualmente existe una no muy extensa pero interesante lista de startups que están trabajando en dotar de una cierta entidad al *Blockchain* sanitario. Algunas de ellas ya se habían mencionado en el apartado 2 de esta memoria:

- Plataformas tecnológicas:
  - Para construir aplicaciones de atención médica: *GemOS Health* asociada con Philips. *Pokitdok* asociada con Intel.
  - Para proveer servicios médicos descentralizados: *HealthCombix*
  - Para conectar pacientes e investigadores médicos: *Blockchain Health Co.*
- Servicios asistenciales virtuales: *PointNurse*
- Gestión de registros médicos: *MedRec* prototipo auspiciado por el MIT
- Registros personales de salud: *Patientory*
- Desarrollo de fármacos y suministro de medicamentos: *iSolve*

Haciendo hincapié en uno de ellos, el proyecto de *GemOS* trata de proporcionar acceso en tiempo real a los datos de los pacientes almacenados en múltiples proveedores. La cadena de bloques controla la clave de acceso y permiso de para quién debería tener acceso en qué momento. La idea que subyace es poder dar acceso a una historia clínica completa y exacta de principio a fin. Estos sistemas se ejecutarían sobre una infraestructura tipo *bitcoin*, o *Ethereum*, los cuales por su parte están intentando llegar a acuerdos con compañías de salud mediante modelos de consorcio para que se unan y administren una cadena de bloques de interés para todos.

Sin embargo, cabe destacar que hay que asumir que es una tecnología inmadura, que en muchos aspectos todavía está en modo experimental y que tiene que demostrar la robustez de sus mecanismos.

Sus principales retos provienen de cuestiones tecnológicas:

- La velocidad de transacción y validación, así como su capacidad “ilimitada” de gestionar datos.
- El enorme consumo energético.
- La dificultad en integrarse sobre todo con sistemas ‘*legacy*’.
- El coste operativo.

Todo esto junto con el hecho de que no se puede considerar un sistema de almacenamiento y la falta de estandarización de los informes médicos pueden desembocar en la necesidad de complementar esta tecnología con otras para conseguir resultados satisfactorios. Así, por ejemplo, una solución en principio óptima para solventar el problema de seguridad del sistema aquí propuesto podría ser la combinación de *Blockchain* con otros conceptos como *FHIR* (*Fast Healthcare Interoperability Resources*).

*FHIR* proporciona formatos de datos, elementos y una interfaz de programación de aplicaciones para conectar información de salud a través de diferentes sistemas de salud, dispositivos personales, farmacias y otras tecnologías. En general, proporciona los siguientes beneficios:

- Un **flujo continuo de datos e información** entre las organizaciones de atención médica.
- Al integrarlo en los registros médicos, los médicos pueden aprovechar los datos en **tiempo real**.
- Un **único idioma** estandarizando los datos de fuentes dispares.

*FHIR* es un componente crítico de la interoperabilidad entre sistemas, pero por sí solo no resuelve todos los desafíos. Cuando está acompañado por *Blockchain*,

- Los consumidores no necesitan seleccionar una plataforma específica del proveedor para alojar su información y las organizaciones de atención médica no necesitan decidir con quién se asociarán.
- Las identidades se verifican para ser precisas y es posible crear un identificador único para todas
- *Blockchain* mejora de la seguridad de los datos del paciente.
- Se garantiza la precisión de la información de salud. Los registros no pueden manipularse, pero pueden actualizarse continuamente, proporcionando en última instancia la imagen más completa de la salud de un individuo.

De nuevo, la implementación y el diseño de esto queda fuera del alcance de este proyecto, pero si sería muy interesante en líneas futuras combinar ambas tecnologías y evaluar sus posibilidades. <sup>[44]</sup> <sup>[45]</sup>

## 4. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto una solución a un reto actual: el problema de la captación de información de carácter sanitario y su accesibilidad para pacientes con enfermedades no comunes.

Con este diseño se fomenta la investigación de estas, para adaptar y mejorar los sistemas actuales de captación y muestra de información. Esto persigue normalizar el día a día de los usuarios ya que gracias a los datos aportados por estos y tratados por este sistema se podrán conocer más este tipo de enfermedades. En general, se aportarán facilidades al trabajo de los profesionales sanitarios enfocando el diseño para aportar un valor añadido a los pacientes, ya que estos son la prioridad en los proyectos de este sector.

Con este sistema se consigue:

- Obtener información para fomentar la investigación y ayudar a los profesionales del sector a recopilar nuevos datos para estudios.
- Mejorar la accesibilidad a los pacientes. Tanto desde el punto de vista de los profesionales del sector, que pueden captar más datos y obtener resultados estadísticos más completos, como desde el punto de vista de los pacientes, que pueden tener un control de su estado casi en tiempo real y tener un seguimiento en su día a día
- Mejorar las herramientas de historial clínico, completando los patrones que siguen estas para que sean mas completos y permitan meter los campos necesarios para incluir la información y los parámetros de las enfermedades menos comunes.

Hay que destacar que el diseño de proyectos aplicados a este sector implica tener en cuenta por un lado fuertes requisitos tanto técnicos como legales, y por otro lado que será necesario un cambio de mentalidad a nivel social.

En primer lugar, a nivel técnico, por estar trabajando sobre el cuerpo humano, se ha de asegurar la inocuidad del sistema. Hay que garantizar que la radiación del sistema sea no ionizante para que no cause efectos adversos sobre la salud. Además de esto, para el diseño ha sido imprescindible cumplir con la normativa impuesta en el estándar IEEE 102.15.6.

Al estar trabajando con información personal de los usuarios, en el diseño del sistema hay que garantizar la seguridad y la anonimización de los datos, cumpliendo con la normativa vigente de la Ley de protección de datos. En este proyecto se ha propuesto utilizar Blockchain para conseguir estos objetivos.

El mayor reto de estos diseños, como se ha explicado a lo largo de esta memoria, es que se requiere un cambio de mentalidad por parte de los pacientes. La prioridad de los proyectos de este sector son los pacientes, por lo que es imprescindible concienciar a la sociedad y acercar su relación con los profesionales de forma sencilla y que lo vean como un valor añadido.

Por último, en este diseño hay un punto clave: la globalización. El motor del proyecto serán los datos recibidos de los usuarios, por lo que será imprescindible proporcionar una gran accesibilidad. Se propone una solución para la colaboración sin fronteras que pasa por aportar facilidades en el acceso a los datos a las distintas organizaciones independientemente de su ubicación geográfica o la de los pacientes. Aquí cobrará gran importancia la estandarización de los datos, y serán necesarios avances significativos en la tecnología 5G para poder concebir la idea aquí propuesta.

Resumiendo, lo que se ha conseguido con este proyecto es una propuesta para el diseño de un sistema de captación y muestra de información de carácter sanitario con fines de investigación. Este se compone de tres bloques: el de captación, el de procesamiento y el de muestra de información.

El primero de ellos es el encargado de recopilar los datos provenientes de dispositivos sensores aportando información de los distintos parámetros fisiológicos medibles en el cuerpo humano. Para realizar esta tarea se utilizan dos tipos de fuentes: dispositivos wearables, para conseguir un seguimiento casi en tiempo real de los pacientes, y equipos sanitarios certificados ubicados en los distintos centros de investigación.

El segundo realiza el tratamiento y procesamiento de la información recibida del bloque anterior para fomentar la investigación y facilitar el trabajo de los profesionales del sector. Está dividido en dos niveles: uno para el diseño de la comunicación entre pacientes y un centro de investigación, y otro que pasa por globalizar la solución y permitir la comunicación entre varios centros de investigación.

Y el tercero de ellos mostrará los resultados del bloque anterior a nivel de paciente y a nivel profesional. Para ello, habrá distintos tipos de aplicaciones o herramientas: para dispositivos móviles o para ordenador, para cada tipo de perfil de usuario respectivamente.

Se ha conseguido comunicar los distintos bloques que lo conforman utilizando tecnologías inalámbricas, aportando una mayor accesibilidad a los datos con independencia geográfica:

- Bluetooth Low Energy y Wifi basado en el estándar IEEE 802.11ac para la comunicación entre el primer y/o tercer bloque con el segundo. (Ilustración 8)
- 5G para la comunicación entre el segundo bloque y los otros dos. (Ilustración 9)

Se podría entender que hay una comunicación bidireccional del segundo bloque con los otros dos, ya que los dispositivos y herramientas que utilizan estos últimos serán los mismos para realizar las funciones de cada bloque: enviar los datos y recibir la información procesada.

Además, esta solución se escala permitiendo la comunicación entre distintos centros de investigación también de forma inalámbrica y utilizando también una red 5G.

Estas tecnologías han sido elegidas tras un estudio y comparación de las distintas posibilidades de acuerdo con los requisitos técnicos del sistema.

Por último, respecto al diseño propuesto hay un punto crítico de estudio: la seguridad del sistema. Para esto se ha propuesto utilizar *Blockchain*, lo que permite cumplir con los fuertes requisitos legales de este tipo de proyectos.

Este proyecto se ha ceñido al alcance y objetivos previstos inicialmente, proponiéndose un diseño teórico a cada una de las soluciones planteadas. Para lograr esto, el proyecto ha seguido la metodología de entregables e hitos planteada. En el apartado de líneas futuras que está a continuación, se ha abordado la posible profundización en estos diseños y su aplicación práctica con elementos comerciales.

## 5. Líneas futuras

En este proyecto se ha propuesto una solución para el problema de la recopilación y el tratamiento de datos de carácter sanitario que se escapan de los patrones en los que se basan las aplicaciones y las herramientas actuales. El objetivo principal es el de fomentar la investigación de enfermedades no comunes facilitando el trabajo de los profesionales, proporcionándoles una herramienta más completa que les permita obtener nuevos resultados.

En esta línea es complicado definir las fuentes de información o el método de tratamiento de los datos ya que se desconocen los resultados perseguidos en la mayoría de las ocasiones. Esto es, a diferencia de otros sistemas de comunicaciones, el diseño de este no se puede realizar de acuerdo con unos resultados esperados persiguiendo ese objetivo en cuestión, sino que será un trabajo vivo que deberá irse realimentando según los datos obtenidos y las nuevas necesidades que aparezcan. Y además no será fácil generalizar estos resultados ya que las características de cada enfermedad pueden ser muy diferentes o incluso de una misma no ser las mismas para todos los pacientes.

Lo que si se puede es, en una primera instancia de diseño, comenzar imponiendo de forma general un listado de parámetros fisiológicos a medir y evaluar los bloques necesarios para captar y tratar esa información a nivel de sistema. Esto es lo que se ha conseguido con este trabajo, realizado una primera propuesta de diseño a nivel general para conseguir los objetivos. Sin embargo, con todo lo dicho aquí y como se ha podido comprobar a lo largo del desarrollo, han surgido algunos aspectos que se encontraban fuera del alcance y los objetivos de este en los que sería muy interesante profundizar.

A grandes rasgos, estas líneas se pueden diferenciar en dos ramas de estudio:

- La particularización de este sistema para una enfermedad concreta.
- La especificación a bajo nivel de alguno de los bloques que conforman la solución propuesta o la modificación de alguna de las tecnologías de comunicación utilizadas.

La primera de ellas es la más obvia. Sería interesante estudiar la aplicación de este diseño para una enfermedad específica reforzando las fuentes de información y añadiendo las que fuesen necesarias de acuerdo con lo explicado en los párrafos anteriores. Además de esto, también durante la elección de los nodos que conforman el bloque de captación de información de este sistema únicamente se eligió la posibilidad de utilizar nodos sensores ubicados fuera del cuerpo humano dejándose de lado las otras dos opciones que había: la utilización de nodos introducidos en el cuerpo humano y la incorporación de nodos actuadores. Esto se hizo por dos motivos:

- La necesidad de un cambio de mentalidad por parte de la sociedad. La introducción de nodos en el cuerpo humano requiere de operaciones quirúrgicas y tiene además el inconveniente de la falta de confianza aún

en estas tecnologías, lo que puede provocar miedo o rechazo en los pacientes.

- Al no tener claros los resultados que se van a obtener ni las necesidades de cada paciente es complicado elegir de forma general que nodos actuadores serían útiles.

Particularizando el diseño para una enfermedad específica sería interesante realizar un estudio de la utilización de este tipo de nodos y sus posibilidades.

Por otro lado, respecto a la segunda de las ramas sería posible continuar con este proyecto profundizando en el diseño a bajo nivel de los bloques que lo conforman:

- Diseño a nivel electrónico del bloque de captación: elección del hardware para la captación de los parámetros fisiológicos. Se podría hacer un estudio de los distintos tipos de sensores actuales de mercado y sus características electrónicas persiguiendo que se sigan cumpliendo las especificaciones impuestas de sistema en este diseño.
- Diseño a nivel de aplicación de los bloques de captación y muestra de información: Diseño de las aplicaciones para el envío y la muestra de información tanto para móvil como para ordenador.
- Diseño a nivel matemático del bloque de procesamiento: Diseño del algoritmo de tratamiento de la información y el cálculo de estadísticas.
- Diseño a nivel de arquitectura del bloque de procesamiento: incluir una solución para garantizar el anonimato de los datos almacenados.
- Diseño a nivel de seguridad y comunicación: Estudio y análisis de la inclusión de FHIR.

También sería interesante analizar algunas posibles modificaciones a las tecnologías elegidas en el diseño:

- Estandarizar las comunicaciones de todo el sistema, utilizando 5G. Eliminando la red WLAN, para lo que habría que garantizar la compatibilidad de los dispositivos con esta tecnología, y estudiando las posibilidades de implementación de la red WBAN utilizando 5G.
- Sustituir la red 5G por una red cableada y evaluar las mejoras sobre la seguridad de la red.

En resumen, se puede considerar este proyecto como una primera fase en el diseño de un sistema de captación y procesamiento de información de carácter sanitario que podría revolucionar las herramientas que conocemos actualmente y fomentar la investigación en este sector. Pero hay mucho trabajo aún por realizar para que esto pueda ser una realidad, y hay bastantes frentes abiertos que requieren de un estudio en profundidad y podrían aportar un gran valor añadido a este proyecto.

## 6. Glosario

**WBAN:** *Wireless Body Area Network*

**WLAN:** *Wireless Local Area Network*

**IoT:** *Internet of things*

**PMBOK:** *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*

**PEC:** Prueba de evaluación continua

**NASA:** Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**TIC:** Tecnologías de la información y la comunicación

**MIT:** *Massachusetts Institute of Technology*

**HCIS:** Aplicación de Historia Clínica Electrónica de HP

**WSN:** *Wireless Sensor Networks*

**RF:** Radiofrecuencia

**IEEE:** Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

**PER:** *Packet Error Rate*

**ISM:** Bandas médicas, industriales y científicas

**QoS:** *Quality of Service*

**UWB:** *Ultrawideband*

**EPSRC:** Consejo de Investigación de Ciencias de Ingeniería y Física

**DSSS:** *Direct sequence spread spectrum*

**QPSK:** Modulación por desplazamiento cuadrifásica

**QAM:** Modulación de amplitud en cuadratura

**OFDM:** Multiplexación por división de frecuencias

**MIMO:** *Multiple-input Multiple-output*

**LTE:** *Long Term Evolution*

**GSMA:** *Global System for Mobile communications Association*

**MWC:** *Mobile World Congress*

**WiFi:** *Wireless Fidelity*

**SpO2:** La saturación de oxígeno por pulsioximetría

**PFD:** *Probabilty of Failure on Demand*

**TV:** Televisión

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global

**BLT:** Bluetooth

**BLE:** *Bluetooth Low Energy*

**BER:** *Bit Error Rate*

**LOPDGDD:** La Ley Orgánica de Protección de Datos Personales y Garantía de Derechos Digitales

**IoHT:** *Internet of Healthcare Things*

**ONC:** *The Office of the National Coordinator for Health Information Technology*

**FHIR:** *Fast Healthcare Interoperability Resources*

## 7. Bibliografía

- [1] berocam, «5G: Transformación digital de la sociedad» *NEWS DETAIL*, 2018. “<http://www.berocam.es/Home/New-5g-transformacion-digital-de-la-sociedad>”
- [2] Rodríguez J., Módulos didácticos – TFM Sistemas de Comunicación, FUOC. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya, 2008.
- [3] CÁCERES-MÉNDEZ, E. A., CASTRO-DÍAZ, S. M. y GÓMEZ-RESTREPO, C., «Telemedicina: historia, aplicaciones y nuevas herramientas en el aprendizaje. ()»,» *Universitas Médica*, vol. 52, nº 1, pp. 11-35, enero-marzo 2011.
- [4] World Health Organization, «Global diffusion of eHealth: Making universal health coverage achievable. Report of the third global survey on eHealth.» 2016.
- [5] Perez N., «Consultas al 'doctor Google': el 60% de los internautas españoles realizan búsquedas sanitarias,» *20 minutos*, 2016.
- [6] Oteo Ochoa, J. R. R. L. Luis Angel, «La innovación en los servicios sanitarios; consideraciones desde la perspectiva del Sistema Nacional de Salud español,» vol. 1, nº 2, 2003.
- [7] Semfyc, «Expectativas sobre la eHealth para la Atención Primaria: Oportunidades para la asistencia, para la comunicación médico-paciente, para la autogestión, para la toma de decisiones compartida y para la investigación,» 2018. “<https://www.semfyc.es>”.
- [8] Benito, E. d., «Sanidad propone un tope de 1.500 pacientes por médico y enfermero de atención primaria,» *El país*, 2019.
- [9] PMFarma, «Philips consigue autorización para comercializar nuevas aplicaciones clínicas,» 2014.
- [10] Martin, J., «Los retos del IoT para la atención médica y sanitaria en 2019,» *Blogthinkbig.com*, 2019.
- [11] F. F.-R. N. C. A. P., Luis Filipe, «Wireless Body Area Networks for Healthcare Applications: Protocol Stack Review,» vol. 11, nº 10, 2015.
- [12] La Vanguardia, «Indra y Televisión desarrollan un proyecto pionero en monitorización del paciente a través de IoT,» *La Vanguardia*, 2016.
- [13] Epiprensa, «Evolución y desafíos actuales de los sistemas sanitarios: la propuesta de HP». “<http://www.epiprensa.com>”
- [14] Foundation29, «<https://foundation29.org/>».
- [15] G. Health, «<https://enterprise.gem.co/health/>».
- [16] iSolve, «<https://isolve.io/>».
- [17] Blockchain Health Co, «<https://www.blockchainhealth.co/>».
- [18] E. J. a. A. M., Chris A. Otto, «A WBAN-based System for Health Monitoring at Home,» IEEE, Boston, USA, Sept.4-6, 2006.
- [19] W. S. Y. S. a. E. C., Ian F. Akyildiz, «A Survey on Sensor Networks,» Agosto 2002.
- [20] V. L. C. C. a. H. C., Huasong Cao, «Enabling Technologies for Wireless Body Area Networks: A Survey and Outlook,» Diciembre 2009.

- [21] J. A. y. V. T., Hector Kaschel, «Redes de Area Corporal Inalámbricos: Requisitos, Desafíos e Interferencias,» Noviembre 2014.
- [22] BBC Salud, «Exitoso "ojo electrónico" ofrece esperanzas para ciegos,» 3, Mayo, 2012.
- [23] BBC Ciencia, «Implante de chip que ayuda a parapléjicos,» 23, Noviembre,2010.
- [24] IEC 80001-1:2010: ISO/TC 215 Health informatics, «Application of risk management for IT-networks incorporating medical devices — Part 1: Roles, responsibilities and activities,» 2010-10.
- [25] FERNÁNDEZ, S. «De 11Mbps a 11Gbps: La evolución de los estándares WiFi hasta el WiFi 802.11ax,» 16 Agosto 2018Actualizado 9 Agosto 2019, 16:43.
- [26] PASTOR, N. «El 5G ya es una realidad, ¿cómo cambiará nuestra vida?,» 02/10/2019 00:05, Actualizado a 08/10/2019 03:55.
- [27] F. J. (. V. P. a. H. o. B. A. Networks), «Ericsson Mobility Report,» Junio 2019.
- [28] Gobierno de España. Ministerio de Economía y Empresa, «Actuaciones 5G en Europa». "<https://avancedigital.gob.es/5G/Paginas/Actuaciones-5G-Europa.aspx>"
- [29] Vodafone, «Mapa de Cobertura Móvil Vodafone». "<https://www.vodafone.es/c/conocenos/es/vodafone-espana/mapa-cobertura-movil/>"
- [30] Actasanitaria, «Ericsson asegura que los pacientes controlarán mejor su salud con las redes 5G,» 4,Julio,2017.
- [31] Ericsson, «Understanding the opportunities for operators in healthcare». "<https://www.ericsson.com/en/networks/trending/insights-and-reports/5g-healthcare>"
- [32] Ericsson, «Transforming healthcare homecare». "<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/consumerlab/reports/transforming-healthcare-homecare>"
- [33] PECO, R. «¿Tras la llegada del 5G tienen sentido las redes de fibra y el WiFi?,» La Vanguardia, 25/06/2019 06:00, Actualizado a 25/06/2019 10:17.
- [34] MUELA, C. «Sobre nanoimplantes en la piel o prótesis conectadas a los nervios: una hora con el director de nanotecnología del MIT, Brian Anthony,» 14 Octubre 2019.
- [35] Hernando, A. «El padre que quiere mejorar el diagnóstico de enfermedades raras con inteligencia artificial,» 14 Agosto 2019.
- [36] Criado, R. G. P. «Estudio en detalle y evaluación del protocolo BLE Mesh,» TFM, UOC, 10 Junio 2018.
- [37] Montero, K. M. L. «DISEÑO DE UN SISTEMA NO INVASIVO DE MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CORPORAL INTERNA,» TFG: Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Febrero 2015.
- [38] Blog del Curso Política – Instituciones, «Globalización: Un mundo sin fronteras,» 28 Octubre 2010.
- [39] D. M. C. (. G. d. I. O. M. d. I. Salud), «Globalización y salud,» OMS, 2008.
- [40] Franco, A. «Globalizar la salud,» Departamento de Salud Pública.

Universidad de Alicante, Alicante, 2002.

- [41] Sanidad Pública, Globalización y salud, Madrid: Federación de Asociaciones para la Defensa de la Sanidad Pública.
- [42] Gobierno de España, «Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.» 2018.
- [43] Garrido Elustondoa, S., Ballesterosb, L.C. Domínguezc, I.G, et al., «Investigación y protección de datos personales en atención primaria,» Elsevier España, 2011.
- [44] Deloitte, «Blockchain: Oportunities for health care.,» 2016. “<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/public-sector/us-blockchain-opportunities-for-health-care.pdf>”
- [45] Frost & Sullivan, «Blockchain Technology in Global Healthcare, 2017–2025,» 2017.
- [46] «Embrace2».” <https://www.empatica.com/en-eu/store/embrace2/>”
- [47] A. Mora, «Los mejores smartwatch de 2019,» Noviembre 2019. “<https://www.pcworld.es/mejores-productos/wearables/mejores-smartwatch-3673527/>”
- [48] «Los 5 Wearable más Usados en la industria de Fitness». “<https://zivaplus.com/inicio/blogoneclip1-3/93-los-5-sensores-wearable-mas-usados-y-sus-respectivos-reportes>”

## 8. Anexos

### 8.1. Anexo 1: Breve estudio de los dispositivos *wearables* de mercado

Por definición, un dispositivo *wearable* hace referencia al conjunto de aparatos y dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte del cuerpo interactuando de forma continua con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar alguna función concreta. Su objetivo común es ofrecer funcionalidades como controlar otros dispositivos desde la muñeca, controlar signos vitales de forma automática u ofrecernos acceso a redes e internet.

Hay una gran variedad de dispositivos *wearables* o inteligentes que se podrían agrupar en cinco grupos de acuerdo con su funcionalidad:

- **Aparatos de monitorización de ejercicio.** Es el tipo más conocido. Comenzó a partir de dispositivos capaces de realizar un seguimiento de la cantidad de pasos de los usuarios y ha evolucionado de forma que estos dispositivos ahora incluso rastrear el ritmo cardíaco, las calorías quemadas e incluso los ciclos de sueño.
- **Relojes inteligentes.** Relojes digitales que además de indicar la hora aportan una serie de funciones adicionales, como la notificación de llamadas y mensajes.
- **Gorros, gafas y audífonos inteligentes.** Esta tecnología ha evolucionado hacia el término de realidad virtual. Gracias a los nuevos dispositivos se consigue que el usuario pueda sumergirse en mundos y juegos virtuales, grabar mientras se practican deportes extremos, o mantener conversaciones con los micrófonos incorporados en wearables y los audífonos inteligentes.
- **Ropa inteligente.** Se están incorporando nodos sensores en distintas prendas de ropa como por ejemplo el caso de los sujetadores deportivos *MyZone* que cuenta con un monitor de ritmo cardíaco incorporado.
- **Joyas inteligentes.** Varias compañías de tecnología junto con las marcas de moda como Michael Kors han desarrollado joyas con un propósito: rastreadores de estado físico, gestores del estrés o contadores de pasos.

Mientras que según el nivel o índice de inteligencia de los dispositivos se podrían clasificar en:

- **Índice 1:** El más básico. Aquí se engloban los dispositivos con capacidades únicamente sensoras, sin pantalla ni aplicaciones, que requieren de un segundo dispositivo. Un ejemplo sería la primera *Smartband* de Sony.

- **Índice 2:** los dispositivos que sí contienen una pantalla pero que tienen capacidades limitadas y requieren aún de un dispositivo para funcionar. Un ejemplo sería la pulsera *Misfit Shine* que no tiene pantalla, pero además de medir la actividad tiene unas luces que sirven de reloj.
- **Índice 3.** Dispositivos con pantalla y menos limitaciones, por ejemplo, se permite la instalación de aplicaciones pero que aún así dependen de un segundo dispositivo. Un ejemplo sería el *Apple Watch*.
- **Índice 4.** Igual que los anteriores, pero con independencia de funcionamiento, esto es, estos ya no requieren de un segundo dispositivo para funcionar. Un ejemplo sería el *Gear S* de Samsung.

En cualquier caso, el presente proyecto se centra en el objetivo de monitorización de parámetros fisiológicos de estos dispositivos con fines en el sector sanitario. Es importante recordar al lector en este punto que lo que se busca es ofrecer accesibilidad al sistema a los usuarios de forma que no hay una selección óptima respecto a la segunda clasificación, sino que lo que se persigue es un diseño robusto y versátil que permita la compatibilidad en la mayor medida posible de los distintos tipos de dispositivos expuestos en esta última.

Con todo esto, es fácil apreciar las posibilidades de estos dispositivos en este ámbito. Un ejemplo claro del potencial de estos dispositivos es el reloj inteligente implementado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) que ayuda a manejar las convulsiones que sufren pacientes con epilepsia gracias al uso de inteligencia artificial para la detección de las crisis epilépticas y convulsiones en el paciente y provocando alertas automáticas a los profesionales del sector. <sup>[46]</sup>

Para conseguir el objetivo en cuestión, este tipo de dispositivos utilizan nodos sensores de captación de parámetros fisiológicos y tratan y procesan estos datos para proporcionar información a los usuarios.

En general, hay una gama amplia de posibilidades y la gran mayoría de los dispositivos actuales incluyen sensores para la monitorización del ritmo cardíaco y un sistema GPS. <sup>[47]</sup>

Dentro de esta gama, habrá que ser un poco selectivos por un lado en cuanto a requisitos de fiabilidad de los datos obtenidos, y por otro para conseguir dispositivos con un abanico mayor de tipo de nodos sensores que permitirá añadir más factores de medición al proyecto. Habrá que llegar a una conciliación entre accesibilidad y precio de los dispositivos con los factores anteriores para aportar confiabilidad al sistema sin imponer requisitos demasiado estrictos a los usuarios de adquisición de los dispositivos.

Una buena opción sería seguir la línea de los dispositivos enfocados al bienestar y al deporte para los que, en particular, los 5 sensores básicos más utilizados son <sup>[48]</sup>:

Sensor	Descripción	Tipo de Datos	Tipo de Reporte
<b>Acelerómetro, Giroscopio, Compás</b>	Todos los Wearable modernos y teléfonos smart están integrados con al menos uno de estos tres sensores.	Aceleración en ejes x,y,z, Inclinación, Puntos Cardinales	Entrega análisis de la velocidad, cadencia, distancia recorrida y cantidad de calorías quemadas. A su vez se pueden obtener datos de dormir
<b>GPS</b>	El Sistema de Posicionamiento Global, embebidos en dispositivos smartphones, relojes inteligentes y demás sensores.	Posición espacial, velocidad, distancia recorrida, altura	Velocidad promedio, recorrido total, altura máxima, ritmo por kilómetro. Distancia acumulada en un período de tiempo
<b>Barómetro</b>	Se utiliza para determinar con precisión la altura	Presión atmosférica	Este sensor es un adicional a los sensores GPS o Acelerómetro, su reporte por lo tanto es el mismo
<b>Ritmo Cardio</b>	Existen muchos métodos para medir el ritmo cardíaco, dentro de los Wearables el de mayor precisión hasta ahora es la banda cardíaca la cual mide con electrodos. Luego existen los ópticos, pero no son tan precisos ya que estiman el pulso mediante la velocidad del flujo sanguíneo.	Frecuencia Cardíaca	La mayoría de los reportes que se generan a través de este dato, se enfocan en la actividad workout diseñados específicamente para procesar información para frecuencias cardíacas durante el entrenamiento por ejemplo al detectar las zonas de trabajo cardios Link a Workout.
<b>Bioimpedancia</b>	Mide la resistencia de los tejidos corporales a través de la emisión de una corriente eléctrica de muy baja intensidad	Frecuencia Respiratoria, Frecuencia Cardíaca, respuesta Galvánica de la piel	De esfuerzos, trabajando en zonas

Tabla 17 Sensores más comunes en la industria del fitness <sup>[48]</sup>

A estos habría que añadirles las novedades que se están incorporando en otros modelos como por ejemplo los sensores para el control de la saturación del oxígeno.

Como puede verse el estudio de los dispositivos *wearables* actuales de mercado será una tarea prioritaria para el diseño propuesto en este proyecto a nivel práctico, por lo que se planteará dentro de una posible línea futura que podría ser el diseño a nivel bajo o electrónico del bloque de captación de información. En este caso, se requerirá de unas tareas de investigación previas, y la complejidad vendrá dada principalmente por el requisito de accesibilidad a los usuarios buscando la versatilidad del proyecto y la compatibilidad del sistema con el mayor número de dispositivos *wearables* posible.