



Interreg
España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional



UNIÓN EUROPEA



Nuevo Modelo Asistencial

NUEVO MODELO DE ATENCIÓN COMPARTIDA

ENTRE

ATENCIÓN PRIMARIA Y FARMACIA COMUNITARIA

PAPEL DE LAS TICS EN EL
NUEVO MODELO
TRANSFRONTERIZO

15/06/2018

v1.4



GRUPO DE
INGENIERÍA
ELECTRÓNICA

Descripción

Este documento tiene como objetivo abordar la telemedicina desde un punto tecnológico. En primer lugar, realizaremos un recorrido por las ventajas y desventajas de la telemedicina y su relación con las tecnologías de la información y comunicación (TICs). A continuación, describiremos resumidamente algunos apuntes históricos acerca de la telemedicina y su origen. Para finalizar el primer apartado, presentaremos distintos proyectos recientes que se desarrollan en el ámbito de la telemedicina.

Posteriormente, se presentan los distintos protocolos de comunicación que se usan en las distintas arquitecturas sanitarias y que aportan el medio de comunicación para los proyectos sanitarios. Tras ello, se especifican dispositivos electrónicos que se utilizan en los entornos médicos para tomar distintos datos clínicos de los pacientes.

Por último, se aportan las normativas y certificaciones que deben cumplir los proyectos de telemedicina en general y los dispositivos usados en estos proyectos

Socios

Universidad de Sevilla Grupo TIC-192 Ingeniería Electrónica.

Control de Versiones

V1.0 10 de abril de 2018. Manuel Alberto Moreno García. Inicio del documento.

V1.1 24 de abril de 2018. Jorge Jiménez Sánchez. Añadido Apartado 1.

V1.2 18 de mayo de 2018. Daniel Narbona Miguel/Jorge Jiménez Sánchez. Añadido Apartado 2.

V1.3 8 de junio de 2018. José M. Hinojo Montero/Jorge Jiménez Sánchez. Añadido Apartado 3.

V1.4 15 de junio de 2018. Jorge Jiménez Sánchez. Añadido Apartado 4

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN EJECUTIVO | 2 |
| <i>Descripción</i> | 2 |
| <i>Socios</i> | 2 |
| <i>Control de Versiones</i> | 2 |
| ÍNDICE | 1 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 3 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 4 |
| 1. VENTAJAS DE LA TELEMEDICINA SOBRE EL MODELO ACTUAL | 6 |
| 1.1. <i>Ventajas y desventajas de la Telemedicina</i> | 7 |
| 1.2. <i>Historia y ejemplo de uso de la Telemedicina</i> | 8 |
| 2. ESTADO DEL ARTE SOBRE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIONES PARA TELEMEDICINA | 15 |
| 2.1. <i>Tipos de Arquitectura</i> | 15 |
| 2.1.1. <i>Arquitectura Centralizada</i> | 15 |
| 2.1.2. <i>Arquitectura Distribuida</i> | 16 |
| 2.2. <i>Protocolos de Comunicación</i> | 19 |
| 2.2.1. <i>Tecnologías Cableadas</i> | 20 |
| 2.2.1.1. <i>Ethernet/IEEE 802.3</i> | 21 |
| 2.2.1.2. <i>CAN</i> | 27 |
| 2.2.1.3. <i>DeviceNet</i> | 29 |
| 2.2.1.4. <i>Profibus</i> | 30 |
| 2.2.1.5. <i>Modbus</i> | 32 |
| 2.2.1.6. <i>Otras Tecnologías Cableadas (USB)</i> | 33 |
| 2.2.2. <i>Tecnologías Inalámbricas</i> | 35 |
| 2.2.2.1. <i>Wifi</i> | 35 |
| 2.2.2.2. <i>Bluetooth</i> | 42 |
| 2.2.2.3. <i>Redes Móviles (1G/2G/3G/4G)</i> | 46 |
| 2.2.2.4. <i>6LowPAN</i> | 49 |
| 2.2.2.5. <i>LoRa (LoRaWAN)</i> | 51 |
| 2.2.2.6. <i>ZigBee</i> | 54 |
| 2.2.2.7. <i>NBIoT</i> | 57 |
| 2.2.3. <i>Conclusiones</i> | 58 |
| 3. ESTADO DEL ARTE SOBRE SENSORES BIOMÉDICOS USADOS EN TELEMEDICINA | 59 |
| 3.1. <i>Tensiómetros</i> | 60 |
| 3.1.1. <i>Tensiómetro Omron HBP 1300</i> | 62 |
| 3.1.2. <i>Esfigmomanómetro Omron 708-BT</i> | 64 |
| 3.1.3. <i>Tensiómetro A&D Medical UA-767PBT</i> | 65 |
| 3.1.4. <i>Beurer BM 95</i> | 66 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 3.2. | <i>Básculas</i> | 68 |
| 3.2.1. | Omron BF 511 | 69 |
| 3.2.2. | Beurer BF100..... | 70 |
| 3.2.3. | A&D MEDICAL AD-6121ABT1 | 71 |
| 3.2.4. | Omron BF206-BT | 72 |
| 3.3. | <i>Podómetros</i> | 73 |
| 3.3.1. | Omron Walking Style One 2.1 | 74 |
| 3.3.2. | Yamax Digi-Walker SW800 | 75 |
| 3.3.3. | Tech4O | 76 |
| 3.3.4. | Omron Walking Style IV | 77 |
| 3.4. | <i>Glucómetros</i> | 78 |
| 3.4.1. | Abbott Freestyle Freedom Lite..... | 79 |
| 3.4.2. | Glucocard 01 | 80 |
| 3.4.3. | MyGlucoHealth Wireless..... | 81 |
| 3.4.4. | Bayer Contour XT | 82 |
| 3.5. | <i>Espirómetros</i> | 83 |
| 3.5.1. | ERT AM1+ | 84 |
| 3.5.2. | Vitalograph 4000 COPD6 BT..... | 85 |
| 3.5.3. | MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone | 86 |
| 3.5.4. | Micro 1 | 87 |
| 3.6. | <i>Pulsioxímetros</i> | 88 |
| 3.6.1. | ChoiceMMed MD300C318T BT | 89 |
| 3.6.2. | Nonin 9600 | 90 |
| 3.6.3. | Onyx Vantage 9590 | 91 |
| 3.6.4. | Nonin Palmsat 2500A | 92 |
| 3.7. | <i>Termómetros</i> | 93 |
| 3.7.1. | Fora IR21B | 93 |
| 3.7.2. | DT-8806 | 94 |
| 3.7.3. | SureTemp Plus 690..... | 95 |
| 3.7.4. | Braun ThermoScan PRO 600..... | 96 |
| 3.8. | <i>Conclusiones</i> | 97 |
| 4. | CERTIFICACIONES Y NORMATIVA PARA EL USO DE LAS TIC EN TELEMEDICINA | 98 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 102 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Características de las distintas implementaciones de IEEE 802.3 | 24 |
| Tabla 2. Velocidad de bits para distintas longitudes en el protocolo CAN | 28 |
| Tabla 3. Longitud del bus en el protocolo DeviceNet con respecto a la velocidad de datos..... | 30 |
| Tabla 4. Ratio de Velocidad con respecto a la longitud del bus principal en Profibus | 31 |
| Tabla 5. Principales características de Bluetooth..... | 43 |
| Tabla 6. Niveles de Potencia para cada clase de dispositivo Bluetooth | 45 |
| Tabla 7. Características principales de 6LowPAN..... | 50 |
| Tabla 8. Consumo en LoRaWAN según el modo de operación..... | 52 |
| Tabla 9. Características LoRaWAN | 53 |
| Tabla 10. Características de 802.15.4 | 55 |
| Tabla 11. Características de NBloT..... | 57 |
| Tabla 12. Principales características del dispositivo Omron HBP 1300 [39] | 63 |
| Tabla 13. Descripción de las principales características del dispositivo Omron 708-BT [40] | 64 |
| Tabla 14. Descripción de las principales características del dispositivo A&D Medical UA-767PBT [41] | 66 |
| Tabla 15. Principales características del dispositivo Beurer BM 95 [42]..... | 67 |
| Tabla 16. Características principales del dispositivo Omron BF511 [43] | 69 |
| Tabla 17. Características principales del dispositivo Beurer BF100 [44]..... | 71 |
| Tabla 18. Principales características del dispositivo A&D MEDICAL AD-6121ABT1 [45] | 72 |
| Tabla 19. Principales características del dispositivo Omron BF206-BT [46] | 73 |
| Tabla 20. Principales características del dispositivo Omron Walking Style One 2.1 [47] | 75 |
| Tabla 21. Principales características del dispositivo Yamax Digi-Walker SW800 [48] | 76 |
| Tabla 22. Principales características del dispositivo Tech4O [49]..... | 77 |
| Tabla 23. Principales características del dispositivo Omron Walking style IV [50] | 78 |
| Tabla 24. Principales características del dispositivo Abbott Freestyle Freedom Lite [51] | 79 |
| Tabla 25. Principales características del dispositivo Glucocard 01 [52]..... | 80 |
| Tabla 26. Principales características del dispositivo MyGlucoHealth Wireless [53] | 82 |
| Tabla 27. Principales características del dispositivo Bayer Contour XT [54]..... | 83 |
| Tabla 28. Principales características del dispositivo ERT AM1+ [55] | 84 |
| Tabla 29. Principales características del dispositivo Vitalograph 4000 COPD6 BT [56] | 85 |
| Tabla 30. Principales características del dispositivo MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone [57] ... | 86 |
| Tabla 31. Principales características del dispositivo Micro 1 [58]..... | 87 |
| Tabla 32. Principales características del dispositivo ChoiceMMed MD300C318T BT [59] | 89 |
| Tabla 33. Principales características del dispositivo Nonin 9600 [60] | 90 |
| Tabla 34. Principales características del dispositivo Onyx Vantage 9590 [61] | 91 |
| Tabla 35. Principales características del dispositivo Nonin Palmsat 2500A [62] | 92 |
| Tabla 36. Principales características del dispositivo Fora IR21B [63]..... | 94 |
| Tabla 37. Principales características del dispositivo DT-8806 [64] | 95 |
| Tabla 38. Principales características del dispositivo SureTemp Plus 690 [65] | 96 |
| Tabla 39. Principales características del dispositivo Braun Thermoscan PRO 600 [66]..... | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Artículo de 1924 de la revista Radios News mostrando a un doctor examinando a un paciente mediante un radio con pantalla de televisión [97] | 9 |
| Figura 2. Distintas tarjetas sanitarias válidas en España [98] | 10 |
| Figura 3. Logo del Proyecto PALANTE [99]..... | 11 |
| Figura 4. Logo Proyecto Equilink [10]..... | 13 |
| Figura 5. Logo del proyecto AAL Health at Home [13]..... | 14 |
| Figura 6. Arquitectura Centralizada [101]..... | 16 |
| Figura 7. Arquitectura Distribuida [101] | 17 |
| Figura 8. Ejemplo de diagrama de un sistema con arquitectura en la nube [102] | 18 |
| Figura 9. Jerarquía de comunicación en el entorno sanitario [103] | 19 |
| Figura 10. Conexión jerarquía entre distintas plantas de un hospital y a su vez, entre distintos hospitales | 20 |
| Figura 11. Notación de IEEE 802.3 [104]..... | 22 |
| Figura 12. Tramas de Ethernet e IEEE 802.3 [16]..... | 24 |
| Figura 13. Diagrama de Flujo del control de acceso CSMA/CS [105]..... | 26 |
| Figura 14. Bus CAN de alta velocidad ISO 11898-2 [19]..... | 29 |
| Figura 15. Formato de Trama de datos de DeviceNet [106]..... | 30 |
| Figura 16. Distintas versiones del estándar USB y características principales de cada una de ellas [107] | 34 |
| Figura 17. Logo Wifi Alliance [108]..... | 35 |
| Figura 18. Etiqueta identificativa de un dispositivo compatible con varias versiones de 802.11 [109] | 36 |
| Figura 19. Tabla comparativa entre los distintos estándares de 802.11 [110]..... | 37 |
| Figura 20. Modo AD-HOC (IBSS) [111] | 39 |
| Figura 21. Modo Infraestructura (EBSS) [112]..... | 39 |
| Figura 22. Espectro de la banda ISM 2,4GHz visiblemente saturado [113] | 41 |
| Figura 23. Logo Bluetooth [114]..... | 42 |
| Figura 24. Diferentes Topologías en Bluetooth [115] | 44 |
| Figura 25. Logo de la tecnología GPRS [116]..... | 47 |
| Figura 26. Comparativa de los distintos estándares de red móvil [117]..... | 49 |
| Figura 27. Arquitectura del protocolo 6LowPAN | 50 |
| Figura 28. Arquitectura de LoRaWAN [33]..... | 53 |
| Figura 29. Comparativa entre Capa 802.15.4 y ZigBee [118]..... | 54 |
| Figura 30. Topologías posibles en ZigBee [119] | 56 |
| Figura 31. Arquitectura de NBloT [120] | 58 |
| Figura 32. Comparación entre los métodos de auscultación, oscilométrico y de pulso en la medición de la presión arterial [38] | 61 |
| Figura 33. Tensiómetro Omron HBP 1300 [39]..... | 62 |
| Figura 34. Imagen del dispositivo Omrom 708-BT [40]..... | 65 |
| Figura 35. Imagen del dispositivo A&D Medical UA-767PBT [41]..... | 65 |
| Figura 36. Imagen del dispositivo Beurer BM 95 [42] | 68 |
| Figura 37. Imagen del dispositivo Omron BF511 [43] | 70 |

| | |
|--|----|
| Figura 38. Imagen del dispositivo Beurer BF100 [44] | 70 |
| Figura 39. Imagen del dispositivo A&D MEDICAL AD-6121ABT1 [45]..... | 71 |
| Figura 40. Imagen del dispositivo Omron BF206-BT [46]..... | 72 |
| Figura 41. Imagen del dispositivo Omron Walking Style One 2.1 [47]..... | 74 |
| Figura 42. Imagen del dispositivo Yamax Digi-Walker SW800 [48] | 76 |
| Figura 43. Imagen del dispositivo Tech4O [49]..... | 76 |
| Figura 44. Imagen del dispositivo Omron Walking style IV [50] | 77 |
| Figura 45. Imagen del dispositivo Abbott Freestyle Freedom Lite [51] | 80 |
| Figura 46. Imagen del dispositivo Glucocard 01 [52] | 81 |
| Figura 47. Imagen del dispositivo MyGlucoHealth Wireless [53] | 81 |
| Figura 48. Imagen del dispositivo Bayer Contour XT [54] | 82 |
| Figura 49. Imagen del dispositivo ERT AM1+ [55]..... | 84 |
| Figura 50. Imagen del dispositivo Vitalograph 4000 COPD6 BT [56] | 85 |
| Figura 51. Imagen del dispositivo MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone [57]..... | 86 |
| Figura 52. Imagen del dispositivo Micro 1 [58]..... | 87 |
| Figura 53. Imagen del dispositivo ChoiceMMed MD300C318T BT [59]..... | 89 |
| Figura 54. Imagen del dispositivo Nonin 9600 [60]..... | 90 |
| Figura 55. Imagen del dispositivo Onyx Vantage 9590 [61]..... | 91 |
| Figura 56. Imagen del dispositivo Nonin Palmsat 2500A [62] | 92 |
| Figura 57. Imagen del dispositivo Fora IR21B [63]..... | 93 |
| Figura 58. Imagen del dispositivo DT-8806 [64]..... | 94 |
| Figura 59. Imagen del dispositivo SureTemp Plus 690 [65] | 95 |
| Figura 60. Imagen del dispositivo Braun Thermoscan PRO 600 [66] | 96 |

1. VENTAJAS DE LA TELEMEDICINA SOBRE EL MODELO ACTUAL

Para la definición del nuevo modelo de prestación sociosanitaria conjunta en la zona transfronteriza, la Universidad de Sevilla tiene como objetivo aportar sus conocimientos en interconexión de sistemas para su uso en aplicaciones sanitarias. Para ello, en este apartado realizaremos un recorrido por las ventajas y desventajas de la telemedicina y su relación con las tecnologías de la información y comunicación (TICs).

Según la web oficial del gobierno estadounidense para la atención médica [1], la telemedicina *busca mejorar la salud de un paciente, permitiendo la comunicación interactiva en tiempo real entre el paciente, y el médico o profesional a distancia. Esta comunicación electrónica conlleva el uso de equipos de telecomunicaciones interactivas que incluyen, como equipamiento mínimo, audio y vídeo.* En pocas palabras, podemos definir la Telemedicina como la prestación a distancia de servicios clínicos de salud gracias a la infraestructura de telecomunicaciones. La telemedicina, a veces recibe otros nombres, como tele-salud, e-salud o atención médica virtual. Términos que a veces no significan exactamente los mismos. De hecho, la telemedicina es estrictamente un subconjunto de la tele-salud o e-salud que, aparte de la telemedicina, incluye cosas como la educación sanitaria a distancia [2].

Un ejemplo sencillo que diferencia ambos contextos sería el caso de una videoconferencia donde se imparte cursos de educación médica. En este caso, no se trata de telemedicina, pero si se encuadra en el grupo amplio de e-salud. Una aplicación software que permita interactuar entre médico y paciente para consultas o diagnósticos si puede considerarse telemedicina (que a su vez se encuadra dentro de e-salud).

La telemedicina utiliza las tecnologías de la información y las telecomunicaciones (por medio de los sistemas telemáticos) para proporcionar o asistencia médica, independientemente de la distancia que separa a los que ofrecen el servicio.

Dentro de la telemedicina podemos considerar tres tipos fundamentales:

- **Monitorización de pacientes a distancia:** permite establecer un control a distancia de los pacientes con enfermedades crónicas. Se consigue a través del uso de dispositivos que recopilan datos sobre niveles de azúcar en la sangre, presión arterial y otros signos vitales. Los médicos y enfermeros pueden monitorizar los datos en tiempo real desde el hospital, y decidir si es necesaria algún tipo de acción.
- **Tecnología de almacenamiento y envío:** consiste en almacenar datos clínicos para su envío a otros centros médicos. Por ejemplo, realizar radiografías en un ambulatorio y enviarlas en tiempo real a un centro especializado para su interpretación.
- **Telemedicina interactiva:** permite a médicos y pacientes comunicarse en tiempo real. Básicamente se trata de una videoconferencia, para la cual el paciente tiene la posibilidad de quedarse en su domicilio o acudir al centro de salud más cercano.

1.1. Ventajas y desventajas de la Telemedicina

En primer lugar, vamos a exponer las ventajas que presenta la telemedicina desde una perspectiva orientada al uso de las TICs [3]. Uno de los principales beneficios de la telemedicina es un mejor acceso a los servicios sanitarios siendo posible proveer éstos en escenarios en los que no existe otra alternativa que la utilización de las TICs. Esto implica una mejora en la atención especializada en zonas remotas donde hay recursos sanitarios escasos, evitando desplazamientos y mejorando la accesibilidad y la equidad.

Otra de las ventajas es evitar derivaciones innecesarias, mediante el contacto entre centros y niveles asistenciales, lo que supone una mejora en la calidad del servicio. En áreas urbanas es posible y ventajoso agilizar los procesos administrativos y de apoyo (citas o envío de informes) para una mayor rapidez y precisión en los tratamientos.

Se mejora la comunicación entre los profesionales de la salud. La información del paciente, tal como: la historia clínica, los resultados de exámenes y observaciones realizadas por los médicos, es fácilmente transmitida electrónicamente, haciendo uso de diferentes protocolos y tecnologías. La comunicación digital permite que la información de la salud sea más completa, actualizada y precisa. Gracias a esto, los profesionales de la salud tendrán la posibilidad de consultar a los especialistas sin tener que desplazarse.

Se permite el intercambio inmediato de cualquier tipo de información (video, voz, datos o gráficos). De manera que los usuarios, con la ayuda del sistema pueden, en forma remota, compartir facilidades de bases de datos, o de tecnologías del tipo multimedia.

Otra gran ventaja es la mejor utilización de recursos ya que no es eficiente que se tengan los mismos recursos en todos los centros y que no se utilicen frecuentemente. Es mejor tener un grupo pequeño de recursos, pero que, con la utilización de la telemedicina, se pueda utilizar todo su potencial.

Por último, se produce una reducción de costos con el ahorro de tiempo en el transporte de los enfermos, en el transporte de médicos y especialistas.

En resumen, las principales **ventajas** de la telemedicina comentados anteriormente son:

- Mejor acceso a los servicios sanitarios.
- Mejor comunicación entre los profesionales de la salud.
- Mejor acceso a la información.
- Mejor utilización de recursos.
- Reducción de costos.

La telemedicina aporta muchos beneficios, pero también encontramos en ella algunas desventajas, las cuales son conveniente conocer. La situación más negativa de la telemedicina es la baja relación médico-paciente. La tecnología suele tender a ser impersonal. Existen pacientes y, también profesionales de la salud, que se resisten al manejo de la tecnología para fines médicos. Esta incidencia es más común en personas de edad avanzada, sobretodo porque

no dominan los dispositivos con soltura, pero con una cuidadosa preparación se pueden disminuir estas dificultades.

La continua creación de nuevas tecnologías y métodos de trabajo llevan a una especie de interferencias y preocupaciones acerca de las consecuencias a corto y a largo plazo de la aplicación de la telemedicina. Se teme que la tecnología se vuelva obsoleta o que no se tengan las habilidades para su manejo.

La educación y la formación son piezas clave para una aplicación exitosa de telemedicina. Ambas son requerimientos que deben ser considerados continuamente a medida que se va desarrollando el sistema y se va contratando personal. Esta capacitación incluye la utilización del equipo, el proceso de teleconsulta y la elaboración de los documentos apropiados para estas tareas.

El desarrollo del protocolo a seguir es uno de los más importantes aspectos al inicio de una aplicación telemédica, pero también el que lleva más tiempo de realizar. Los protocolos son el resultado de un grupo multidisciplinario y una de sus ventajas es la integración de diversos puntos de vista, pero la desigualdad de los participantes y las dificultades logísticas para conseguir un personal que trabajen en conjunto puede resultar una tarea laboriosa.

Finalmente, como resumen de las **desventajas** de la telemedicina, podemos resaltar:

- Escasa relación médico-paciente
- Tecnología impersonal
- Organización interrumpida
- Necesidad de capacitaciones adicionales
- Dificultad del desarrollo del protocolo

1.2. Historia y ejemplo de uso de la Telemedicina

La historia de la Telemedicina sigue un hilo paralelo al de las telecomunicaciones. El desarrollo del telégrafo, el teléfono, la radio y la televisión se han aprovechado para uso médico desde su inicio.

Desde comienzos del siglo XX se ha usado la medicina a distancia y existen ejemplos de equipos que fueron desarrollados para la transmisión de resultados de rayos X a través del telégrafo en Australia. Otros medios de comunicación también se han utilizado para la transmisión de información en diferentes actividades de atención de la salud en el mundo entero. Se tienen referencias del uso de sistemas de radiotelegrafía ya en 1920 en los países nórdicos y en Italia para asistencia marítima [4].

La primera idea de la telemedicina tal y como la conocemos hoy en día apareció en la edición de abril de 1924 de la revista Radio News. En ella, una ilustración futurista mostraba una máquina con televisión y micrófono que permitía a un paciente comunicarse con su médico. El aparato incluía además el uso de indicadores de latidos del corazón y de temperatura.



Figura 1. Artículo de 1924 de la revista Radios News mostrando a un doctor examinando a un paciente mediante un radio con pantalla de televisión [97]

La Telemedicina existe como tal desde finales de la década de 1950. Una de las primeras implementaciones se efectuó en la Universidad de Nebraska en los Estados Unidos, y consistió en un circuito cerrado de televisión bi-direccional comunicado por microondas, que se usó para tratamiento a distancia y educación médica.

Otro proyecto pionero utilizó una conexión vía satélite entre un hospital de Anchorage, Alaska con otro de Sacramento en California.

La radiología fue la primera especialidad médica para abrazar plenamente la telemedicina, con el objetivo de conseguir la transmisión digital de imágenes radiológicas.

Los primeros proyectos estuvieron dirigidos a la tele-consulta y a la tele-educación. El desarrollo de la Telemedicina hasta su sofisticado nivel actual ha pasado por muchas etapas, y resulta indudable que ha estado íntimamente relacionado con aspectos eminentemente tecnológicos.

El creciente nivel de complejidad que desde la década de 1960 han ido adoptando las telecomunicaciones, ha revolucionado este campo. Primeramente, las comunicaciones telefónicas han sufrido un cambio que va desde la telefonía electromecánica de los primeros tiempos, hasta los tendidos digitales de fibra óptica de alta velocidad de hoy en día.

La Administración Espacial y Aeronáutica Nacional (NASA), cuya sede se encuentra ubicada en los Estados Unidos, jugó un papel muy importante en los comienzos del Desarrollo de la Telemedicina. Los esfuerzos de la NASA en Telemedicina comienzan en los años 60, cuando el hombre decide volar hacia el espacio.

Durante la Misión fueron teledidos los parámetros fisiológicos de los trajes espaciales y la astronave. Estos primeros esfuerzos y el incremento en comunicaciones satelitales promovieron el desarrollo de Telemedicina y liberación de muchos de los Equipos Médicos de Salud usados hoy en día.

Con el auge de Internet en la década de 1990 llegó la explosión de la información. Una auténtica revolución en telemedicina que incluye la transmisión de imágenes médicas, consultas de audio y vídeo en tiempo real, y las mediciones de signos vitales [5].

Desde entonces hemos continuado innovando en los centros médicos, centros de investigación, e incluso dentro de los hogares de los pacientes. En España, según [6], unos 45 millones de personas ya se encuentran incluidas en la base de datos digital de la sanidad española, casi el 97% del total de la población española (en España hay censadas unos 46,7 millones de personas).

La sanidad española ha realizado en los últimos años una mejora en el acceso a la tecnología con proyectos como la receta electrónica, la tarjeta sanitaria única y la historia clínica digital.



Figura 2. Distintas tarjetas sanitarias válidas en España [98]

La historia clínica digital en España ya cubre a 35 millones de personas, un 73% de la población, mientras que en 2011 sólo cubría a seis millones. Actualmente, la receta electrónica tiene una implementación del 87%, mientras que en 2011 cubría únicamente al 50% de la población.

Como ejemplo de proyectos de telemedicina en España, en el año 2012, se pone en marcha el proyecto **Demora Cero** en el Hospital de Baza en Granada. Este proyecto pretende ser un espacio de colaboración entre médicos especialistas del Servicio de Medicina Interna del Hospital de Baza (Granada), que incluye las Unidades de Medicina Interna, Digestivo, Neumología y Cardiología, y los médicos especialistas de medicina de familia y comunitaria de los centros de salud del área de influencia del hospital. A través de la e-interconsulta, y mediante correos electrónicos se pone a disposición de los médicos de atención primaria una serie de consultas y peticiones de pruebas diagnósticas, a las que tendrán respuesta en un plazo inferior a 72 horas. El objetivo principal de esta medida es reducir al máximo los tiempos de espera en consultas externas para la toma de decisiones diagnósticas y terapéuticas [7].

Otro proyecto asociado a la telemedicina es el proyecto **PALANTE** (PATients Leading and mANaging their healthcare through EHealth) que se centra en la aplicación, la ampliación y optimización de 7 pilotos basados en el concepto de acceso seguro y fácil de los ciudadanos a sus datos médicos [8].

El objetivo principal de esta propuesta es capacitar a los pacientes para que sean capaces de tomar decisiones sobre su salud, de forma que tome un papel activo en su cuidado y colabore eficazmente con el equipo sanitario gracias al uso de tecnologías de la información y la comunicación.

El proyecto PALANTE incluye 7 nuevos pilotos en 6 países (7 regiones) con 21 socios de 10 países diferentes, y 69.550 usuarios finales implicados en el pilotaje. Se incluyen tanto las administraciones públicas como las privadas para garantizar todos los actores clave involucrados en la prestación de la sanidad electrónica. El primer piloto de este proyecto se sitúa en Andalucía y pretende mejorar el servicio de acceso a la historia de salud a través de las plataformas Clic Salud/InterS@S. La población diana del piloto andaluz se centra en 500 personas con diabetes mellitus Tipo 1 (en hospitales) y 6500 personas con diabetes mellitus Tipo 2 (en atención primaria).



Figura 3. Logo del Proyecto PALANTE [99]

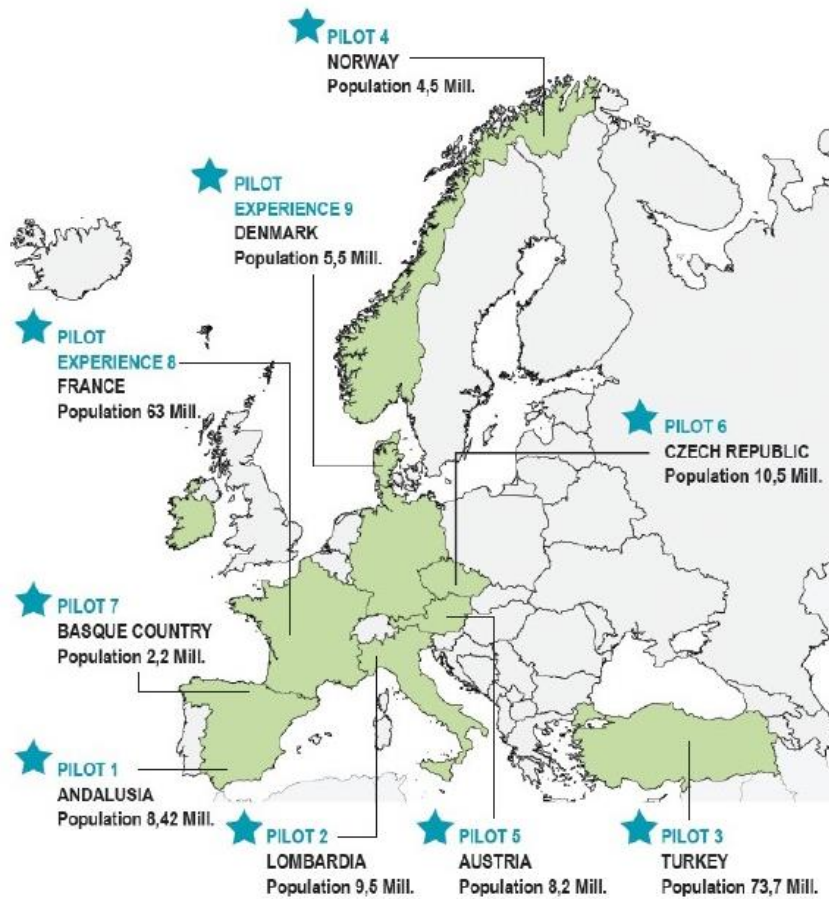


Figura 4. Pilotos del proyecto PALANTE [8]

Un proyecto bastante interesante es la *Plataforma de monitorización remota basada en e-textiles para rehabilitación cardiaca* que desarrolla el Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla [9].

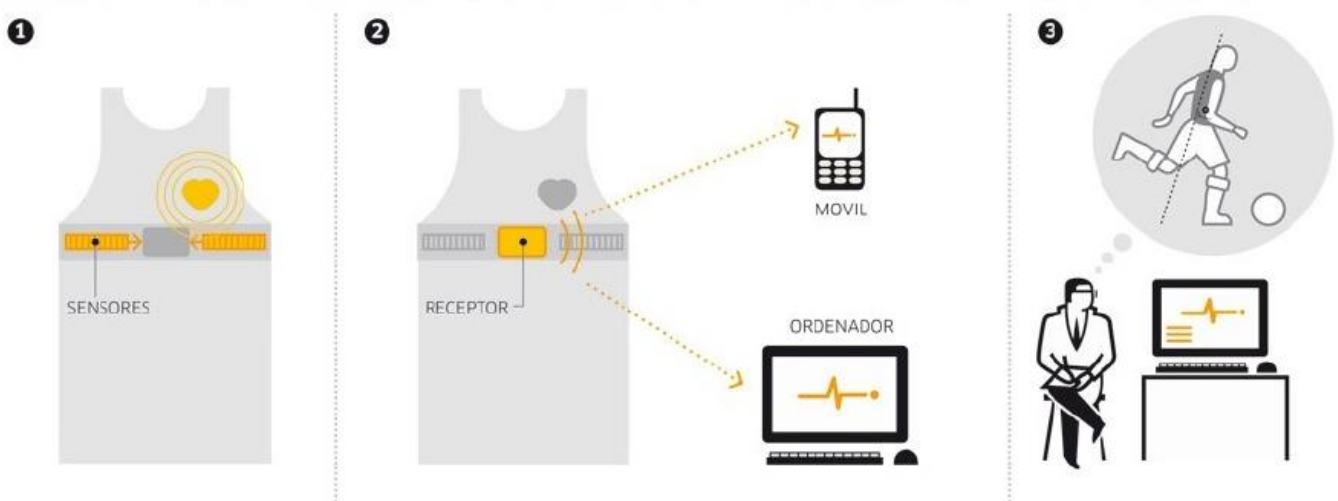


Figura 5. Diagrama de la camiseta de la de monitorización remota para rehabilitación cardiaca [100]

El objetivo es controlar el corazón de los deportistas con una prenda. Para ello, el deportista se pone la camiseta que incluye sensores en el tejido que captan los latidos del corazón. El receptor que incluye la camiseta recoge la información y la envía mediante Bluetooth o WiFi a un teléfono móvil o PC y a una plataforma que actúa como base de datos en la nube. El médico del deportista analiza las constantes en tiempo real pudiendo actuar con rapidez en caso de alguna anomalía.

Otro ejemplo, también desarrollado en el Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla, es el proyecto **Equilink** [10]. El sistema de salud de Andalucía está concebido teóricamente para que cada ciudadano cuente con un médico de Atención Primaria que vele por su salud integral. A su vez, estos médicos, cuentan con un equipo de profesionales y dispositivos a su disposición para abordar, de manera especializada, aquellos problemas para los que el responsable de la salud integral del ciudadano (el médico de primaria) no cuente con los conocimientos, la experiencia, competencia y recursos necesarios. Sin embargo, la coordinación, los canales de comunicación y el feedback entre unos y otros si no muy deficiente, generalmente es inexistente; produciéndose multitud de derivaciones innecesarias que a su vez generan múltiples interconsultas y pruebas con los consecuentes desplazamientos, costes y dilaciones vinculadas al proceso asistencial.



Figura 4. Logo Proyecto Equilink [10]

Con Equilink y aplicando las nuevas TICs, queremos tender un verdadero puente entre Atención Primaria y Atención Hospitalaria de forma que, a través de la telemedicina, se logre generar el canal de relación entre Atención Primaria y Atención Hospitalaria para gestionar derivaciones. Equilink se establecerá como el requisito básico para realizar derivaciones a Atención Hospitalaria.

En el servicio Aragón de Salud se desarrolla el proyecto **PITES**. Este proyecto está alineado con la promoción de soluciones de telemedicina e innovación en servicios sanitarios del Servicio Aragón de Salud en colaboración con el Ministerio de Ciencia e Innovación. El proyecto busca diseñar, desarrollar y evaluar un protocolo para una atención integrada, social y sanitaria, para ancianos crónicos en situación de dependencia del área geográfica de Barbastro (Huesca), con el fin de mejorar su calidad de vida [11].

Se realizó un estudio randomizado para comparar el nuevo servicio con la asistencia clásica en pacientes que cumplan los criterios de inclusión, respecto a 4 pilares principales: su impacto en la actividad clínica, en la calidad de vida, aspectos económicos y de satisfacción de usuario. El nuevo servicio con el uso de una plataforma tecnología facilitó el diagnóstico precoz y las descompensaciones de las patologías en estudio, y la identificación de hallazgos patológicos gracias a la telemonitorización de constantes vitales. Permitió además la innovación en nuevos procesos y servicios sanitarios con una clara mejora de la calidad de la atención percibida, con una optimización en tiempo y en el uso de recursos. El proyecto PITES, debido a su éxito en Aragón, se implantó como proyecto piloto en otros Hospitales de España, entre ellos el Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla [12].



Figura 5. Logo del proyecto AAL Health at Home [13]

También en el Hospital Virgen del Rocío de Sevilla se desarrolla durante los años 2009 a 2011 el proyecto **AAL (Ambient Assisted Living) Health at Home** que se basa en un Sistema de Telesalud de seguimiento de pacientes con insuficiencia cardíaca en el Hogar. A través de distintos dispositivos de medición que se comunican por Bluetooth a un portátil adaptado, se recoge toda la información del paciente, la cual se envía

mediante 3G a la plataforma sanitaria del hospital para consulta y coordinación de los médicos encargados de atender al paciente [13].

Por último, debemos destacar el proyecto **AtlanTIC** que se presenta como un ambicioso proyecto que pretende demostrar el funcionamiento y coste efectividad de una intervención sociosanitaria integrada con telemonitorización y videoconferencia. El proyecto es desarrollado por la Junta de Andalucía, de la mano de Telefónica. En este ensayo clínico se observarán las virtudes y defectos a corregir de la teleasistencia de pacientes con múltiples patologías y la integración sociosanitaria [14].

Dentro de las metas que persigue AtlanTIC, se hallan la reducción de los ingresos hospitalarios y las visitas a urgencias de atención primaria y hospitalaria, con el uso de las nuevas tecnologías en el seguimiento y monitorización domiciliaria. Se espera detectar más precozmente los eventos de descompensación de sus patologías crónicas y poder establecer mecanismos terapéuticos y seguimientos correctores más ágiles. Además, en el ensayo se va a medir el incremento del grado de satisfacción de los pacientes respecto a los servicios de salud.

AtlanTIC se puso en marcha en las provincias de Sevilla y Málaga, en el Hospital Universitario Virgen del Rocío, Hospital Universitario Virgen de la Macarena y Hospital Serranía de Ronda. En este ensayo, multicentro y aleatorizado participan un total de 510 pacientes con patologías de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), insuficiencia cardíaca, diabetes e hipertensión arterial. En España, hay otros proyectos similares, en Valencia y Barcelona, que ya arrojan datos muy positivos, no sólo desde el punto de vista clínico sino de satisfacción de los pacientes.

Tras introducir el concepto de Telemedicina y mostrar varios proyectos que se han ejecutado en los últimos años relacionados con este concepto, vamos a mostrar las diferentes tecnologías de comunicación y protocolos con los cuales podemos desarrollar las infraestructuras necesarias para los proyectos acometidos en el área sanitaria.

2. ESTADO DEL ARTE SOBRE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIONES PARA TELEMEDICINA

El avance de la telemedicina siempre ha sido paralelo al de las telecomunicaciones. Para un uso eficiente de la telemedicina necesitamos una mejor comunicación entre las distintas instituciones sanitarias. Para ello, se necesitan grandes estructuras de comunicación que nos permitan mejorar el acceso a los servicios sanitarios por parte de los ciudadanos y una mejor comunicación entre los profesionales de la salud. Por otra parte, también podemos utilizar las TICs para compartir recursos entre las distintas instituciones, permitiéndonos un ahorro de costos y uso eficiente de estos recursos.

En este apartado vamos a realizar un recorrido entre las distintas tecnologías de comunicaciones que podemos utilizar. Haremos una distinción de tecnologías cableadas y tecnologías inalámbricas, para realizar una comparativa en cuanto a velocidad de transmisión, seguridad, acceso y otros parámetros que consideramos importantes.

2.1. Tipos de Arquitectura

La arquitectura del sistema es el modelo conceptual que define la estructura y el comportamiento del sistema. Es muy importante seleccionar la arquitectura adecuada según el uso que le queramos dar a nuestra red y como queramos gestionar el acceso a la información y recursos del sistema.

Actualmente, las arquitecturas distribuidas son la tendencia más elegida frente a las arquitecturas centralizadas. Esta elección se debe principalmente a que el costo de las tecnologías de comunicación a disminuido en gran medida en la actualidad. A continuación, vamos a resumir las ventajas e inconvenientes de las distintas arquitecturas, incluyendo las estructuras basadas en el almacenamiento en la nube ya que el incremento de su uso en los últimos años es muy notable.

2.1.1. Arquitectura Centralizada

La arquitectura centralizada se caracteriza por que todos los equipos se conectan únicamente a un punto central en el sistema. Por tanto, la comunicación es sólo entre el usuario y el servidor central (y viceversa) pero no entre los propios usuarios. El servidor central o punto central del sistema funciona como lugar de almacenamiento y distribución de la información.

En este tipo de tiene como características principales las siguientes:

- Todos los datos se almacenan en un dispositivo central.
- No tiene ningún mecanismo de intercomunicación con otras bases de datos.
- Es fácil de gestionar la seguridad.

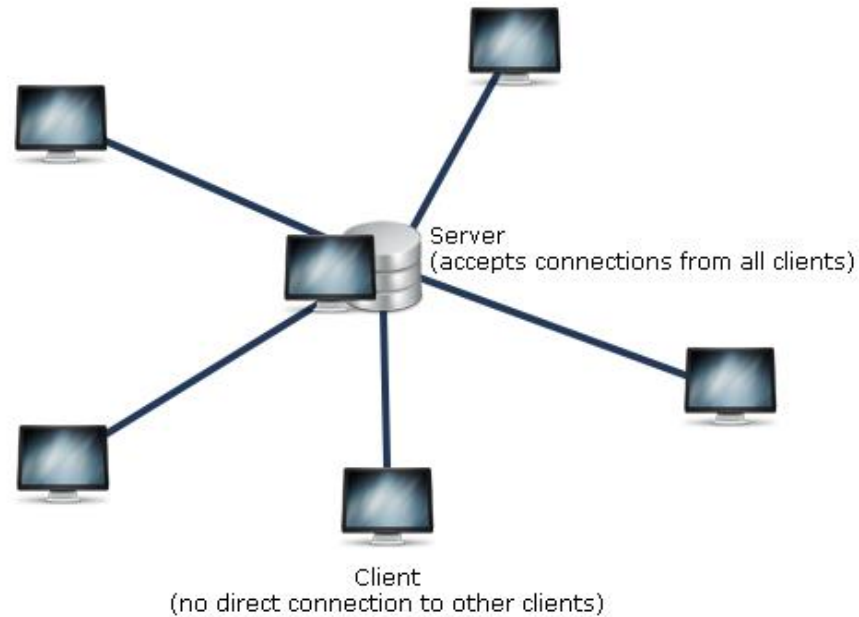


Figura 6. Arquitectura Centralizada [101]

Entre las ventajas de las arquitecturas centralizadas podemos resumir las siguientes:

- Se reduce el costo general y la administración del sistema.
- Evita los datos redundantes.
- Es posible aplicar restricción de seguridad.
- El procesamiento de datos es más eficiente y fiable que en los sistemas distribuidos.

Estas arquitecturas tienen desventajas que condicionan la elección de esta distribución en los sistemas:

- Si la base de datos falla, se perderán los datos de sistema.
- Es imposible dividir la carga de trabajo entre los equipos, por lo que es necesario contar con un potente ordenador principal.

2.1.2. Arquitectura Distribuida

La arquitectura distribuida se caracteriza por dividir el procesamiento de la información en diferentes dispositivos, por lo tanto, todos los dispositivos implicados en el procedimiento deben tener la capacidad computacional suficiente para el cómputo de los datos.

Estos sistemas permiten implementar diferentes tecnologías en los equipos e incluso, en la mayoría de los casos siguen niveles de jerarquía.

La diferente principal entre arquitectura distribuida y la centralizada es la localización de la base de datos. En el primer caso, la base de datos es compartida entre los dispositivos que componen el sistema, en el segundo caso la base de datos se encuentra en un único dispositivo (el servidor principal).

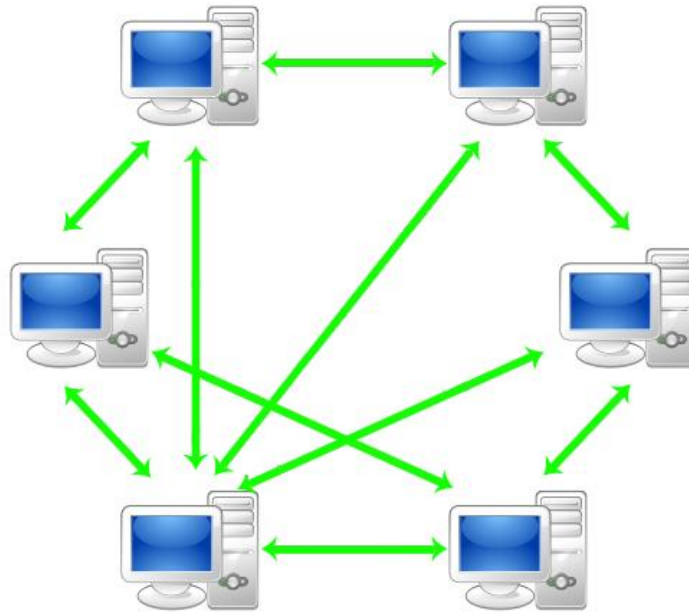


Figura 7. Arquitectura Distribuida [101]

Las ventajas de usar un sistema distribuido se pueden resumir en las siguientes:

- La arquitectura distribuida proporciona múltiples niveles de redundancia, ya que cada equipo puede realizar funciones de procesamiento y almacenamiento de los datos del sistema global.
- En un sistema distribuido eliminamos el problema de que falle la comunicación entre el servidor principal y un equipo, ya que tenemos más conexiones redundantes entre los distintos equipos.
- En el caso de un fallo en parte del sistema, la arquitectura distribuida puede continuar proporcionando la funcionalidad completa entre los componentes del sistema que no han sufrido problemas de conectividad en la zona de la red que ha caído.
- La arquitectura distribuida es fácilmente ampliable. Estos sistemas permiten agregar más equipos y expandirse sin necesidad de un gran coste.

Aunque esta arquitectura parece más beneficiosa que la centralizada, tenemos ciertos inconvenientes en los sistemas distribuidos:

- Es más difícil en cuanto a conexiones entre equipos implementar un sistema distribuido; por lo tanto, es más costoso.
- El sistema distribuido opera en paralelo, por lo que es más difícil asegurar el sincronismo entre equipos, más concretamente cuando fallan partes del sistema y cuando caen enlaces.
- El intercambio de información y el cálculo adicional necesario para lograr la coordinación entre equipos es un problema que no existen en los sistemas centralizados.

Entre los diferentes tipos de sistemas distribuidos vamos a realizar una breve introducción a las características de las arquitecturas de almacenamiento en la nube (Cloud Architecture).

Este tipo de arquitectura es el más utilizado en los sistemas de tipo IoT. En esta distribución, la nube ejerce de servidor principal. Todos los dispositivos están conectados a la nube y, podemos decir que todos ellos están interconectados entre sí a través de la nube.

El sistema basado en arquitectura de nube con medidas de dispositivos y terminales para aplicar el sistema de prueba, ambos dispositivos están conectados a la nube, por lo tanto, la nube es el cerebro del sistema

En general, la nube gestiona los datos del sistema y almacena la información resultante, pero es posible tener más aplicaciones, todo dependerá de la complejidad del desarrollo del sistema.

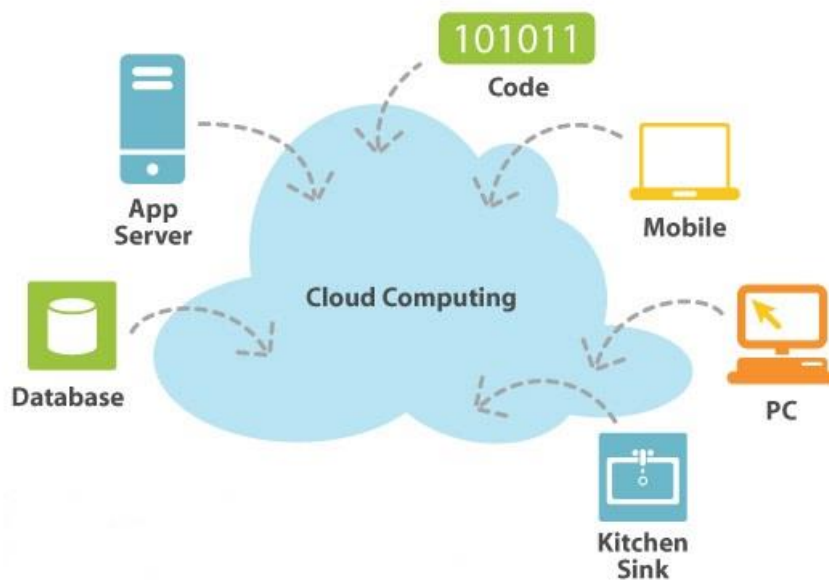


Figura 8. Ejemplo de diagrama de un sistema con arquitectura en la nube [102]

Las ventajas de la arquitectura de nube son las siguientes:

- La reducción del número de servidores, centros de datos, software, y conexiones pueden reducir significativamente los costos del sistema sin afectar a sus capacidades.
- El coste de la computación en la nube es más flexible que en los métodos tradicionales. Las empresas sólo pagan por almacenamiento y capacidad de cómputo que necesiten en cada momento.
- La conexión es permanente, por tanto, los datos y las aplicaciones del sistema están disponibles para los empleados, sin importar dónde se encuentren en el mundo, siempre y cuando tengan una conexión a internet. Los trabajadores pueden trabajar a través de los teléfonos, ordenador personal o tabletas en cualquier lugar.
- Las aplicaciones en la nube mejoran la comunicación entre los integrantes de los distintos grupos de trabajo ya que permiten reunirse virtualmente y compartir fácilmente la información en tiempo real.

Por el contrario, tenemos los siguientes inconvenientes:

- Los sistemas con arquitectura en la nube se basan en Internet, lo que significa que su acceso es totalmente dependiente de su conexión.

- Seguridad y privacidad: Todos los sistemas pueden tener grietas de seguridad. Es muy importante limitar el acceso para evitar que cualquier persona puede tomar la información de la base de datos.
- Cada componente del sistema es accesible desde Internet por lo que hay que tener en cuenta los posibles ataques masivos y brechas de seguridad.
- Los usuarios tienen un control limitado sobre el sistema. Se debe hacer un análisis exhaustivo de que partes del sistema tienen acceso los trabajadores para no limitar sus tareas.
- Las diferencias entre los sistemas a veces pueden hacer que sea imposible migrar de una plataforma de nube a otra. Este caso se puede producir a la hora de cambiar la empresa que gestiona los servidores.

2.2. Protocolos de Comunicación

En este apartado, vamos a mostrar los protocolos más usados en la industria médica. En los sistemas sanitarios se sigue una arquitectura distribuida, pero con niveles de jerarquía. Los dispositivos sensores que recogen los datos de salud de los pacientes, se conectan a dispositivos que recogen la información y la comparten al sistema general sanitario, el cual posee una arquitectura distribuida (cualquier personal sanitario autorizado puede acceder a la base de datos desde su puesto de trabajo). Además, estos sistemas suelen estar interconectados entre sí a través de servicios en la nube, por lo tanto, es posible la comunicación entre distintos centros hospitalarios y centros de salud.

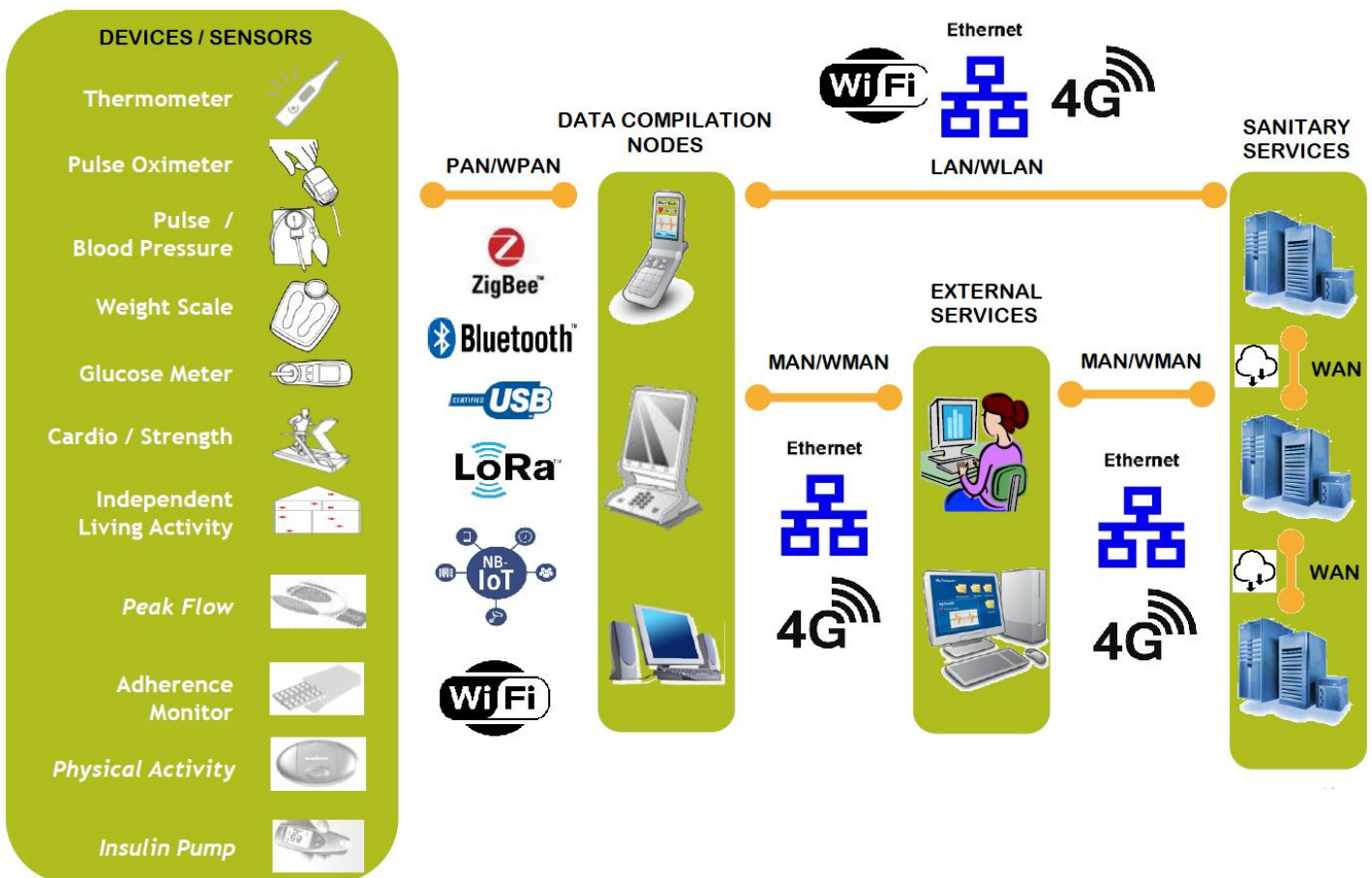


Figura 9. Jerarquía de comunicación en el entorno sanitario [103]

La información del sistema va más allá del entorno sanitario, ya que, por ejemplo, las farmacias pueden utilizar bases de datos compartidas para las recetas electrónicas y los propios pacientes pueden tener acceso a sus datos médicos a través de plataformas en internet.

Las tecnologías cableadas suponen casi la totalidad en cuanto a las conexiones de jerarquías superiores (conexiones entre servidores y ordenadores que recogen los datos), siendo las tecnologías inalámbricas las que se utilizan para comunicar los diferentes sensores médicos con el punto de recolección de la información sanitaria de los pacientes.

En los apartados posteriores de este punto, vamos a realizar una introducción a los distintos protocolos de comunicación haciendo una distinción entre tecnologías cableadas y tecnologías inalámbricas.

2.2.1. Tecnologías Cableadas

En el entorno médico la tecnología utilizada para la comunicación entre servidores en el propio centro o entre los distintos centros hospitalarios/centros de salud es la tecnología Ethernet/IP. El protocolo Ethernet debido a su enorme uso en todos los ámbitos de uso en tecnologías de comunicación es el que mejor se adapta a la hora de compartir la información y unificar la comunicación entre centro.

La conexión de los equipos del sistema se suele realizar en arquitecturas jerárquicas, donde en cada entorno/planta/sector del centro hospitalario se coloca un router que ejerce de punto nodal de recolección de datos (conectándose a los distintos equipos de forma redundante) y se conecta de forma totalmente mallada con los otros routers de las distintas plantas. A su vez los centros sanitarios se conectan vía conexión cableada (suelen ser conexiones de fibra óptica independientes de las del usuario convencional de los proveedores de internet) o vía nube como se muestra en la Figura 10.

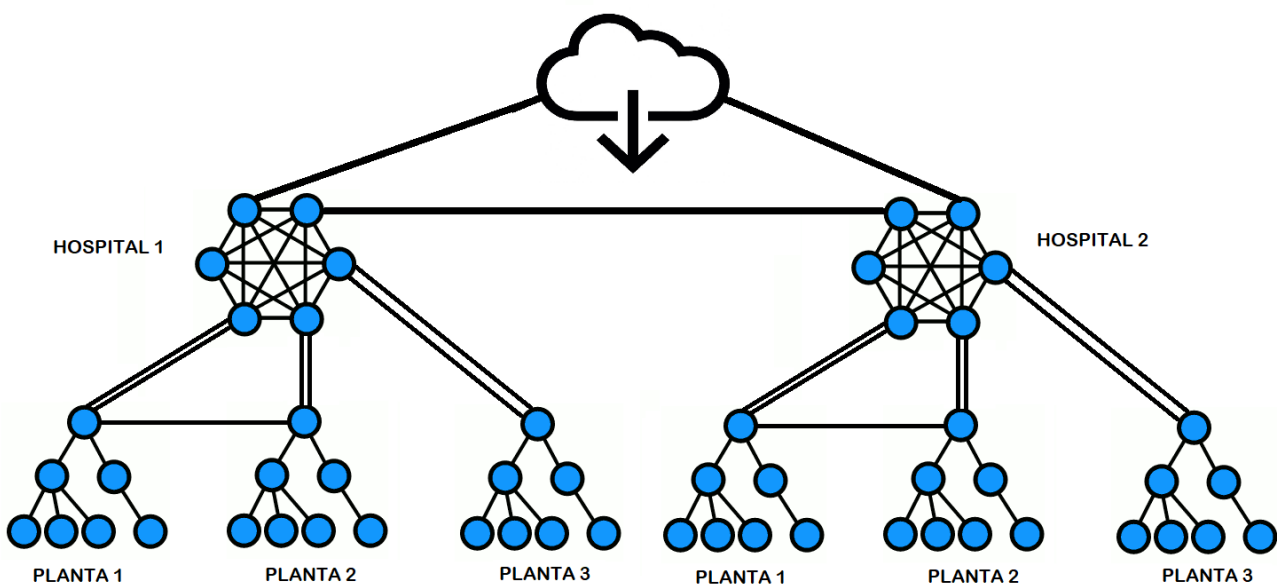


Figura 10. Conexión jerarquía entre distintas plantas de un hospital y a su vez, entre distintos hospitales

Hoy en día, las conexiones cableadas son por lo general baratas y las arquitecturas malladas o jerárquicas protegen el sistema de posibles fallos cuando se caen alguno de los enlaces. Aunque el protocolo mayoritario en las conexiones cableadas es Ethernet/IP, en este apartado también vamos a resumir algunos de los protocolos para conexiones cableadas, la mayoría procedentes de entornos industriales, que se usan en casos en los que necesitemos ciertas características.

2.2.1.1. Ethernet/IEEE 802.3

Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD ("Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones). Este protocolo de comunicaciones define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3 [15]. Usualmente se toman Ethernet e IEEE 802.3 como sinónimos, pero en realidad se diferencian en algunos aspectos como por ejemplo en uno de los campos de la trama de datos. Debido a la similitud de ambos estándares, las tramas Ethernet e IEEE 802.3 pueden coexistir en la misma red [16].

En 1972 comenzó el desarrollo de una tecnología de redes conocida como Ethernet Experimental. El sistema Ethernet desarrollado, conocido en ese entonces como red ALOHA, fue la primera red de área local (LAN) para computadoras personales. Esta red funcionó por primera vez en mayo de 1973 a una velocidad de 2.94Mb/s [17].

Las especificaciones formales de Ethernet de 10 Mb/s fueron desarrolladas en conjunto por las corporaciones Xerox, Digital (DEC) e Intel, y se publicó en el año 1980. Estas especificaciones son conocidas como el estándar DEC-Intel-Xerox (DIX), el libro azul de Ethernet [18]. Este documento hizo de Ethernet experimental operando a 10 Mb/s un estándar abierto.

La tecnología Ethernet fue adoptada para su estandarización por el comité de redes locales (LAN) de la IEEE como IEEE 802.3. El estándar IEEE 802.3 fue publicado por primera vez en 1985.

El estándar IEEE 802.3 provee un sistema tipo Ethernet basado, pero no idéntico, al estándar DIX original. El nombre correcto para esta tecnología es IEEE 802.3 CSMA/CD, pero casi siempre es referido como Ethernet. El estándar IEEE 802.3 Ethernet fue adoptado por la organización internacional de estandarización (ISO) como un estándar para redes internacional.

Ethernet continuó evolucionando en respuesta a los cambios en tecnología y necesidades de los usuarios. Desde 1985, el estándar IEEE 802.3 se actualizó para incluir nuevas tecnologías. Por ejemplo, el estándar 10BASE-T fue aprobado en 1990, el estándar 100BASE-T fue aprobado en 1995 y Gigabit Ethernet sobre fibra fue aprobado en 1998.

Ethernet es una tecnología de redes ampliamente aceptada con conexiones disponibles tanto para ordenadores y dispositivos de uso personal como para estaciones de trabajo científicas y de investigación en ámbitos industriales, académicos, educativos y, en nuestro caso, sanitarios.

La arquitectura Ethernet provee detección de errores, pero no corrección de los mismos. Tampoco posee una unidad de control central, todos los mensajes son transmitidos a través de

la red a cada dispositivo conectado. Cada dispositivo es responsable de reconocer su propia dirección y aceptar los mensajes dirigidos a ella. El acceso al canal de comunicación es controlado individualmente por cada dispositivo utilizando un método de acceso probabilístico conocido como disputa (contention).

Los objetivos principales de Ethernet se han convertido en los requerimientos básicos para el desarrollo y uso de redes LAN. Los objetivos originales del protocolo Ethernet son:

- **Simplicidad:** las características que puedan complicar el diseño de la red sin hacer una contribución substancial para alcanzar otros objetivos se han excluido.
- **Bajo Costo:** las mejoras tecnológicas van a continuar reduciendo el costo global de los dispositivos de conexión.
- **Compatibilidad:** todas las implementaciones de Ethernet deberán ser capaces de intercambiar datos a nivel de capa de enlace de datos.
- **Direccionamiento flexible:** el mecanismo de direccionamiento debe proveer la capacidad de dirigir datos a un único dispositivo, a un grupo de dispositivos, o alternativamente, difundir (broadcast) el mensaje a todos los dispositivos conectados a la red.
- **Equidad:** todos los dispositivos conectados deben tener el mismo acceso a la red.
- **Progreso:** ningún dispositivo conectado a la red, operando de acuerdo al protocolo Ethernet, debe ser capaz de prevenir la operación de otros dispositivos.
- **Bajo retardo:** en cualquier nivel de tráfico de la red, debe presentarse el mínimo tiempo de retardo posible en la transferencia de datos.
- **Estabilidad:** la red debe ser estable bajo todas las condiciones de carga. Los mensajes entregados deben mantener un porcentaje constante de la totalidad del tráfico de la red.
- **Mantenimiento:** el diseño de Ethernet debe simplificar el mantenimiento de la red, operaciones y planeamiento.

Existen una gran variedad de implementaciones de IEEE 802.3. Para distinguir entre ellas, se ha desarrollado una notación. Esta notación especifica tres características de la implementación:

- La tasa de transferencia de datos en Mb/s
- El método de señalamiento utilizado
- La máxima longitud de segmento de cable en cientos de metros del tipo de medio.

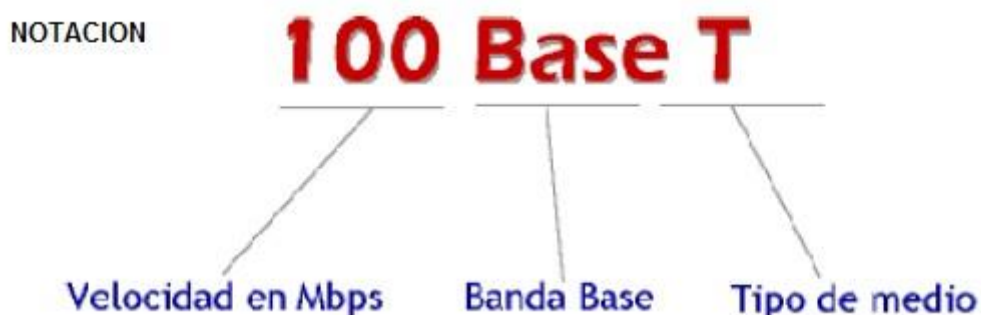


Figura 11. Notación de IEEE 802.3 [104]

Algunos tipos de estas implementaciones de IEEE 802.3 y sus características se detallan a continuación:

| ETHERNET | |
|---------------|---|
| 1BASE-5 | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $1Mb/s$ sobre cable de par trenzado a una distancia máxima de $250m$. |
| 10BASE-5 | Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a $10Mb/s$ sobre cable coaxial de 50Ω troncal y AUI (attachment unit interface) de cable par trenzado a una distancia máxima de $500m$. |
| 10BASE-2 | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $10MB/s$ sobre cable coaxial delgado de 50Ω con una distancia máxima de $185m$. |
| 10BROAD-36 | El estándar IEEE para Ethernet en banda ancha a $10Mb/s$ sobre cable coaxial de banda ancha de 75Ω con una distancia máxima de $3600m$. |
| 10BASE-T | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $10 Mb/s$ sobre cable par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair o UTP) siguiendo una topología de cableado horizontal en forma de estrella, con una distancia máxima de $100m$ desde una estación a un hub. |
| 10BASE-F | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $10Mb/s$ sobre fibra óptica con una distancia máxima de $2Km$. |
| FAST ETHERNET | |
| 100BASE-TX | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $100Mb/s$ sobre dos pares (cada uno de los pares de categoría 5 o superior) de cable UTP o dos pares de cable STP. |
| 100BASE-T4 | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $100Mb/s$ sobre 4 pares de cable UTP de categoría 3 (o superior). |
| 100BASE-FX | Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a $100Mb/s$ sobre un sistema de cableado de dos fibras ópticas de $62.5/125 \mu m$. |
| 100BASE-T2 | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a $100Mb/s$ sobre 2 pares de categoría 3 (o superior) de cable UTP. |

| GIGABIT ETHERNET | |
|------------------|---|
| 1000BASE-SX | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica. |
| 1000BASE-LX | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras monomodo o multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica. |
| 1000BASE-CX | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre cableado de cobre blindado balanceado de 150 Ω . Este es un cable especial con una longitud máxima de 25m. |
| 1000BASE-T | El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 4 pares de categoría 5 o superior de cable UTP, con una distancia máxima de cableado de 100m. |

Tabla 1. Características de las distintas implementaciones de IEEE 802.3

Si bien IEEE 802.3 y Ethernet son similares, no son idénticos. Todas las versiones de Ethernet son similares en que comparten la misma arquitectura de acceso al medio múltiple con detección de errores, CSMA/CD (carrier sense multiple access with collision detection). Sin embargo, el estándar IEEE 802.3 ha evolucionado en el tiempo de forma que ahora soporta múltiples medios en la capa física, incluyendo cable coaxial de 50 Ω y 75 Ω , cable par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair o UTP), cable par trenzado con blindaje (Shielded Twisted Pair o STP) y fibra óptica. Otras diferencias entre los dos incluyen la velocidad de transmisión, el método de señalamiento y la longitud máxima del cableado.

La diferencia más significativa entre la tecnología Ethernet original y el estándar IEEE 802.3 es la diferencia entre los formatos de sus tramas.

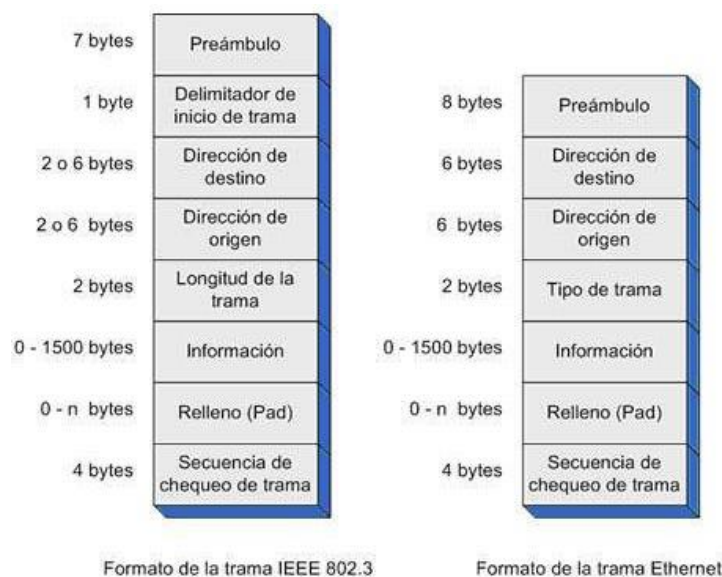


Figura 12. Tramas de Ethernet e IEEE 802.3 [16]

Una de las diferencias entre el formato de las dos tramas está en el preámbulo. El propósito del preámbulo es anunciar la trama y permitir a todos los receptores en la red sincronizarse a sí mismos a la trama entrante. El preámbulo en Ethernet tiene una longitud de 8 *bytes* pero en IEEE 802.3 la longitud del mismo es de 7 *bytes*, convirtiéndose el octavo byte en el delimitador de la trama.

La segunda diferencia entre el formato de las tramas es en el campo tipo de trama que se encuentra en la trama Ethernet. El campo tipo es usado para especificar al protocolo que es transportado en la trama. Esto posibilita que muchos protocolos puedan ser transportados en la trama. El campo tipo fue reemplazado en el estándar IEEE 802.3 por un campo longitud de trama, el cual es utilizado para indicar el número de bytes que se encuentran en el campo de datos.

La tercera diferencia entre los formatos de ambas tramas se encuentra en los campos de dirección, tanto de destino como de origen. Mientras que el formato de IEEE 802.3 permite el uso tanto de direcciones de 2 como de 6 *bytes*, el estándar Ethernet permite solo direcciones de 6 *Bytes*. El formato de trama que predomina actualmente en los ambientes Ethernet es el de IEEE 802.3, pero la tecnología de red continúa siendo referenciada como Ethernet.

Las especificaciones Ethernet (IEEE 802.3) también han sido adoptadas por ISO y se encuentran en el estándar internacional 8802-3. Podemos resumir alguna de ellas:

- El protocolo Ethernet está basado en la lógica de la topología bus. Originalmente, el bus era una única longitud de cable a la cual los dispositivos de red estaban conectados. En las implementaciones actuales, el bus se ha miniaturizado y puesto en un hub (concentrador) al cuál se conectan las estaciones, servidores y otros dispositivos.
- Ethernet usa un método de acceso al medio por disputa (contention). Las transmisiones son difundidas en el canal compartido para ser escuchadas por todos los dispositivos conectados, pero solo el dispositivo de destino previsto acepta la transmisión. Este tipo de acceso es conocido como CSMA/CD.
- Ethernet ha evolucionado para operar sobre una variedad de medios, cable coaxial, par trenzado y fibra óptica, a múltiples tasas de transferencia. Todas las implementaciones son interoperables, lo que simplifica el proceso de migración a nuevas versiones de Ethernet.
- Múltiples segmentos de Ethernet pueden combinarse para formar una gran red LAN Ethernet utilizando repetidores. La correcta operación de una LAN Ethernet depende en que los segmentos del medio sean construidos de acuerdo a las reglas para ese tipo de medio. Redes LAN complejas construidas con múltiples tipos de medio deben ser diseñadas de acuerdo a las pautas de configuración para multisegmentos provistas en el estándar Ethernet. Las reglas incluyen límites en el número total de segmentos y repetidores que pueden ser utilizados en la construcción de una LAN.

Ethernet fue diseñado para ser expandido fácilmente. El uso de dispositivos de interconexión tales como puente (bridges), routers, y conmutadores (switches) permiten que redes LAN individuales se conecten entre sí. Cada LAN continúa operando en forma independiente, pero es capaz de comunicarse fácilmente con las otras LAN conectadas.

Cada dispositivo equipado con Ethernet opera en forma independiente del resto de los dispositivos de la red, las redes Ethernet no hacen uso de un dispositivo central de control. Todos los dispositivos son conectados a un canal de comunicaciones de señales compartidas.

Las señales Ethernet son transmitidas en serie, se transmite un bit a la vez. Las transmisiones se realizan a través del canal de señales compartidas donde todos los dispositivos conectados pueden escuchar la transmisión. Antes de comenzar una transmisión, un dispositivo escucha el canal de transmisión para ver si se encuentra libre de transmisiones. Si el canal se encuentra libre, el dispositivo puede transmitir sus datos en la forma de una trama Ethernet.

Después de que es transmitida una trama, todos los dispositivos de la red compiten por la siguiente oportunidad de transmitir una trama. La disputa por la oportunidad de transmitir entre los dispositivos es pareja, para asegurar que el acceso al canal de comunicaciones sea justo, ningún dispositivo puede bloquear a otros dispositivos.

El acceso al canal de comunicaciones compartido es determinado por la subcapa MAC. Este control de acceso al medio es conocido como CSMA/CS y su diagrama de flujo se muestra en la Figura 13.

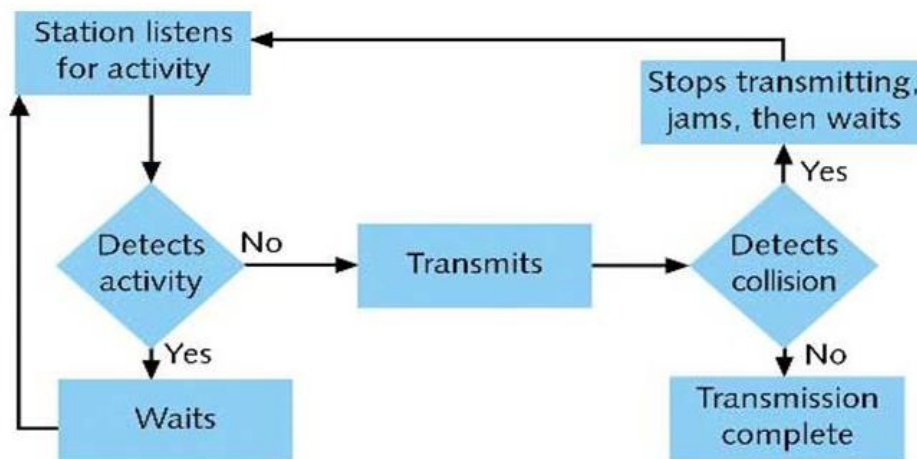


Figura 13. Diagrama de Flujo del control de acceso CSMA/CS [105]

Los campos de direcciones en una trama Ethernet llevan direcciones de 48 bits, tanto para la dirección de destino como la de origen. El estándar IEEE administra parte del campo de las direcciones mediante el control de la asignación un identificador de 24 bits conocido como OUI (Organizationally Unique Identifier, identificador único de organización). A cada organización que desee construir interfaces de red (NIC) Ethernet, se le asigna un OUI de 24 bits único, el cual es utilizado como los primeros 24 bits de la dirección de 48 bits del NIC. La dirección de 48 bits es referida como dirección física, dirección de hardware, o dirección MAC.

El uso de direcciones únicas preasignadas, simplifica el montaje y crecimiento de una red Ethernet.

La topología lógica de una red determina como las señales son transferidas en la red. La topología lógica de una red Ethernet provee un único canal de comunicaciones que transporta señales de todos los dispositivos conectados. Esta topología lógica puede ser diferente de la topología física o de la disposición real del medio.

Para que el método de control de acceso al medio funcione correctamente, todas las interfaces de red Ethernet deben poder responder a las señales dentro de una cantidad de tiempo especificada. El tiempo de la señal está basado en la cantidad de tiempo que le toma a una señal ir de un extremo de la red al otro y regresar (Round Trip Time).

Los segmentos del medio deben ser construidos de acuerdo a las pautas de configuración para el tipo de medio elegido y la velocidad de transmisión de la red (las redes de mayor velocidad exigen un tamaño de red de menor). Las redes locales Ethernet construidas por múltiples tipos de medios deben ser diseñadas siguiendo las pautas para configuraciones multi-segmento del estándar Ethernet.

2.2.1.2. CAN

A principios de la década de 1980, Robert Bosch diseñó un protocolo de comunicación basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos llamado protocolo CAN (Controller Area Network) [19]. Los ingenieros de Bosch estaban evaluando los sistemas de bus en serie existentes con respecto a un posible uso en automóviles de pasajeros. Debido a que ninguno de los protocolos de red disponibles cumplía con los requisitos de los ingenieros, Uwe Kiencke comenzó el desarrollo de un nuevo sistema de bus en serie en 1983. No fue hasta 1991 cuando CAN no se usó en automóviles, siendo el primero en modelo Mercedes-Benz 500E.

Bosch publicó posteriormente varias versiones de la especificación CAN, siendo la última de ellas la especificación CAN 2.0, publicada en 1991. Esta especificación consta de dos partes; la parte A para el formato estándar y la parte B para el formato extendido. Un dispositivo CAN que usa el formato estándar utiliza identificadores de 11 bits y es comúnmente referido como dispositivo CAN 2.0A. Un dispositivo CAN que usa el formato extendido utiliza identificadores de 29 bits y es comúnmente referido como dispositivo CAN 2.0B. Los estándares CAN 2.0A/B y otros documentos de referencia relacionados con CAN son de acceso libre a través de Bosch.

En 2011 Bosch, en cooperación con los fabricantes de automóviles y otros expertos del bus CAN, comenzó a desarrollar la siguiente generación del CAN: el protocolo CAN FD (flexible data-rate). El CAN FD es compatible hacia atrás, es decir, un controlador CAN FD es capaz de comprender un mensaje CAN o CAN 2.0.

Este bus serial ha sido diseñado para permitir conectar una gran cantidad de dispositivos. En Europa, CANbus se ha convertido en un estándar con repercusión internacional y ha sido documentado por la norma ISO-11898.

El protocolo de comunicaciones CAN proporciona los siguientes beneficios:

- Ofrece alta inmunidad a las interferencias, habilidad para el autodiagnóstico y la reparación de errores de datos.
- Es un protocolo de comunicaciones normalizado, con lo que se simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o bus.

- El procesador anfitrión (host) delega la carga de comunicaciones a un periférico inteligente, por lo tanto, el procesador anfitrión dispone de mayor tiempo para ejecutar sus propias tareas.
- Al ser una red multiplexada, reduce considerablemente el cableado y elimina la mayoría de las conexiones punto a punto.

CAN es un protocolo asíncrono en serie con control de acceso CSMA/CD, por lo que cada nodo en el bus debe esperar un período estipulado de inactividad antes de intentar enviar un mensaje. Las colisiones se resuelven mediante un arbitraje de bits, basado en una prioridad pre-programada de cada mensaje en el campo del identificador. Dado que este bus es de multidifusión, se pueden producir colisiones, ya que todos los dispositivos conectados en el bus detectan los datos transmitidos.

Este es un bus diferencial; por lo tanto, se usa de un par trenzado, estando este par en ocasiones protegido para tener inmunidad frente a interferencias electromagnéticas. La velocidad máxima permitida depende de la longitud total del bus. La norma ISO 11898 especifica la velocidad de bits para una longitud de circuito definida. Las velocidades se muestran en la Tabla 2.

| CANbus | |
|------------------|------------|
| Data Rate (kbps) | Length (m) |
| 1000 | 40 |
| 500 | 100 |
| 250 | 250 |
| 125 | 500 |
| 40 | 1000 |

Tabla 2. Velocidad de bits para distintas longitudes en el protocolo CAN

El protocolo CAN se basa en el modelo productor/consumidor, el cual es un concepto, o paradigma de comunicaciones de datos, que describe una relación entre un productor y uno o más consumidores. Este protocolo está orientado a mensajes, es decir la información que se va a intercambiar se descompone en mensajes, a los cuales se les asigna un identificador y se encapsulan en tramas para su transmisión. Cada mensaje tiene un identificador único dentro de la red, con el cual los nodos deciden aceptar o no dicho mensaje. Dentro de sus principales características se encuentran:

- Prioridad de mensajes.
- Garantía de tiempos de latencia.
- Flexibilidad en la configuración.
- Recepción por multidifusión (Multicast) con sincronización de tiempos.
- Sistema robusto en cuanto a consistencia de datos.
- Sistema multimaestro.

- Detección y señalización de errores.
- Retransmisión automática de tramas erróneas
- Distinción entre errores temporales y fallos permanentes de los nodos de la red, y desconexión autónoma de nodos defectuosos.

El protocolo CAN fue desarrollado inicialmente para aplicaciones en los automóviles y por lo tanto la plataforma del protocolo es resultado de las necesidades existentes en el área de la automoción. La ISO define dos tipos de redes CAN: una red de alta velocidad (hasta 1 *Mbit/s*), bajo el estándar ISO 11898-2, destinada para controlar el motor e interconectar las unidades de control electrónico (ECU); y una red de baja velocidad tolerante a fallos (menor o igual a 125 *kbit/s*), bajo el estándar ISO 11519-2/ISO 11898-3, dedicada a la comunicación de los dispositivos electrónicos internos de un automóvil como son control de puertas, techo corredizo, luces y asientos.

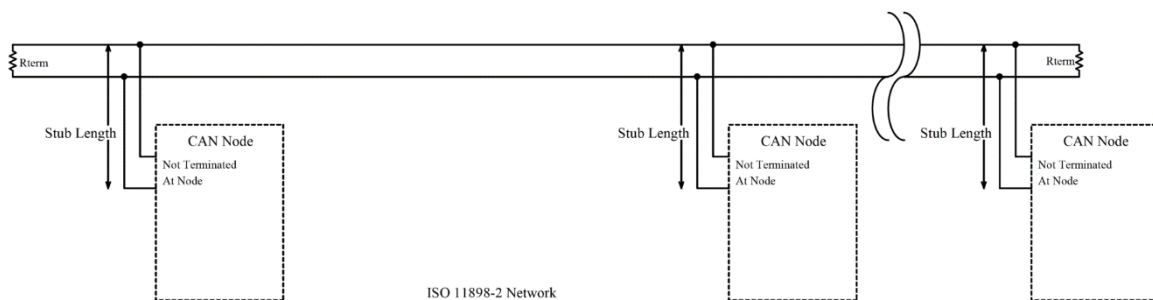


Figura 14. Bus CAN de alta velocidad ISO 11898-2 [19]

2.2.1.3. DeviceNet

DeviceNet es un protocolo de red basado en el protocolo CAN que se utiliza en la industria de la automatización para interconectar dispositivos de control con el objetivo de intercambiar datos, proporcionando a los usuarios una red eficiente con la cual distribuir y administrar dispositivos simples en toda la arquitectura. Este protocolo fue desarrollado por Allen-Brandley en 1994, y ha sido transferido a ODVA, que lo mantiene y lo promueve.

El protocolo DeviceNet usa CAN como tecnología Backbone y define una capa de aplicación para cubrir un rango de perfiles para distintos dispositivos. Las aplicaciones típicas incluyen dispositivos de intercambio de datos, dispositivos de seguridad y grandes redes de control. Este protocolo creó un sistema económico y estable para los protocolos tradicionales basados en RS-485.

Este protocolo puede funcionar en modo maestro-esclavo o en arquitectura de comunicación entre pares. La red permite conectar hasta 2048 dispositivos que se pueden direccionar de 0 a 2047.

Las velocidades de datos dependen de la topología del bus, en la Tabla 3 se muestra esta dependencia.

| Longitud del bus en DeviceNet (metros) | | | |
|--|----------|----------|----------|
| Data Rate (kbps) | 125 kbps | 250 kbps | 500 kbps |
| Longitud del bus principal con cable grueso | 500 m | 250 m | 100 m |
| Longitud del bus principal con cable delgado | 100 m | 100 m | 100 m |
| Longitud máxima del bus principal | 6 m | 6 m | 6 m |

Tabla 3. Longitud del bus en el protocolo DeviceNet con respecto a la velocidad de datos

DeviceNet usa un bus serie diferencial con sistema CAN. Como el protocolo CAN se utiliza como base, el sistema requiere un ancho de banda muy pequeño para la transmisión de datos. El formato de la trama de datos se muestra en la Figura 15.

| 1bit | 11 bits | 1 bit | 6 bits | 0-8 bytes | 15 bits | 1 bit | 1 bit | 1 bit | 7 bits | 3 bits |
|-------------------|------------|---------|---------------|-----------------------------|--------------|---------------|----------|---------------|--------------|------------------|
| Start of Frame | Identifier | RTR bit | Control Field | Data Field (0...8 bytes) | CRC Sequence | CRC Delimiter | Ack Slot | Ack Delimiter | End of Frame | Interframe Space |
| Arbitration Field | | | | | | | | | | |

Figura 15. Formato de Trama de datos de DeviceNet [106]

2.2.1.4. Profibus

Profibus es un estándar de comunicaciones para bus de campo. Deriva de las palabras PROcess Field BUS. Fue desarrollado por un impulso combinado del gobierno alemán, varias empresas alemanas y otros líderes de la industria a finales de los años 80. Este es un bus de campo estándar abierto e independiente de los fabricantes. Al principio, Profibus se creó para la entrada/salida de dispositivos de campo con PLC y computadoras [20].

Hoy en día, Profibus ha mejorado y puede conectar diferentes tipos de dispositivos como sensores, actuadores, transistores, PLC, máquinas de control numérico y dispositivos digitales.

A continuación, se indican las principales características de Profibus.

- Transmite pequeñas cantidades de datos.
- Es un protocolo para comunicaciones en tiempo real.
- Tiene una gran compatibilidad electromagnética.
- Reduce el número de estaciones.
- Es fácil de configurar.
- Es un sistema Plug & Play: se pueden agregar o reemplazar elementos sin necesidad de configuración.

- Los cables y las conexiones tienen un costo bajo.
- Utiliza parte del modelo de red OSI.
- Protocolos simples y, por tanto, bastante limitados.

Esta tecnología se basa en una arquitectura maestro-esclavo. Las estaciones maestras están activas, y pueden controlar el bus y transferir mensajes sin solicitud remota. Por el contrario, las estaciones esclavas solo pueden reconocer los mensajes recibidos o transferir datos después de una solicitud remota.

Profibus usa la topología de bus. Los dispositivos están conectados a este bus central. El bus elimina la necesidad de una línea de longitud completa desde el controlador central a cada dispositivo individual.

En el pasado, cada dispositivo Profibus tenía que conectarse directamente al bus central (topología de árbol). Los avances tecnológicos, sin embargo, han hecho posible un nuevo sistema de dos hilos. En esta topología, el bus central Profibus se puede conectar a un sistema ProfiNet Ethernet. De esta forma, múltiples buses Profibus se pueden conectar entre sí.

El acceso al bus es híbrido. La comunicación entre las estaciones maestras se realiza mediante el paso de testigo, mientras que la comunicación entre cualquier estación maestra y una estación esclava se realiza a petición del mismo.

El estándar especifica *7 bits* para direccionamiento, esto permite conectar hasta 127 dispositivos como máximo. La dirección 127 está reservada para la difusión y multidifusión. También es posible extender este número con direcciones regionales o para segmentos. Por lo tanto, el estándar admite hasta 32 estaciones como máximo por segmento o hasta 127 si se utilizan repetidores.

Los cambios en la velocidad de datos del bus dependen de la longitud y el entorno, estos se recopilan en la Tabla 4.

| Profibus | |
|------------------|------------|
| Data rate (kbps) | Length (m) |
| 9.6 | 1200 |
| 19.2 | 1200 |
| 93.75 | 1200 |
| 187.5 | 600 |
| 500 | 200 |

Tabla 4. Ratio de Velocidad con respecto a la longitud del bus principal en Profibus
Profibus tiene tres versiones o variantes:

- DP-V0. Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales, y soporte de interrupciones
- DP-V1. Agrega comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización

- DP-V2. Permite comunicaciones entre esclavos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas.

El protocolo Profibus tiene, conforme al estándar, cinco diferentes tecnologías de transmisión, que son identificadas como:

- RS-485: utiliza un par de cobre trenzado apantallado, y permite velocidades entre $9,6 \text{ kbit/s}$ y 12 Mbit/s . Hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.
- MBP (Manchester Coding y Bus Powered): es una transmisión sincrónica con velocidad fija de $31,25 \text{ kbit/s}$.
- RS-485 IS: las versiones IS son intrínsecamente seguras, utilizadas en zonas peligrosas (explosivas).
- MBP IS
- Fibra óptica: incluye versiones de fibra de vidrio multimodo y monomodo, fibra plástica y fibra HCS.

2.2.1.5. Modbus

Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP), diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria, es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales [21].

Las principales razones por las cuales el uso de Modbus en el entorno industrial se ha impuesto a otros protocolos de comunicaciones son:

- Se diseñó teniendo en cuenta su uso para aplicaciones industriales.
- Es público y gratuito.
- Es fácil de implementar y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo, un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP).

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama, pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast").

Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros.

Existe gran cantidad de modems que aceptan el protocolo Modbus. Algunos están específicamente diseñados para funcionar con este protocolo. Existen implementaciones para conexión por cable, Wireless, SMS o GPRS. La mayoría de problemas presentados hacen referencia a la latencia y a la sincronización.

El protocolo Modbus presenta las siguientes limitaciones:

- Dado que Modbus fue diseñado a finales de los setenta para comunicarse con controladores lógicos programables, el número de tipos de datos se limita a aquellos entendidos por los PLC en ese momento. Los objetos binarios grandes no son compatibles.
- Dado que Modbus es un protocolo maestro/esclavo, no es posible que un dispositivo de campo informe (excepto a través de Ethernet TCP / IP, llamado open-bus) al nodo maestro. El maestro debe rutinariamente encuestar a cada dispositivo de campo y buscar cambios en los datos. Esto consume ancho de banda y tiempo en aplicaciones en las que el ancho de banda puede ser costoso, como por ejemplo un enlace de radio de baja velocidad binaria.
- Modbus está restringido al direccionamiento de 254 dispositivos en un enlace de datos, lo que limita el número de dispositivos de campo que pueden conectarse a una estación maestra (Ethernet TCP/IP es una excepción).
- Las transmisiones Modbus deben ser contiguas, lo que limita los tipos de dispositivos de comunicaciones remotas a aquellos que pueden almacenar datos para evitar tiempos vacíos en la transmisión.
- El protocolo Modbus no ofrece seguridad contra órdenes no autorizadas o interceptación de datos.

2.2.1.6. Otras Tecnologías Cableadas (USB)

Aunque no podemos considerar el estándar USB como un protocolo de comunicaciones como tal, hemos decidido incluirlo en esta memoria ya que la mayoría de los dispositivos comerciales poseen este tipo de conexión.

El Bus Universal en Serie (BUS) es un bus de comunicaciones que sigue un estándar que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre computadoras, periféricos y dispositivos electrónicos [22].

Su desarrollo partió de un grupo de empresas del sector que buscaban unificar la forma de conectar periféricos a sus equipos, por aquella época poco compatibles entre sí, entre las que estaban Intel, Microsoft, IBM, Compaq, DEC, NEC y Nortel. La primera especificación completa 1.0 se publicó en 1996, pero en 1998 con la especificación 1.1 comenzó a usarse de forma masiva.

En la Figura 16, se muestra una comparativa de las distintas versiones del estándar USB con sus parámetros más importantes.

USB (Universal Serial Bus)




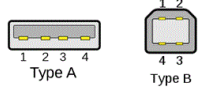

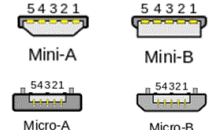

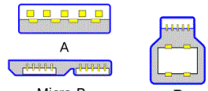


| Logo | Nombre | Versión | Velocidad teórica | Velocidad Real | Fecha Lanzamiento | Puertos |
|---|--------------|---------|--------------------------|------------------------|-------------------|---|
|  | Low-Speed | USB 1.0 | 1,5 Mbps (187,5 KB/s) | 1 Mbps (125 KB/s) | Enero 1996 |  Type A |
|  | Full-Speed | USB 1.1 | 12 Mbps (1,5 MB/s) | 7 Mbps (875 KB/s) | Agosto 1998 |  Type A Type B |
|  | Hi-Speed | USB 2.0 | 480 Mbps (60 MB/s) | 280 Mbps (35 MB/s) | Abril 2000 |  Mini-A Mini-B Micro-A Micro-B |
|  | Super-Speed | USB 3.0 | 4,8 Gbps (600 MB/s) | 3,2 Gbps (400 MB/s) | Septiembre 2008 |  A B Micro-B |
|  | Super-Speed+ | USB 3.1 | 10 Gbps (1,25 GB/s) | 7,2 Gbps (900 MB/s) | Enero 2013 |  A Type-C <small>© todotecnologia-es0.blogspot.com.es</small> |

Figura 16. Distintas versiones del estándar USB y características principales de cada una de ellas [107]

El USB es utilizado como estándar de conexión de periféricos como teclados, ratones, memorias USB, joysticks, escáneres, cámaras digitales, teléfonos móviles, reproductores multimedia, impresoras, dispositivos multifuncionales, sistemas de adquisición de datos, módems, tarjetas de red, tarjetas de sonido, tarjetas sintonizadoras de televisión y grabadoras de DVD externas, discos duros externos y disqueteras externas. Su éxito ha sido total, habiendo desplazado a conectores como el puerto serie, puerto paralelo, puerto de juegos, Apple Desktop Bus o PS/2 a mercados-nicho o a la consideración de dispositivos obsoletos a eliminar de los ordenadores actuales, pues muchos de ellos pueden sustituirse por dispositivos USB que implementen esos conectores.

El campo de aplicación del USB se extiende en la actualidad a cualquier dispositivo electrónico o con componentes, desde los automóviles (las radios de automóvil modernas van convirtiéndose en reproductores multimedia con conector USB o iPod) a los reproductores de Blu-ray Disc. Se han implementado variaciones para su uso industrial e incluso militar. Pero donde más se nota su influencia es en los teléfonos inteligentes (Europa ha creado una norma por la que todos los móviles deberán venir con un cargador microUSB), tabletas, PDA y videoconsolas, donde ha reemplazado a conectores propietarios casi por completo.

Algunos dispositivos requieren una potencia mínima, así que se pueden conectar varios sin necesitar fuentes de alimentación extra. Para ello existen concentradores (llamados USB hubs) que incluyen fuentes de alimentación para aportar energía a los dispositivos conectados a ellos, pero algunos dispositivos consumen tanta energía que necesitan su propia fuente de alimentación.

Los concentradores con fuente de alimentación pueden proporcionarles corriente eléctrica a otros dispositivos sin quitarle corriente al resto de la conexión (dentro de ciertos límites).

En el caso de los discos duros, sólo una selecta minoría implementan directamente la interfaz USB como conexión nativa, siendo los discos externos mayoritariamente IDE o Serial ATA con un adaptador en su interior. Incluso existen cajas externas y cunas que implementan conectores eSATA y USB, incluso USB 3.0. Estas y las mixtas USB/FireWire han expulsado del mercado de discos externos a SCSI y las conexiones por puerto paralelo.

2.2.2. Tecnologías Inalámbricas

En los últimos años las redes inalámbricas se han hecho muy conocidas por su gran utilidad hacia la sociedad como un método más de comunicación. Las razones por las cuales es utilizado las tecnologías inalámbricas son muchas pero el más significativo es la necesidad de mantener conectividad en cualquier parte desde nuestros dispositivos electrónicos.

La aparición de las redes inalámbricas ofrece muchas ventajas [23]. Entre ellas están las siguientes:

- Compatibilidad con las redes de cable ya existentes
- Facilidad de instalación
- Reducción en los costes de despliegue
- Fácil administración
- Escalabilidad
- Capacidad de atravesar barreras físicas

Las tecnologías inalámbricas se usan en el entorno médico para conectar los dispositivos sensores que miden distintos parámetros de la salud del paciente. Estos dispositivos se conectan a un ordenador que recoge los datos y los almacena en las bases de datos de los distintos centros hospitalarios/centros de salud. El protocolo WiFi debido a su gran avance en los últimos años es el que domina el sector de la comunicación inalámbrica, pero hay bastantes tecnologías inalámbricas alternativas para aplicaciones que requieran características especiales (baja potencia, más seguridad, menos consumo, entre otras).

2.2.2.1. Wifi



Figura 17. Logo Wifi Alliance [108]

En 1999 las compañías 3com, Airones, Intersil, Lucent Technologies, Nokia y Symbol Technologies se reúnan para crear una asociación conocida como WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), que en 2003 pasó a llamarse Wi-Fi Alliance, cuyo objetivo era no sólo el fomento de la tecnología WiFi sino establecer estándares para que los equipos dotados de esta tecnología inalámbrica fueran compatibles entre sí [24].

El estándar 802.11 fue el primero definido por IEEE para aplicaciones WLAN. Funcionaba a través de la banda ISM a 2,4 GHz y utilizaba dos tipos de modulación (DSSS y FHSS). La velocidad de transmisión teórica estaba comprendida entre 1 Mbps y 2 Mbps. Hoy en día este estándar está totalmente obsoleto, debido a que han aparecido versiones que mejoran la velocidad e incluyen funciones de cobertura y seguridad.

En abril de 2000 se establece norma WiFi 802.11b. Este estándar es la evolución del anterior. El estándar 802.11b tiene una velocidad máxima de datos teórica de 11 Mbps, pero implementa un método de reducción de velocidad dinámico (DRS) según la distancia a la que se encuentre el dispositivo. El método DRS puede reducir la velocidad hasta 1 Mbps, 2 Mbps o 5,5 Mbps cuando hay problemas en la red. Debido a su bajo nivel de consumo, que permite su instalación en todo tipo de dispositivos electrónicos.

Tras esta especificación llegó 802.11a, que generó algunos problemas entre Estados Unidos y Europa por la banda que se utilizaba. Mientras que en Estados Unidos la banda de los 5 GHz estaba libre, en Europa estaba reservada a fines militares, situación que paralizó un tanto esta tecnología inalámbrica, sobre todo teniendo en cuenta que la mayoría de los fabricantes de dispositivos, norteamericanos en su mayor parte, tardaron en reaccionar ante la imposibilidad de vender sus productos en el viejo continente. El estándar 802.11a utilizaba la técnica de modulación de OFDM, dividiendo los datos en 52 subportadoras de baja velocidad que se transmiten en paralelo. Gracias a los 8 canales que no se superponen (frente a los 3 de la banda 2,4GHz), aumenta la capacidad de comunicación simultánea. Como resultado, la velocidad crece hasta 54 Mbps. Existen algunas desventajas relativas al consumo, ya que el estándar 802.11a necesita más energía que 802.11b, por lo que no es una solución adecuada para dispositivos portátiles.

Posteriormente, se aprobó una nueva especificación, el estándar 802.11g, que se basa en la norma 802.11b. Funciona en banda de 2.4GHz y puede usar dos métodos de modulación diferentes (DSSS y OFDM). Debido a que 802.11g puede admitir ambos tipos de modulación, es posible alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps, con el mismo alcance y consumo que 802.11b.

La principal ventaja de esta norma es el aumento de velocidad manteniéndose la compatibilidad con el estándar 802.11b. Llegado el momento en que tres especificaciones diferentes conviven en el mercado, se da el caso de que son incompatibles, por lo que el siguiente paso fue crear equipos capaces de trabajar con las tres, pudiendo conmutar de unas a otras, y lanzado soluciones que se etiquetaban como compatibles con las distintas versiones, como se puede observar en la Figura 18.



Figura 18. Etiqueta identificativa de un dispositivo compatible con varias versiones de 802.11
[109]

Tras la liberación de la banda de 5 GHz, para uso libre, en enero de 2004, el IEEE anunció la formación de un grupo de trabajo 802.11 para desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. Nace el estándar 802.11n ratificado por la organización IEEE el 11 de septiembre de 2009 con una velocidad de 600 Mbps en capa física. El alcance de operación de las redes se multiplica con este nuevo estándar gracias a la tecnología MIMO (Multiple Input – Multiple Output), que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas (3 como máximo). El estándar 802.11n hace uso simultáneo de ambas bandas, 2,4 Ghz y 5 Ghz.

Actualmente, el estándar IEEE802.11ac se ha desarrollado para elevar las tasas de rendimiento de datos alcanzables en redes WIFI hasta cerca de 1 Gbps. Este estándar opera en la banda de 5 GHz. Esto permitirá que aquellos que quieran transmitir video de alta definición y muchos otros archivos puedan lograr esto a la velocidad que requieren.

El estándar IEEE 802.11ad está destinado a proporcionar velocidades de procesamiento de datos de hasta 7 Gbps. Para lograr estas velocidades, la tecnología utiliza la banda ISM de 60 GHz para alcanzar los niveles de ancho de banda necesarios y garantizar niveles de interferencia reducidos, reduciendo en consecuencia el alcance de la comunicación.

Por último, el estándar 802.11ah utiliza la banda de uso libre 868 MHz (900 MHz en EEUU) para la transmisión de datos. El uso de 802.11ah proporcionará un mayor rango de cobertura debido a las características de propagación en estas frecuencias. Esto abrirá las nuevas oportunidades a los usuarios sobre todo en IoT donde podemos interconectar en redes de sensores a distancias mayores. Este estándar usa OFDM para la modulación en la transmisión de datos [25].

En la Figura 19 se muestra una comparativa entre las distintas versiones de 802.11 y sus características principales.

| Standard | Frequency Band | Bandwidth | Modulation Scheme | Channel Arch. | Maximum Data Rate | Range | Max Transmit Power |
|----------|----------------|---------------------------|-------------------|---------------|-------------------|-------|--------------------|
| 802.11 | 2.4 GHz | 20 MHz | BPSK to 256-QAM | DSSS, FHSS | 2 Mbps | 20 m | 100 mW |
| b | 2.4 GHz | 21 MHz | BPSK to 256-QAM | CCK, DSSS | 11 Mbps | 35 m | 100 mW |
| a | 5 GHz | 22 MHz | BPSK to 256-QAM | OFDM | 54 Mbps | 35 m | 100 mW |
| g | 2.4 GHz | 23 MHz | BPSK to 256-QAM | DSSS, OFDM | 54 Mbps | 70 m | 100 mW |
| n | 2.4 GHz, 5 GHz | 24 MHz and 40 MHz | BPSK to 256-QAM | OFDM | 600 Mbps | 70 m | 100 mW |
| ac | 5 GHz | 20, 40, 80, 80+80=160 MHz | BPSK to 256-QAM | OFDM | 6.93 Gbps | 35 m | 160 mW |
| ad | 60 GHz | 2.16 GHz | BPSK to 64-QAM | SC, OFDM | 6.76 Gbps | 10 m | 10 mW |
| af | 54-790 MHz | 6, 7, and 8 MHz | BPSK to 256-QAM | SC, OFDM | 26.7 Mbps | >1km | 100 mW |
| ah | 900 MHz | 1, 2, 4, 8, and 16 MHz | BPSK to 256-QAM | SC, OFDM | 40 Mbps | 1 km | 100 mW |

Figura 19. Tabla comparativa entre los distintos estándares de 802.11 [110]

Una red WiFi forma una WLAN y está formada por los siguientes elementos:

- Terminales de usuario o estaciones: tienen una tarjeta de interfaz de red que incluye un transceptor de radio y una antena.
- Puntos de acceso (AP): pueden enviar información a una red cableada como Ethernet y conectarse inalámbricamente con los dispositivos. Son la frontera entre la red cableada y la red inalámbrica.
- Controlador de punto de acceso: son necesarios cuando hay muchos puntos de acceso, debido a razones de cobertura y / o tráfico. Los controladores tienen funcionalidades de AP, cliente VPN y cliente RADIUS, para tareas de autenticación y autorización con un servidor AAA.

El elemento base de la arquitectura de red 802.11 es la celda, y se define como el área geográfica que abarca varios dispositivos cuando estos se conectan entre sí a través mediante propagación por el aire.

Todos los componentes que pueden conectarse a un medio inalámbrico en una red se conocen como estaciones (STA). Todas las estaciones están equipadas con controladores de interfaz de red inalámbrica. Las estaciones inalámbricas se dividen en dos categorías: puntos de acceso inalámbrico y clientes. Los puntos de acceso (AP), normalmente enrutadores inalámbricos, son estaciones base para la red inalámbrica.

Los clientes inalámbricos pueden ser dispositivos móviles (portátiles, asistentes digitales personales, teléfonos IP y otros teléfonos inteligentes) o dispositivos no portátiles (PCs de sobremesa y estaciones de trabajo que están equipadas con una interfaz de red inalámbrica).

En general, las células están compuestas por varias estaciones inalámbricas y una única estación base (un único punto de acceso). Los AP son los componentes de la red que controlan y gestionan toda la información dentro de la celda WLAN, entre celdas WLAN conectadas entre sí y entre celdas WLAN con otras tecnologías LAN [26].

- Cuando dos o más estaciones se unen para comunicarse entre sí, forman un conjunto de servicios básicos (BSS). El BSS mínimo consiste en dos estaciones. En el protocolo 802.11 se usa el BSS como el bloque de construcción estándar. Cada BSS tiene una identificación (ID) llamada BSSID, que es la dirección MAC del punto de acceso que da servicio al BSS.
- IBSS: un BSS solo y que no está conectado a una estación base se llama conjunto de servicios básicos independientes (IBSS). Este tipo de red se denomina Ad-Hoc y no contiene puntos de acceso, lo que significa que no pueden conectarse a ningún otro conjunto de servicios. Las funciones de coordinación se realizan mediante una estación aleatoria que está conectada a la red. En este caso las estaciones se comunican solo de igual a igual, no hay una jerarquía central que controle el flujo de datos.



Figura 20. Modo AD-HOC (IBSS) [111]

- Un conjunto de servicios extendido (ESS) es un conjunto de BSS conectados. Los puntos de acceso en un ESS están conectados por un sistema de distribución. Cada ESS tiene una ID llamada SSID que es una cadena de caracteres de 32 bytes (máximo). Esta arquitectura se denomina modo infraestructura y en este caso el punto de acceso realiza funciones de coordinación. Este modo es adecuado cuando la mayoría del tráfico se genera o finaliza en una red externa, por lo tanto, generalmente se usa para conectar una red inalámbrica con una red de acceso a Internet (como ADSL, RDSI u otras) y también en las redes de la empresa.

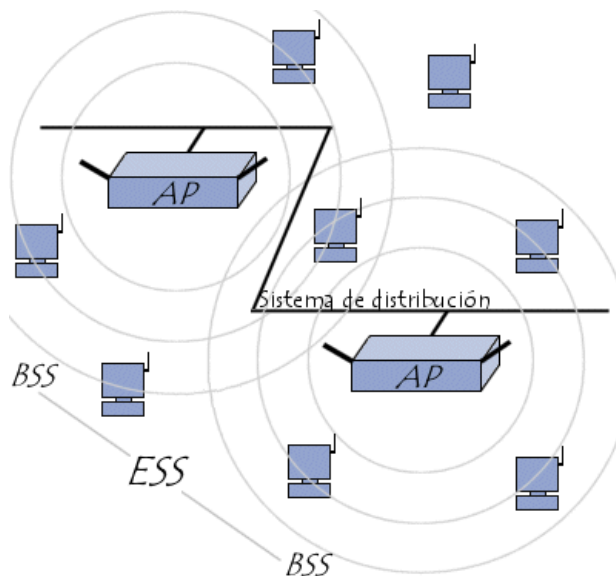


Figura 21. Modo Infraestructura (EBSS) [112]

El estándar IEEE802.11 tiene múltiples topologías para su conexión de red. La topología depende del rendimiento de la red, ahora se describen diferentes topologías:

- Punto a punto: esta configuración solo permite la comunicación entre dos dispositivos. Estos dispositivos pueden ser nodos WIFI finales y APs. Si es necesario tener un alcance mayor, la red punto a punto usa antenas direccionales.

- Punto a multipunto: esta configuración se caracteriza por tener un dispositivo que ofrece sus servicios al resto de dispositivos. Para este caso se emplea varias antenas omnidireccionales o varias antenas sectoriales.
- Malla: con esta configuración, cada dispositivo puede comunicarse con cualquier dispositivo, mientras que ambos se encuentren en el rango de cobertura.

Por otra parte, es importante destacar los tipos de seguridad en el uso de WiFi. Un muy elevado porcentaje de redes son instalados sin tener en consideración la seguridad convirtiendo así sus redes en redes abiertas (o completamente vulnerables a los crackers), sin proteger la información que por ellas circulan.

Existen varias alternativas para garantizar la seguridad de estas redes. Las más comunes son la utilización de protocolos de cifrado de datos para los estándares WiFi como el WEP, el WPA, o el WPA2 que se encargan de codificar la información transmitida para proteger su confidencialidad, proporcionados por los propios dispositivos inalámbricos [27].

Los protocolos de seguridad más utilizados son las siguientes:

- WEP: cifra los datos en su red de forma que sólo el destinatario deseado pueda acceder a ellos. Existen dos niveles de seguridad con 64 y 128 bits respectivamente. El protocolo WEP codifica los datos mediante una clave de cifrado antes de enviarlo al aire. Este tipo de cifrado no es muy recomendable, debido a las grandes vulnerabilidades que presenta, ya que cualquier cracker puede conseguir sacar la clave.
- WPA: presenta mejoras como la generación dinámica de la clave de acceso. Las claves están compuestas por dígitos alfanuméricos sin restricción de longitud
- En la actualidad el más utilizado es el protocolo de seguridad WPA2 (estándar 802.11i), que es una mejora relativa a WPA. En principio es el protocolo de seguridad más seguro para WiFi en este momento, aunque hace poco tiempo han encontrado maneras de acceder a los dispositivos que utilizan este protocolo de seguridad.

Existen otros mecanismos de seguridad:

- IPSEC (túneles IP): son utilizadas para el caso de las VPN y el conjunto de estándares IEEE 802.1X. Permiten la autenticación y autorización de usuarios.
- Filtrado de MAC: sólo se permite acceso a la red a aquellos dispositivos autorizados. Es lo más recomendable si siempre se usan los mismos equipos, y si son pocos.
- Ocultación del punto de acceso: Se puede ocultar el punto de acceso de manera que sea invisible a otros usuarios.

En general, el consumo de WIFI es muy alto en comparación con otros estándares. Como resultado, la duración de la batería es baja, por lo tanto, esta tecnología no es apropiada para dispositivos alimentados mediante baterías.

Pero el estándar tiene una excepción, el IEEE802.11ah, que ha sido diseñado para aplicaciones de IoT. Sus consumos son bajos y tiene un alcance mayor que el resto de los estándares. Por el contrario, la velocidad de datos es baja si se compara con el resto de las normas que definen WIFI.

En la norma IEEE 802.11 fue diseñada para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma 802.3 (Ethernet). Esto quiere decir que en lo único que se diferencia una red wifi de una red Ethernet es en cómo se transmiten las tramas o paquetes de datos; el resto es idéntico. Por tanto, una red local inalámbrica 802.11 es completamente compatible con todos los servicios de las redes locales (LAN) de cable 802.3 (Ethernet).

Uno de los problemas a los cuales se enfrenta actualmente la tecnología WiFi es la progresiva saturación del espectro radioeléctrico, debido a la masificación de usuarios, esto afecta especialmente en las conexiones de larga distancia (mayor de 100 metros).

Las interferencias de radio son un problema para las redes WLAN y WPAN en distancias cortas, porque la mayoría de los dispositivos trabajan en banda ISM de 2.4 GHz.

El estándar WLAN IEEE 802.11 tiene los mismos saltos entre canales que IEEE 802.15.1 WPAN. Sin embargo, ambos sistemas operan con diferente velocidad de salto. Mientras que IEEE 802.11 especifica una velocidad de salto de hasta 2.5 saltos/segundos, el IEEE 802.15.1 tiene 1600 saltos/segundos como velocidad máxima de salto para una transferencia de datos. Por lo tanto, mientras 802.11 permanece en una frecuencia durante 100 ms, IEEE 802.15 habrá saltado 160 veces en ese mismo tiempo. Es normal que IEEE 802.15 salte varias veces en la frecuencia utilizada por IEEE 802.11 mientras que el segundo permanece en el canal indicado.

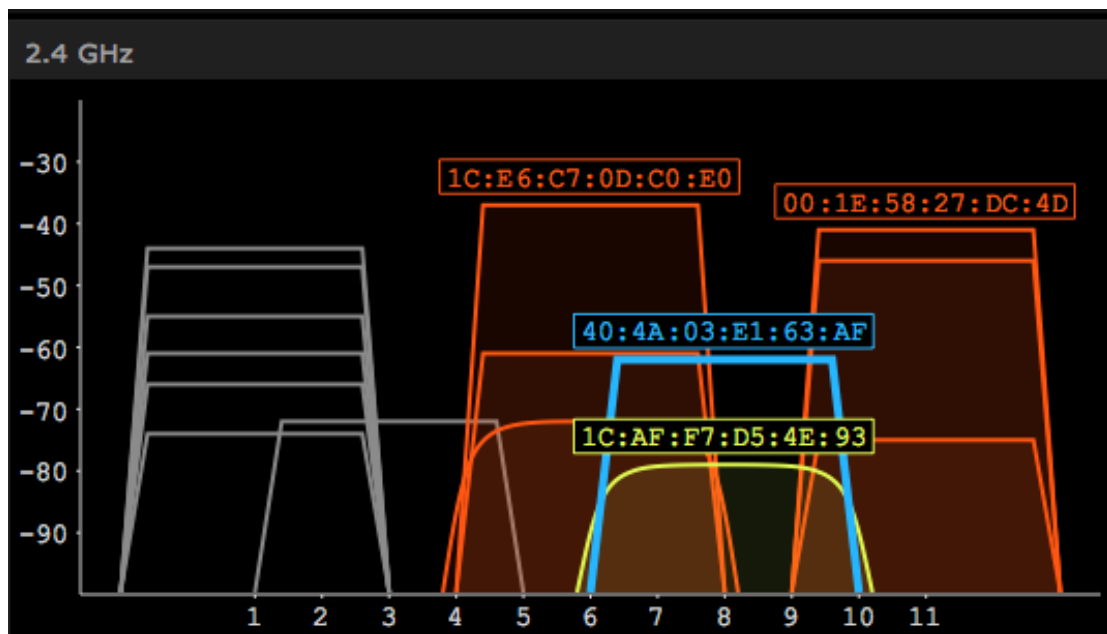


Figura 22. Espectro de la banda ISM 2,4GHz visiblemente saturado [113]

Finalmente, para resumir, vamos a resumir las de ventajas de la tecnología WiFi:

- Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un espacio lo bastante amplio.
- Una vez configuradas, las redes wifi permiten el acceso de múltiples dispositivos sin ningún problema ni gasto en infraestructura, ni gran cantidad de cables.

- La Alianza WiFi asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca WiFi es total, con lo que en cualquier parte del mundo podremos utilizar la tecnología con una compatibilidad absoluta.

La tecnología wifi presenta los problemas intrínsecos de cualquier tecnología inalámbrica entre los que destacamos los siguientes:

- Una de las desventajas que tiene el sistema WiFi es una menor velocidad en comparación a una conexión cableada, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear.
- La desventaja fundamental de estas redes reside en el campo de la seguridad. Existen algunos programas capaces de capturar paquetes, trabajando con su tarjeta WiFi en modo promiscuo, de forma que puedan calcular la contraseña de la red y de esta forma acceder a ella. Las claves de tipo WEP son relativamente fáciles de conseguir con este sistema. La Alianza WiFi arregló estos problemas sacando el estándar WPA y posteriormente WPA2, basados en el grupo de trabajo 802.11i. Este problema se agrava si consideramos que no se puede controlar el área de cobertura de una conexión, de manera que un receptor se puede conectar desde fuera de la zona de recepción prevista (por ejemplo: desde fuera de una oficina o desde una vivienda colindante).
- Esta tecnología no es compatible con otros tipos de conexiones sin cables como Bluetooth, GPRS o UMTS
- La potencia de la conexión del wifi se verá afectada por los agentes físicos que se encuentran a nuestro alrededor, tales como árboles, paredes, arroyos, montañas o edificios. Dichos factores afectan la potencia de la conexión wifi con otros dispositivos.

2.2.2.2. Bluetooth

El protocolo Bluetooth fue inventado en 1994 por Ericsson. Posteriormente, la empresa comenzó a trabajar con un grupo mayor de empresas llamado el grupo de intereses especiales de Bluetooth o SIG (Bluetooth Special Interest Group) para desarrollar la tecnología al punto en que se encuentra hoy. La tecnología Bluetooth no es propiedad de una empresa concreta y es desarrollada y mantenida por el SIG [28]. El nombre Bluetooth proviene de un nombre en clave utilizado originalmente por SIG para el proyecto y es una referencia a un rey danés del siglo X llamado Harold Bluetooth, que fue responsable de la unión de Noruega, Suecia y Dinamarca. El logo de Bluetooth combina las runas Hagall y Berkana, que corresponden a las iniciales de Harald Bluetooth [29].

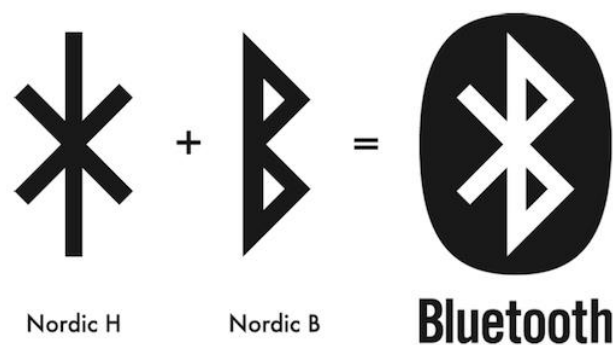


Figura 23. Logo Bluetooth [114]

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz. Los objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Fiabilidad.
- Bajo consumo.
- Bajo costo.
- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.
- Eliminar los cables y conectores entre estos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Las principales características de este sistema se muestra en la Tabla 5.

| Características Bluetooth | |
|---------------------------|--|
| Banda de Frecuencia | 2.4 GHz |
| Velocidad Máxima | Version 1.1: 723.1 kbps Version 1.2: 1Mbps Version 2.0 + EDR: 3Mbps Version 3.0 + HS: 24Mbps Version 4.0: 32Mbps Version 5.0: 100Mbps |
| Número de Canales | 79 |
| Modulación | GFSK |
| Topologías | Punto a Punto Punto a Multipunto Scatternet |
| Seguridad | 4 diferentes modos de seguridad |
| Rango (metros) | Clase 1: 100m Clase 2: 10m Clase 3: 1 – 3m |

Tabla 5. Principales características de Bluetooth

Una de las principales ventajas de esta tecnología inalámbrica es la capacidad de gestionar simultáneamente transmisiones de voz y datos. Esto permite a los usuarios disfrutar de muchas soluciones innovadoras, por ejemplo, manos libres para llamadas, funciones de impresión o sincronización entre aplicaciones.

Los enlaces Bluetooth se llaman piconet. Una piconet está compuesta por dos o más dispositivos que operan en el mismo canal físico al mismo tiempo, por lo tanto, están sincronizados por la misma secuencia de reloj. El reloj, que se utiliza en el conjunto de piconet, es aportado por un dispositivo maestro. El resto de dispositivos se denominan esclavos. La secuencia de salto es derivada del reloj maestro.

Bluetooth permite la comunicación entre pares y punto a multipunto. Los esclavos solo pueden comunicarse con el maestro de la piconet. La máxima cantidad de dispositivos que se pueden conectar en una piconet son 8 (1 maestro y 7 esclavos). Se pueden tener más dispositivos, pero deben permanecer conectados en estado estacionario. Estos últimos no están activos en el canal, debido a que no tienen asignada una dirección MAC, pero están sincronizados con el maestro y pueden activarse sin proceso de conexión.

Los dispositivos que comparten el mismo canal solo pueden usar una parte de su capacidad. Los canales poseen un ancho de banda fijo y cuanto más usuarios están conectados a la piconet, menos es su capacidad. Para resolver este problema nació el concepto scatternet.

En la misma área, puede haber varias piconets diferentes, cada una de ellas se encuentra en un canal físico diferente, y el dispositivo maestro, el reloj y la secuencia de salto son independientes.

Simultáneamente, un dispositivo Bluetooth puede pertenecer a dos o más piconets, esto se llama scatternet. El rendimiento en el modo scatternet es más alto que cuando un dispositivo trabaja en un único canal. Cada piconet tiene diferentes frecuencias de salto, y por tanto, pueden usar diferentes canales simultáneamente.

Cuando existen una gran cantidad de piconet agrupadas aumenta la probabilidad de colisión y disminuye el rendimiento de la modulación FHSS. Sin embargo, el rendimiento de una piconet múltiple es mejor que en una piconet individual.

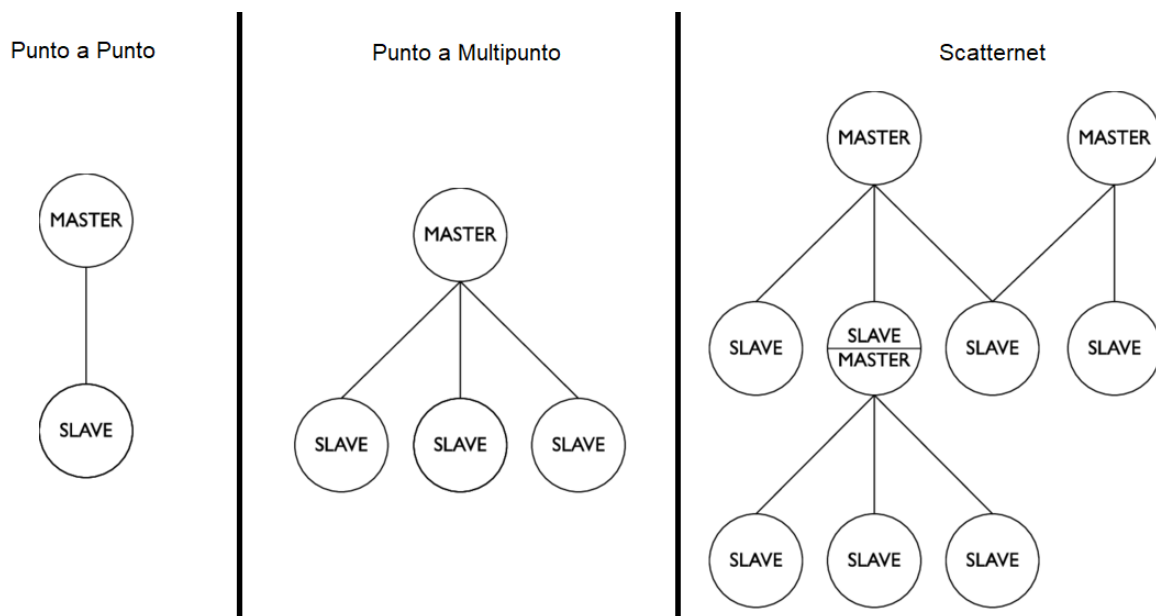


Figura 24. Diferentes Topologías en Bluetooth [115]

La tecnología Bluetooth distingue tres tipos de dispositivos en función del nivel de potencia de transmisión.

| Clases de dispositivos Bluetooth | | |
|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Clase | Potencia de señal de salida máxima | Potencia de señal de salida mínima |
| 1 | 100 mW (20 dBm) | 1 mW (0 dBm) |
| 2 | 25 mW (4 dBm) | 0.25 mW (-6dBm) |
| 3 | 1 mW (0 dBm) | N/A |

Tabla 6. Niveles de Potencia para cada clase de dispositivo Bluetooth

El rango depende de la clase de dispositivos. Los dispositivos con clase 1 se usan generalmente en fábricas industriales, pueden llegar a 100 *metros*, los dispositivos de clase 2 son usualmente portátiles y pueden transmitir hasta 10 *metros*. Finalmente, los dispositivos de clase 3 tienen el menor alcance, siendo entre 1m y 3m.

Bluetooth optimiza mucho el consumo ya que existe un estado *sleeping* en el cual se reduce el consumo de energía y se libera la piconet a otros dispositivos que quieran acceder a ella. Se distinguen cuatro modos de operación en Bluetooth:

- **Modo Activo:** es el modo normal. En este modo el dispositivo transmite o recibe datos.
- **Modo Sniff:** es un modo de ahorro de energía, donde el dispositivo está en estado *sleeping* y solo escuchará las transmisiones en un intervalo establecido (por ejemplo, cada 100 *ms*).
- **Modo de espera:** es un modo temporal de ahorro de energía donde un dispositivo permanece en estado *sleeping* durante un período definido y tras este periodo el dispositivo regresa al modo activo.
- **Modo de estacionamiento:** el maestro puede ordenarle a un esclavo que pase a estado *sleeping* hasta que el maestro le indique que vuelva al modo activo.

Las diversas versiones de las especificaciones detallan cuatro modos de seguridad en el estándar Bluetooth. Cada dispositivo Bluetooth debe operar en uno de los cuatro posibles modos:

- **Modo de seguridad Bluetooth 1:** los dispositivos que operan en el modo 1 no implementan ningún mecanismo de seguridad para evitar conexiones indeseables. Este modo es el que menos seguridad nos proporciona. La autenticación y la funcionalidad de cifrado no están habilitadas y los dispositivos que tiene habilitado este modo son susceptibles a ataques externos. Se aplican a dispositivos de corto alcance que operan en un área donde es poco probable que se sitúen otros dispositivos. El modo de seguridad 1 solo es compatible hasta Bluetooth 2.0 + EDR, eliminándose en versiones posteriores.

- Modo de seguridad Bluetooth 2: para este modo de seguridad, un administrador centralizado controla el acceso a servicios y dispositivos específicos. El administrador de seguridad mantiene políticas para control de acceso e interfaces con otros protocolos. Es posible aplicar diferentes niveles de confianza y políticas para restringir el acceso a las aplicaciones con diferentes requisitos de seguridad. También es posible otorgar acceso a algunos servicios sin proporcionar acceso a otros. Todos los dispositivos Bluetooth pueden admitir Bluetooth Security Mode 2; sin embargo, los dispositivos v2.1 + EDR solo admiten compatibilidad retroactiva con dispositivos anteriores.
- Modo de seguridad Bluetooth 3: en este modo el dispositivo Bluetooth inicia los procedimientos de seguridad antes de establecer cualquier enlace físico. La autenticación y el cifrado se utilizan para todas las conexiones hacia y desde el dispositivo. Los procesos de autenticación y encriptación utilizan una clave de enlace secreta separada que comparten los dispositivos vinculados, una vez que se ha establecido el emparejamiento. El modo de seguridad Bluetooth 3 solo se admite en dispositivos compatibles con Bluetooth 2.0 + EDR o versiones anteriores.
- Modo de seguridad Bluetooth 4: se introdujo en Bluetooth v2.1 + EDR. En este modo los procedimientos de seguridad se inician después de la configuración del enlace. Secure Simple Pairing que utiliza lo que se denomina técnicas de curva elíptica Diffie Hellman (ECDH) para el intercambio de claves y la generación de claves de enlace. Los algoritmos para la autenticación del dispositivo y los algoritmos de encriptación son los mismos que los definidos en Bluetooth v2.0 + EDR.

El protocolo Bluetooth funciona en la banda de frecuencia abierta de 2.4GHz donde puede sufrir interferencias con otras tecnologías como WIFI u otras tecnologías.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales.

2.2.2.3. Redes Móviles (1G/2G/3G/4G)

Si bien es cierto que la tecnología móvil está con nosotros desde la década de los 70, ha sufrido cambios fundamentales que hacen que la que hoy conocemos no tenga mucho de la original [30].

La primera red de comunicación móvil automatizada comercial fue lanzada por NTT en Japón en 1979, seguida por el lanzamiento del sistema de Telefonía Móvil Nórdica (NMT) en Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suecia, en 1981. No todas las redes estaban basadas en los mismos protocolos, dependían bastante de sus fabricantes, no era fácil interconectarlas ni utilizar los mismos terminales en distintas redes. El servicio era únicamente de voz con tecnología analógica y la velocidad era en torno a 1kbps y 2,4 kbps. La multiplexación era de tipo FDMA y se utilizaba la banda de frecuencia de 800 – 900 MHz. El ancho de banda era de 30 kHz, la cual tenía capacidad para 832 canales dúplex, entre los cuales 21 estaban reservados para el establecimiento de llamada, y el resto para la comunicación de voz. Esta generación se conoce como 1G.

A principios de los años 90 se introducen las primeras redes basadas en un protocolo estándar que tenía como principales objetivos la interconexión de las redes y la posibilidad de conectarse a ellas con un mismo terminal, apareciendo el primer concepto de roaming.

Este protocolo es conocido como GSM (Groupe Spécial Mobile o Global System for Mobile Communications). Aparece la llamada segunda generación móvil o 2G que trajo muchas ventajas como una mejor calidad de voz, mayor velocidad para transmitir datos, transmisión de faxes y los SMS. Con esta segunda generación, los servicios de telefonía móvil se vuelven bastante populares. La tecnología pasa a ser digital y se aumenta la velocidad a un rango entre 14kbps a 64 Kbps. Se utilizan dos bandas de frecuencia (850 – 1900 MHz para GSM y 825 – 849 MHz para CDMA). En GSM cada canal de 200 kHz se divide en bloques de 25 kHz. La multiplexación y la tecnología de acceso usada son TDMA y CDMA respectivamente.



Figura 25. Logo de la tecnología GPRS [116]

En la generación 2G se introducen numerosos servicios como Voz Digital, SMS, roaming internacional, conferencia, llamada en espera, retención de llamada, transferencia de llamadas, bloqueo de llamadas, número de identificación de llamadas, grupos cerrados de usuarios (CUG), servicios USSD, autenticación, facturación basada en los servicios prestados a sus clientes, por ejemplo, cargos basados en llamadas locales, llamadas de larga distancia, llamadas con descuento, en tiempo real de facturación.

Se lanza una posterior mejora en el año 2000 conocida como 2.5G. Esta mejora se debe a la implantación de la tecnología GPRS (General Packet Radio Service) sobre las redes existentes y favorece la aparición de los dispositivos de la marca Blackberry y de los primeros teléfonos inteligentes. Frecuencia: 850 -1900 MHz. La velocidad aumenta a 115kbps y la conmutación para ser por el método de conmutación de paquetes para la transferencia de datos. Se utiliza una multiplexación GMSK para GPRS y 8-PSK para EDGE.

Se introducen nuevos servicios como pulsar para hablar, servicios multimedia, información basada en webs de entretenimiento, soporte WAP, MMS, juegos móviles, acceso a correo electrónico o videoconferencia.

Uno de los principales problemas de esta tecnología era las limitaciones en cuanto a usuarios activos. Debido al rango de frecuencias de cada operadora y el hecho de que cada paso de información reservaba un canal, era un problema para gestionar grandes cantidades de tráfico. Esto propició la creación de las redes 3G. La evolución a las redes 3G supuso al fin la posibilidad de navegar por internet desde un terminal móvil e inalámbricamente.

Se mejora la potencia de las antenas, permitiendo más conexiones, mayor calidad de voz y mayor velocidad para transferir datos. Se facilita la movilidad dentro de la zona de cobertura de un Operador, pero también entre distintos Operadores y países, ampliándose el roaming de voz y mensajes para incluir la transferencia de datos.

La integración con Internet, mediante el uso de protocolos comunes (TCP/IP), permitió mantener la velocidad de crecimiento de los servicios móviles.

En la tercera generación (3G) podemos destacar varios estándares:

- UMTS (WCDMA) basado en GSM (Global Systems for Mobile) infraestructura del sistema 2G, estandarizado por el 3GPP.
- CDMA 2000 basado en la tecnología CDMA (IS-95) estándar 2G, estandarizada por 3GPP2.
- TD-SCDMA que se comercializó en 2009 y sólo se ofrece en China

Como características técnicas la velocidad pasa a ser de entre $384Kbps$ hasta $2Mbps$. Se utilizan las frecuencias de $800MHz$ a $2,5 GHz$. El ancho de banda es de $5MHz$ a $20 MHz$. Dado que se implementaron diversos estándares podemos destacar varias tecnologías de multiplexación y de acceso:

- WCDMA (Wideband Code División Multiple Access)
- HSPA: es una actualización de WCDMA que ofrece velocidades de $14,4 Mbps$ de bajada y $5,76 Mbps$ de subida.
- HSPA+: puede proporcionar velocidades de datos teóricas de hasta $168 Mbps$ de bajada y $22 Mbps$ de subida.

Se incluye aún más servicios televisión móvil, vídeo a la carta, servicios basados en la localización, telemedicina, navegación por Internet, mapas de navegación, servicios multimedia, como fotos digitales y películas. servicios localizados para acceder a las actualizaciones de tráfico y clima y servicios móviles de oficina, como la banca virtual.

Actualmente estamos en la cuarta generación móvil 4G. Esta nueva generación se estableció tras un comité de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Se establecen los nuevos niveles de velocidades de transmisión de información de $100 Mbps$ para terminales en movimiento y hasta $1Gbps$ para terminales en reposo. Las tecnologías de multiplexación y de acceso son OFDM, MC-CDMA, CDMA y LAS-Red-LMDS. El ancho de banda es de $5MHz$ a $20 MHz$, y opcionalmente $40 MHz$.

El estándar más conocido de 4G es Long-Term Evolution Time(LTE) pero no es una red puramente 4G ya que no cumple los requisitos establecidos por la UIT para que pueda llamarse red 4G. Esto es debido a que no se alcanza los valores requeridos por las redes 4G y tampoco, la eficiencia espectral de las ondas de radio que utiliza.

LTE cubre una gama de diferentes bandas de frecuencia:

- En América del Norte se utilizan $700MHz$, $750MHz$, $800MHz$, $850MHz$, $1900MHz$, $1700MHz/2100MHz$ (AWS), $2300MHz$ (WCS) $2500MHz$ y $2600 MHz$
- En América del Sur; $700MHz$, $800MHz$, $900MHz$, $1800MHz$, $2600 MHz$.
- En Europa $800MHz$, $1800MHz$ y $2600 MHz$
- En Asia $1800 MHz$ y $2300 MHz$.

Las redes 4G están basadas completamente en el protocolo IP ya que se unen redes de cable e inalámbricas. De este modo es más eficaz la transferencia de información y se pueden alcanzar

los niveles establecidos por la UIT. También se incluyeron técnicas de rendimiento avanzado de radio como es MIMO y OFDM.

En 4G se incluyen servicios como telefonía IP, servicios de juegos, TV móvil de alta definición, videoconferencia, televisión 3D, computación en la nube, gestión de flujos múltiples de difusión, Digital Video Broadcasting (DVB) y acceso a información dinámica [31].

En la se muestra una comparativa de los distintos estándares de la red móvil, con sus parámetros más importantes.

| Symbol | Generation | Standard | Full Name | Maximum Download Speed | Maximum Upload Speed |
|--------|------------|----------|---|------------------------------|----------------------|
| 2G | 2G | GSM | Global System for Mobile Communications | 14.4 Kbits/s | 14.4 Kbits/s |
| G | 2G | GPRS | General Packet Radio Service | 53.6 Kbits/s | 26.8 Kbits/s |
| E | 2.5 G | EDGE | Enhanced Data rates for GSM Evolution | 217.6 Kbits/s | 108.8 Kbits/s |
| 3G | 3G | UMTS | Universal Mobile Telecommunications System | 384 Kbits/s | 128 Kbits/s |
| H | 3.5 G | HSPA | High-Speed Packet Access | 7.2 Mbits/s | 3.6 Mbits/s |
| H+ | 3.75 G | HSPA+ | Evolved High-Speed Packet Access - Release 6 | 14.4 Mbits/s | 5.76 Mbits/s |
| H+ | 3.75 G | HSPA+ | Evolved High-Speed Packet Access - Release 7 | 21.1 Mbits/s or 28.0 Mbits/s | 11.5 Mbits/s |
| H+ | 3.75 G | HSPA+ | Evolved High-Speed Packet Access - Release 8 | 42.2 Mbits/s | 11.5 Mbits/s |
| H+ | 3.75 G | HSPA+ | Evolved High-Speed Packet Access - Release 9 | 84.4 Mbits/s | 11.5 Mbits/s |
| H+ | 3.75 G | HSPA+ | Evolved High-Speed Packet Access - Release 10 | 168.8 Mbits/s | 23.0 Mbits/s |
| 4G | 4 G | LTE | Long Term Evolution | 100 Mbits/s | 50 Mbits/s |
| 4G | 4 G | LTE-A | Long Term Evolution - Advanced | 1 Gbits/s | 500 Mbits/s |

Figura 26. Comparativa de los distintos estándares de red móvil [117]

Ya hay empresas que están trabajando en las futuras redes 5G. La empresa Ericsson ha conseguido velocidades de transferencia de hasta *5Gbps* reales. Además, Huawei está en pleno proceso de estandarizar y desarrollar redes 5G de prueba [32].

2.2.2.4. 6LowPAN

El protocolo 6LowPAN (IPv6 sobre redes inalámbricas de área personal de baja potencia) es un estándar que permite usar IPv6 en una red basada en IEEE 802.15.4. Este protocolo define mecanismos de encapsulación y compresión de encabezado que permiten que los paquetes IPv6 se envíen y reciban a través de IEEE 802.15.4. Como consecuencia, los nodos inalámbricos pueden comunicarse directamente con dispositivos IP.

El uso de la red IP para comunicaciones de radio de baja potencia como 6LoWPAN puede ser beneficiosa para una conectividad inalámbrica a Internet con baja velocidad de datos, como aplicaciones de sensores y domótica.

En la se recogen las principales características de 6LoWPAN.

| Características 6LoWPAN | |
|-------------------------|--|
| Banda de Frecuencia | 868MHz – 868.6 MHz (EU) 902 MHz – 928 MHz (USA) 2400 MHz – 2483.5 MHz (Global) |
| Velocidad Máxima | 20 kbps (868 MHz) 40 kbps (902 MHz) 250 kbps (2.4 GHz) |
| Número de Canales | 1 canal (868 MHz) 10 canales (902 MHz) 15 canales (2.4 GHz) |
| Modulación | BPSK (868 MHz) BPSK (902 MHz) O-QPSK (2.4 GHz) |
| Topología | Estrella Malla |
| Rango | 10 – 100 m |

Tabla 7. Características principales de 6LoWPAN

La arquitectura de red 6LoWPAN se muestra en la Figura 27.

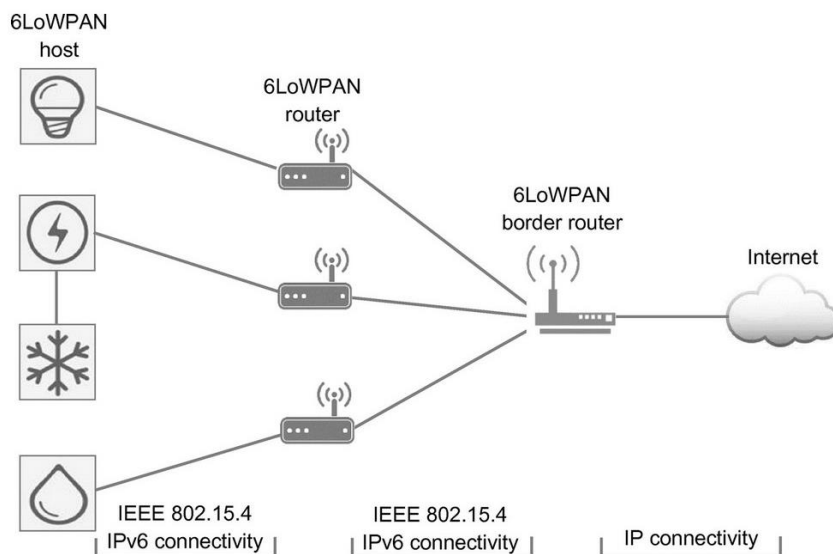


Figura 27. Arquitectura del protocolo 6LoWPAN

Los hosts pueden detectar los dispositivos que se encuentran en su entorno y activarlos. Los enrutadores son nodos intermedios que reenvían paquetes de datos desde los hosts a los routers de borde (interfaz entre 6LoWPAN y red IP) o a un destino dentro de la red 6LoWPAN. La conexión entre los elementos 6LoWPAN se implementa a través de IPv6 sobre IEEE 802.15.4. Los routers de borde proporcionan interconexión y administración del tráfico entre la red 6LoWPAN y otras redes IP (típicamente Internet). El envío y la recepción de paquetes entre los elementos 6LoWPAN y los nodos IP de otras redes se producen en un esquema de extremo a extremo, como cualquier nodo IP, donde cada elemento 6LoWPAN se identifica por una dirección IPv6 única.

El estándar IEEE 802.15.4 puede definir dos tipos de nodos de red: dispositivos de función reducida (RFD) y dispositivos de función completa (FFD). El primer tipo solo puede comunicarse con otros dispositivos FFD. Los dispositivos FFD pueden hablar con otros FFD o RD e incluso pueden crear sus propias redes. Esto implica una jerarquía que conduce a dos posibles topologías de red; una topología en estrella o una topología punto a punto o de malla.

La topología en estrella es la más fácil y menos costosa de implementar ya que solo requiere un único dispositivo FFD. El resto de los dispositivos de la red pueden ser RFD o FFD, dependiendo de la implementación.

El uso de una topología de malla proporciona rutas de comunicación redundantes y múltiples para garantizar la entrega de mensajes. En esta topología la red es esencialmente una entidad ad hoc y auto-organizada.

En las redes 6LoWPAN, la seguridad se puede manejar en tres niveles: MAC, red y aplicación. La capa MAC IEEE 802.15.4 implementa servicios de seguridad para lograr el cifrado y la autenticación de datos. En el estándar IEEE 802.15.4 se definen diferentes modos de seguridad que se pueden clasificar principalmente en nulos (sin seguridad), solo encriptación (AES-CTR), solo autenticación (AES-CBC) y encriptación y autenticación (AES-CCM). En la capa de red, se pueden utilizar el conjunto de protocolos IPsec para autenticar y encriptar cada paquete IP. Finalmente, en la capa de aplicación, la seguridad la proporciona la capa de transporte de datagramas (DTLS).

Los dispositivos que cumplen con los requisitos del estándar 802.15.4 están diseñados para funcionar con baja potencia. El estándar se pensó para el caso de que el acceso al suministro de energía fuera limitado. Aunque los dispositivos finales pueden ser alimentados mediante baterías, existen otros equipos de red como routers o coordinadores que necesitan una fuente de alimentación adicional.

2.2.2.5. *LoRa (LoRaWAN)*

LoRa es una tecnología de datos inalámbricos desarrollada por Cycled of Grenoble que luego fue adquirida por Semtech. LoRa opera en las bandas 868 MHz en Europa y 900 MHz en EEUU. Ha sido diseñada para transmisiones de larga duración con bajo consumo de energía.

Podemos dividir esta tecnología en dos partes: la capa física y la capa de red. La primera, conocida como capa física LoRa (LoRa PHY o LoRa), es un protocolo cerrado y patentado.

La capa de red, llamada LoRaWAN, es el protocolo utilizado para gestionar la comunicación entre las pasarelas LPWAN y los dispositivos finales en una red LoRa.

A diferencia de LoRa, LoRaWAN es de código abierto. LoRa está patentado, por lo tanto, pagaremos indirectamente a sus propietarios, aunque este costo está incluido en el precio de los chipsets LoRa que están presentes en los dispositivos que usan esta tecnología.

LoRaWAN es un protocolo de red diseñado para conectar de manera inalámbrica dispositivos a Internet en redes regionales, nacionales o globales. Los dispositivos LoRaWAN se clasifican en tres clases diferentes según su aplicación [33]:

- Clase A: es la más soportada en casi todos los dispositivos. Este tipo de clase ofrece el mayor ahorro de energía debido a que solo entra en modo escucha (llamado ventana RX) después de enviar datos hacia el gateway, por eso es ideal para dispositivos que usan una batería.
- Clase B: este tipo de dispositivos tiene las ventanas de recepción con base a tiempos predeterminados con el Gateway. Este tipo de nodos puede usar una batería o una fuente externa dependiendo de los tiempos asignados de escucha.
- Clase C: este tipo de clase ofrece el menor ahorro de energía debido a que siempre está en modo escucha y solo cuando es necesario en modo de transmisión. La recomendación es usarlo en dispositivos que cuentan con una fuente externa de alimentación.

En cuanto al consumo los dispositivos de clase A son los dispositivos de menor consumo, ya que están en modo de suspensión la mayor parte del tiempo. Por el contrario, los dispositivos de Clase C consumen más energía que otras clases porque siempre están en modo escucha. En la Tabla 8 se muestran el consumo dependiendo del modo de operación.

| Consumo LoRaWAN | |
|-----------------|------------|
| Modo TX | 24 – 44 mA |
| Modo RXt | 12 mA |
| Modo Idle | 1.4 mA |
| Modo Sleep | 0.1 μA |

Tabla 8. Consumo en LoRaWAN según el modo de operación

El rango de LoRaWAN depende de factores del entorno y la transmisión de potencia entre otros. En entorno urbano, el rango máximo es de 2 km, porque las bajas frecuencias, que funcionan con LoRaWAN, proporcionan una gran penetración en muchos materiales (paredes de ladrillo, árboles u hormigón). Estas bandas proporcionan menos pérdidas en presencia de obstáculos que las bandas superiores. como 2.4 GHz. En las zonas rurales el resultado es mejor que en las ciudades. En estos entornos se ha llegado a distancias de 21 km.

Las principales características de la red LoRaWAN se recopilan en la Tabla 9.

| Características LoRaWAN | |
|-------------------------|---|
| Banda de Frecuencias | 868 MHz (EU) 900 MHz (USA) |
| Velocidad Máxima | 50 kbps |
| Número de canales | 8 canales (868 MHz) 13 canales (900 MHz) |
| Modulación | CSS |
| Topología | Estrella |
| Seguridad | AES-128 AES-CMAC |
| Rango | 2 km |

Tabla 9. Características LoRaWAN

En la arquitectura definida por LoRaWAN encontramos los siguientes elementos [34]:

- Puntos finales: son sensores u otros dispositivos cuya función es la detección y el control. Estos nodos a menudo se colocan de forma remota y funcionan con baterías. Suelen ser sensores o actuadores.
- LoRa Gateways: los nodos LoRaWAN están asociados con una Gateway específica, por tanto, los datos enviados por un nodo se transmiten a todas las puertas de enlace y cada puerta de enlace que recibe una señal lo transmite a un servidor de red. En este tipo de red, el servidor se basa en un concepto de nube.
- Servidores de red: es el encargado del procesamiento de los datos. Filtra los paquetes duplicados desde diferentes pasarelas, realiza controles de seguridad y envía ACK a las pasarelas. Los servidores de red pueden ser privados o propiedad de una compañía de comunicación.

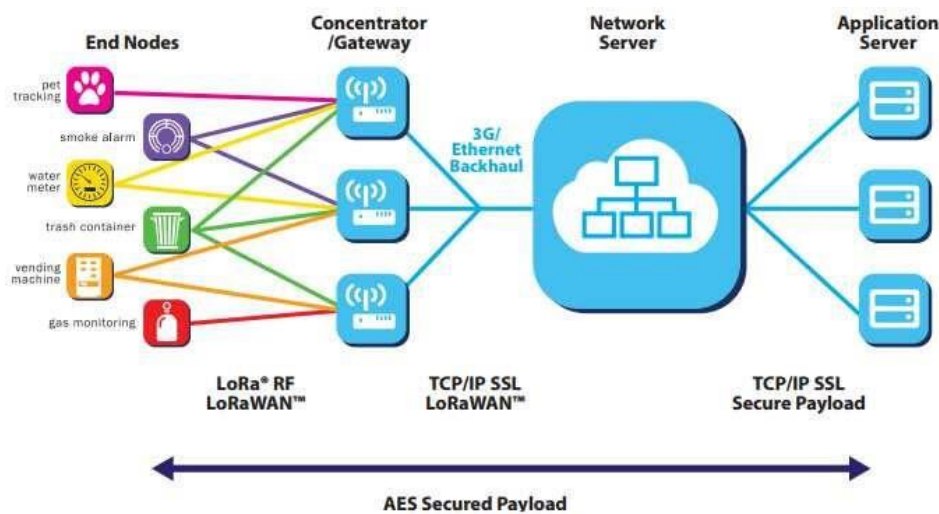


Figura 28. Arquitectura de LoRaWAN [33]

La arquitectura de red LoRaWAN se implementa en una topología en la que los mensajes del dispositivo final se transmiten a un servidor de red central a través de puertas de enlace, que se conectan al servidor de red a través de conexiones IP estándar y convierten paquetes RF en paquetes IP y viceversa.

Como se mencionó anteriormente, cada nodo transmite los datos a múltiples puertas de enlace. Luego las puertas de enlace reenviarán los datos al servidor de red donde se realizan la detección de redundancia, las comprobaciones de seguridad y la programación de mensajes.

2.2.2.6. ZigBee

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica, para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías [35].

La relación entre IEEE 802.15.4-2003 y ZigBee es parecida a la existente entre IEEE 802.11 y Wi-Fi Alliance. La especificación 1.0 de ZigBee se aprobó el 14 de diciembre de 2004 y está disponible a miembros del grupo de desarrollo ZigBee Alliance.

El protocolo ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo.

Sin embargo, a la hora de diseñar dispositivos, las empresas casi siempre optan por la banda de 2,4 GHz. El desarrollo de esta tecnología se centra en la sencillez y el bajo costo en comparación con otras tecnologías WPAN, como por ejemplo Bluetooth. El nodo ZigBee más completo requiere en torno al 10% del hardware de un nodo Bluetooth o Wi-Fi típico. Esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos [36].

Muchas veces se confunde 802.15.4 con ZigBee. Este último solo define la capa de aplicación, que funciona sobre la capa física y de enlace que se definen en IEEE 802.15.4. En la Figura 29, se puede observar las diferentes entre las capas anteriormente mencionadas.

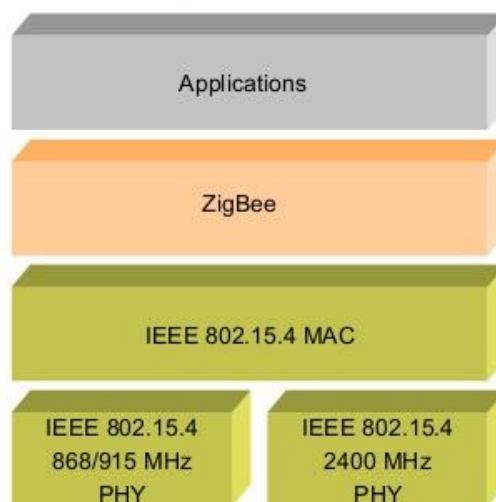


Figura 29. Comparativa entre Capa 802.15.4 y ZigBee [118]

La primera versión del protocolo suele denominarse ahora ZigBee 2004. La segunda versión se denomina ZigBee 2006, y reemplaza la estructura MSG/KVP, dejando obsoleta la anterior versión. Finalmente, ZigBee Alliance presentó la versión 2007 del protocolo.

El nivel de red de ZigBee 2007 no es compatible con el de ZigBee 2004/2006, aunque un nodo antiguo (versión ZigBee 2004/2006) puede unirse a una red con ZigBee 2007 y viceversa. No pueden combinarse routers de las versiones antiguas (versión ZigBee 2004/2006) con los nuevos (versión ZigBee 2007).

En la se recogen las características de 802.15.4 las cuales definen las características físicas de ZigBee.

| Características de 802.15.4 | |
|-----------------------------|--|
| Banda de Frecuencia | 868 MHz (EU) 915 MHz (USA) 2.4 GHz (Global) |
| Velocidad Máxima | 20 kbps (868 MHz) 40 kbps (915 MHz) 250 kbps (2.4 GHz) |
| Número de Canales | 11 canales (868 MHz) 11 canales (915 MHz) 16 canales (2.4 GHz) |
| Modulación | CSMA-CA |
| Topología | Estrella/Malla/Árbol |
| Seguridad | AES-128 |
| Rango | 10 – 1000 m |

Tabla 10. Características de 802.15.4

La estructura de las redes Zigbee consta de tres tipos diferentes de dispositivos: coordinador, enrutador y dispositivo final. Cada red de Zigbee debe tener al menos un coordinador que actúe como raíz y puente de la red. El coordinador es responsable de manejar y almacenar la información. Los enrutadores Zigbee actúan como dispositivos intermedios que permiten que los datos pasen a otros dispositivos. La cantidad de enrutadores, coordinadores y dispositivos finales depende del tipo de topología.

A continuación, se describen las tres posibles topologías usadas en ZigBee:

- Topología en estrella: la red está controlada por un coordinador que es el responsable de la inicialización y el mantenimiento de los nodos. El resto de los dispositivos (dispositivos finales) se comunican con el coordinador. Esta topología se implementa cuando necesitamos una red con baja potencia.

- Topología de árbol: en esta topología, la red consta de un coordinador, varios enrutadores y dispositivos finales. La función del enrutador es ampliar la cobertura de la red, siendo esta característica el principal beneficio de esta topología. Los nodos finales, que están conectados al coordinador o a los enrutadores, no se pueden conectar directamente entre ellos. Un caso especial de topología de árbol se denomina topología de árbol clúster.
- Topología de malla: varios enrutadores están conectados entre ellos y con el coordinador. En esta topología, cualquier dispositivo puede comunicarse con otros, si el nodo de destino se encuentra en el rango del nodo emisor. En el caso que se caiga algún enlace, los datos pueden encaminarse a través de otros nodos en la red.

En la Figura 30 se muestra las diferentes topologías posibles en ZigBee.

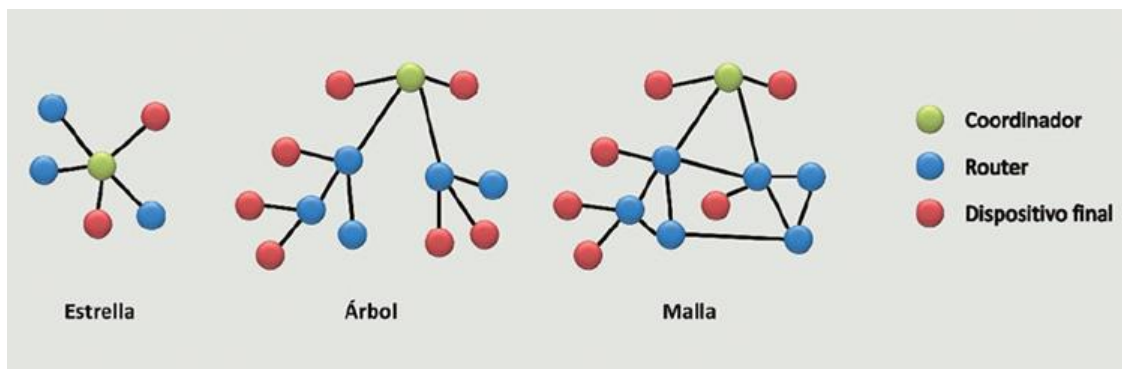


Figura 30. Topologías posibles en ZigBee [119]

Cada dispositivo para cualquier tipo de topología tiene una dirección única con 64 bits . Es posible usar una dirección más corta con 16 bits , cuando los dispositivos están asociados con el coordinador de la red. Como resultado, en la red podemos tener 264 nodos como máximo.

El estándar 802.15.4 especifica que cada dispositivo debe tener una potencia mínima de transmisión de 1 mW , sin embargo, dependiendo de la aplicación, puede ser mayor o menor, para ajustarse al consumo y a las necesidades de la red.

Los dispositivos que transmiten a 1 mW deben cubrir un rango de entre $10 \text{ m} - 20 \text{ m}$, sin embargo, con un receptor que posea una buena sensibilidad y un aumento en la potencia de transmisión podemos llegar a alcances de entre $300 \text{ m} - 1000 \text{ m}$. Para las aplicaciones que no requieren un tiempo de latencia bajo, con la topología de malla se obtiene una gran cobertura, ya que cada dispositivo solo necesita potencia para comunicarse con el dispositivo más cercano.

El protocolo ha sido desarrollado para ahorrar energía en los dispositivos finales, ya que suelen estar alimentado con baterías. Por tanto, se requiere un bajo ciclo de trabajo para reducir el consumo de energía. Los dispositivos finales permanecen la mayoría del tiempo en modo de suspensión y solo se despiertan periódicamente para verificar si tienen un mensaje.

Por otro lado, la red ZigBee tiene dispositivos como enrutadores y coordinadores que necesitan conectarse a la red eléctrica, debido a sus tareas de procesamiento de datos.

Las redes que usan ZigBee suelen encontrarse en entornos hostiles donde hay medios compartidos. Por este motivo, se han definido varias herramientas para hacer que el estándar sea más robusto en estos entornos.:

- CSMA-CA: permite transmisiones de datos solo cuando se detecta que el canal está inactivo, para evitar las colisiones.
- Confirmación del paquete: cuando se envía un paquete, se devuelve un ACK para confirmar que el paquete enviado se recibió correctamente.
- Comprobación de redundancia cíclica (CRC): los bloques de datos que forman un mensaje poseen un CRC para detectar posibles fallos en las tramas.
- Clave simétrica: se puede implementar una clave de seguridad simétrica con el estándar de cifrado AES.

2.2.2.7. NBloT

Narrowband-IOT (NB-IOT) es el primer protocolo centrado en conectar a internet objetos cotidianos que requieren pequeñas cantidades de datos en períodos de tiempo largos. NB-IoT fue diseñado exclusivamente para IoT y es una de las tecnologías de IoT móvil (MIoT) estandarizadas por el 3rd Generation Partnership Project (3GPP), en junio de 2016 [37].

El protocolo NBloT es uno de los más prometedores en comunicación M2M (máquina a máquina) para el IoT. Esta tecnología, con requisitos de baja potencia, cobertura de área amplia y alta penetración en interiores, proporciona una solución de bajo costo para IoT.

En la Tabla 11 se muestran las características más importantes del protocolo NBloT.

| Características de NBloT | |
|--------------------------|--|
| Banda de Frecuencia | 700 MHz 800 MHz 900 MHz |
| Velocidad Máxima | 250 kbps |
| Modulación | OFDMA (enlace de bajada) SC-FMDA (enlace de subida) |
| Topología | Estrella |
| Seguridad | LTE encryption |
| Rango | ~ 22 Km |

Tabla 11. Características de NBloT

Esta tecnología permite conectar una amplia gama de dispositivos y servicios a través de redes móviles ya establecidas. Las principales ventajas de NBloT son las siguientes:

- Dispositivos de bajo consumo de energía.
- Conectividad fiable.
- Coste de componentes bajo.
- Utiliza la arquitectura de red móvil existente.
- Amplio rango en interior y exterior.
- Transferencia de datos optimizada.

La tecnología NB-IoT utiliza la misma arquitectura de red que la red LTE convencional, con modificaciones mínimas. La arquitectura básica para NB-IoT se muestra en la Figura 31, y consta de dos partes: la red de acceso y la red central del sistema (EPS).

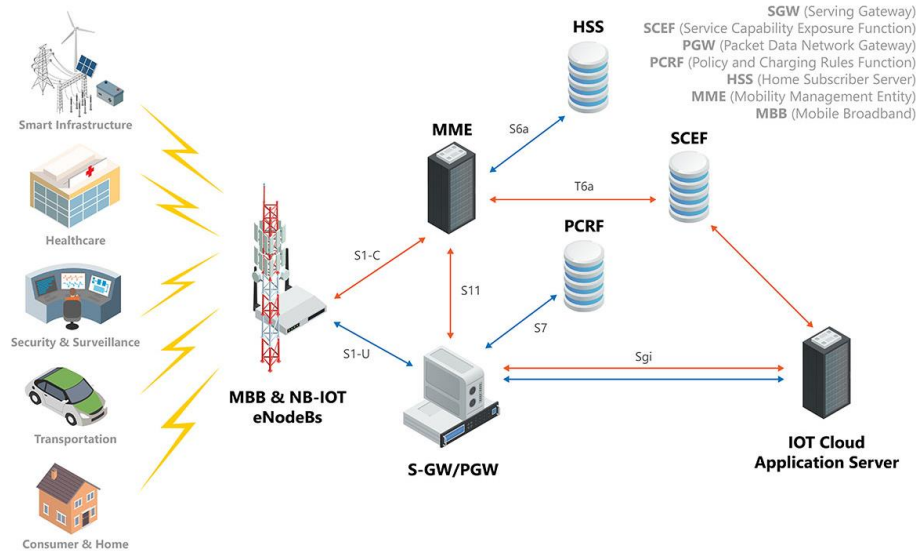


Figura 31. Arquitectura de NB-IoT [120]

Su cobertura puede llegar a extenderse a 18 – 21km. El protocolo NB-IoT funciona mejor en ubicaciones urbanas que en áreas suburbanas o rurales (cualquier lugar que no tenga una cobertura 4G no es beneficioso para NB-IoT).

En NB-IoT se utilizan funciones de seguridad ya establecidas en las redes LTE y abarcan desde la autenticación del dispositivo hasta el filtrado de la red. Gracias al proceso de autenticación LTE, cada dispositivo receptor puede identificarse con una tarjeta SIM única.

2.2.3. Conclusiones

Tras analizar todos los posibles protocolos que se usan en las diversas comunicaciones dentro del entorno sanitario, llegamos a la conclusión de que tanto en las comunicaciones entre dispositivos y puntos de recolección de datos y en las comunicaciones entre diferentes entidades sanitarias, tenemos muchas posibilidades para las diversas situaciones de cada caso.

Aunque el protocolo Ethernet (en tecnologías cableadas) y WiFi, Bluetooth y redes 4G (en las tecnologías inalámbricas) son las que más se utilizan respectivamente, tenemos otras opciones para casos que requieran de características específicas.

En el próximo capítulo vamos a detallar distintos dispositivos médicos comerciales que podemos usar en combinación con las distintas arquitecturas anteriormente mostradas.

3. ESTADO DEL ARTE SOBRE SENSORES BIOMÉDICOS USADOS EN TELEMEDICINA

La telemedicina, como se ha descrito al comienzo del presente capítulo, supone, en su sentido más amplio, el aprovechamiento de los avances tecnológicos más actuales para llevar a cabo la diagnosis y el tratamiento de pacientes de forma remota. Por tanto, para garantizar el éxito de la implantación de este nuevo paradigma, no sólo se requiere de un profundo estudio de los avances en las tecnologías de la información y comunicaciones (descritos en el apartado anterior) para comunicar profesionales y pacientes de forma efectiva y segura; sino que también es necesario realizar un pormenorizado estudio de todos aquellos sensores biomédicos que contribuyan al desarrollo de las tecnologías de diagnóstico en remoto.

Dichos sensores biomédicos presentan una doble finalidad: habilitar el mayor número posible de prestaciones médicas en la ubicación del paciente (véase su domicilio, por ejemplo) y personalizar los tratamientos de forma individual, al poder disponer de información en tiempo real del estado del paciente, como su respuesta al tratamiento o recuperación.

Atendiendo a esta finalidad, los requisitos que se esperan de un sensor biomédico son:

- Ser capaz de medir algún parámetro relevante, como por ejemplo la presión arterial, de manera precisa, sin influencia de otros parámetros.
- Ser capaz de medir pequeñas variaciones en dicho parámetro.
- Precisión, dando una medida lo más próxima al valor real.

Por último, aspectos como el tiempo de respuesta del sensor, la biocompatibilidad, su robustez, caracterización frente al envejecimiento de la electrónica y bajo coste son también deseables, con la idea de interferir lo menor posible en el día a día del paciente, bien con revisiones periódicas del sensor o porque suponga un gran impacto en su economía.

El objetivo principal del proyecto NUMA consiste en la definición de un modelo innovador de atención a la cronicidad/fragilidad transfronterizo en el área de Andalucía – Algarve, con especial atención a personas mayores, crónicos y la detección temprana del riesgo de cronicidad para el resto de pacientes.

Por ello, dentro de todos los tipos de patologías posibles, se prestará especial atención a aquellas más comunes en los grupos de pacientes objetivos del proyecto: Personas mayores, pacientes crónicos y la detección temprana de éstos.

Por estos motivos, en este punto se va a presentar una revisión de los principales sensores existentes a día de hoy y que presentan una mayor relación con los objetivos del proyecto NUMA. Para ello, se agruparán, atendiendo a la finalidad del sensor, según las siguientes categorías:

- Tensiómetros
- Básculas
- Podómetros
- Glucómetros

- Espirómetros
- Pulsioxímetros
- Termómetros

3.1. Tensiómetros

Se corresponde con un sensor biomédico que es capaz de medir la tensión arterial y/o la presión sanguínea de un paciente. Esta lectura se puede realizar atendiendo a alguno de los siguientes métodos descritos en [38]:

- Método de auscultación: este método consiste en minimizar los sonidos del pulso tras colapsar una arteria ejerciendo presión sobre ella y, posteriormente, escuchando el sonido al liberar esa presión. De esta forma, atendiendo a la naturaleza de los sonidos, se puede determinar la tensión máxima y mínima.
- Método oscilométrico: se determinan las oscilaciones que se producen en un oscilómetro al colapsar una arteria. Atendiendo a las características de estas oscilaciones, se puede determinar la tensión máxima y mínima. La principal ventaja de este método es que el transductor no necesita colocarse sobre la arteria, siendo menos susceptible a ruido externo; aunque no al introducido por las vibraciones mecánicas de baja vibración.
- Método basado en ultrasonidos: esta opción se basa en el uso de ultrasonidos y cómo el movimiento de las paredes de la arteria provoca un desplazamiento en la fase de la señal reflejada, por efecto Doppler.
- Método del pulso: se basa en hacer desaparecer y aparecer de nuevo el pulso de una arteria que ha sido colapsada por algún tipo de presión externa
- Método de cambio de color capilar: basado en una disminución transitoria del flujo sanguíneo en un miembro ejerciendo presión sobre él. La lectura de dicha presión con un anemómetro establecerá la tensión arterial.
- Método directo o intraarterial: está basado en medir la presión dinámica máxima, mínima y media de la sangre a su paso por la arteria. En este método es necesario el uso de un transductor que convierta dichas medidas a magnitudes observables. Se corresponde con el método más preciso y más invasivo.

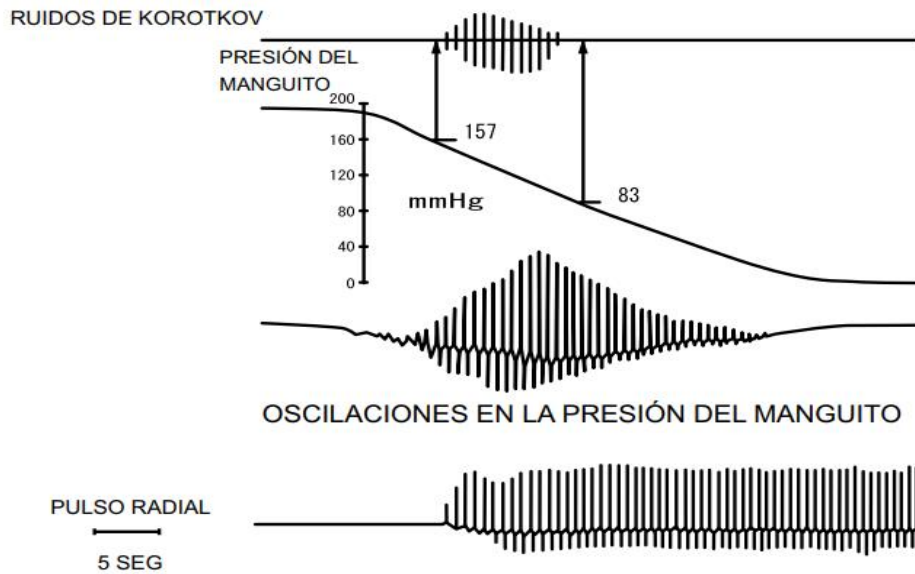


Figura 32. Comparación entre los métodos de auscultación, oscilométrico y de pulso en la medición de la presión arterial [38]

Cabe destacar que en la actualidad los tensiómetros más extendidos tanto a nivel doméstico como a nivel hospitalario se corresponden con aquellos basados en auscultación. En concreto, el conocido como tensiómetro digital de brazo. Este dispositivo se caracteriza por estar compuesto de dos piezas fundamentales: el manguito, que se corresponde con un elemento circular que contacta con el brazo del paciente y permite ejercer presión sobre este miembro, y la unidad de procesamiento. Esta última implementa toda la electrónica necesaria para la ejecución del algoritmo de medida y su posterior procesamiento para representar la información en la pantalla. Una ventaja de estos aparatos es que, al presentar una mayor zona de contacto, su precisión es mayor que la de otros dispositivos, como los basados en la lectura en la muñeca.

A continuación, se muestra una selección de tensiómetros que pueden encontrarse en el mercado.

3.1.1. Tensiómetro Omron HBP 1300

Mide la presión arterial de forma rápida y eficaz con el tensiómetro de brazo OMRON HBP-1300. Diseñado para ser usado en entornos profesionales como hospitales, centros de salud o consultorios médicos. Además, cuenta con indicador de arritmias [39].



Figura 33. Tensiómetro Omron HBP 1300 [39]

A continuación, se presentan un resumen de sus principales características.

| Tensiómetro Omron HBP 1300 | |
|----------------------------------|---|
| Método de la medida | Método oscilométrico |
| Sistema de representación | Pantalla LCD de 7 segmentos |
| Rango de medidas | Presión sistólica: 60 - 250 mmHg |
| | Presión diastólica: 40 – 200 mmHg |
| | Frecuencia cardíaca: 40-200 pulsaciones/min |
| Precisión | Presión: ± 5 mmHg |
| | Desviación típica máxima: 8 mmHg |
| | Pulso: $\pm 5\%$ |
| Presurización | Método de desinflado lineal dinámico |
| Despresurización | |
| Fuente de alimentación | Adaptador de corriente 100 V – 240 V y frecuencia 50/60 Hz |
| Duración de la batería | Aproximadamente 300 usos |
| Dimensiones | Unidad principal: 123 mm x 201 mm x 99 mm |
| | Pila: 54 mm x 43.5 mm x 15.4 mm |
| Peso | Unidad principal: 0.52 kg, sin incluir accesorios y opciones |
| | Adaptador de corriente: 0.2 kg |
| | Batería: 0.1 kg |
| Condiciones de operación | Temperatura: +10°C - +40°C |
| | Humedad relativa: 10-95% |
| | Presión atmosférica: 700 – 1060 hPa |
| Otras características | Este modelo se corresponde con un dispositivo de uso profesional enfocado a su uso en clínicas y hospitales |
| | Batería recargable |

Tabla 12. Principales características del dispositivo Omron HBP 1300 [39]

3.1.2. Esfigmomanómetro Omron 708-BT

Este tensiómetro usa el método oscilométrico para medir la presión sanguínea. Para ello, detecta el movimiento de la sangre a través de la arteria braquial y convierte los movimientos en medidas digitales [40]. La Tabla 13 muestra un resumen de sus principales características.

| Esfigmomanómetro Omron 708-BT | |
|------------------------------------|---|
| Protocolo de comunicaciones | Bluetooth versión 2.1 + EDR Clase 2 |
| Método de la medida | Método oscilométrico |
| Sistema de representación | Pantalla digital LCD |
| Rango de medidas | Presión: 0-299 mmHg |
| | Pulso: 40-180 pulsaciones/min |
| Precisión | Presión: ± 3 mmHg o $\pm 2\%$ |
| | Pulso: $\pm 5\%$ |
| Presurización | Automático mediante bomba eléctrica |
| Despresurización | Válvula automática de liberación de presión |
| Fuente de alimentación | Adaptador 120V 60Hz AC |
| | 4 pilas alcalinas tipo AA |
| Duración de la batería | Aproximadamente 300 uso |
| Dimensiones | 155mm x 131mm x 84mm |
| Peso | 420g (sin incluir las baterías) |
| Condiciones de operación | Temperatura: $+10^{\circ}\text{C}$ - $+40^{\circ}\text{C}$ |
| | Humedad relativa: 15-90% |
| Otras características | Liberación rápida de aire mediante válvula automática de escape |
| | Sensor de presión capacitivo |
| | Onda de detección de pulso basado en sensor capacitivo |
| | Liberación rápida de aire mediante válvula automática de escape |

Tabla 13. Descripción de las principales características del dispositivo Omron 708-BT [40]



Figura 34. Imagen del dispositivo Omrom 708-BT [40]

3.1.3. Tensiómetro A&D Medical UA-767PBT

El modelo UA-767PBT ha sido diseñado partiendo del modelo UA-767 Plus, cuya precisión ha sido verificada clínicamente. Presenta características avanzadas del modelo original como el uso del protocolo de comunicaciones inalámbricas Bluetooth®, dándole unas capacidades avanzadas [41].



Figura 35. Imagen del dispositivo A&D Medical UA-767PBT [41]

A continuación, se muestra una tabla con las características más importantes de este modelo:

| A&D Medical UA-767PBT | |
|------------------------------------|---|
| Protocolo de comunicaciones | Bluetooth 2.1 Clase 1 |
| Memoria | 40 posiciones de presión sanguínea |
| Método de la medida | Oscilométrico |
| Sistema de representación | Pantalla digital con muestra de pulso y presión simultáneos |
| Rango de medidas | Presión: ± 3 mmHg o $\pm 2\%$ |
| | Pulso: 40 - 200 pulsaciones/min |
| Precisión | Presión: ± 3 mmHg o $\pm 2\%$ |
| | Pulso: $\pm 5\%$ |
| Presurización | Automática mediante el uso de microbomba |
| Despresurización | Válvula de escape automática de velocidad constante |
| Fuente de alimentación | 4 baterías alcalinas AA |
| Duración de la batería | 6 meses en condiciones normales de uso |
| Dimensiones | 163 mm x 111 mm x 67 mm |
| Peso | 320 gramos (sin baterías) |
| Otras características | Validad clínicamente |
| | Precisión profesional |
| | Almacenamiento de medidas en memoria |
| | Cumple con estándares ANSI/AAMI SP10 |

Tabla 14. Descripción de las principales características del dispositivo A&D Medical UA-767PBT [41]

3.1.4. Beurer BM 95

Se corresponde con un monitor de presión sanguínea para el brazo junto con un electrocardiograma de un solo canal para grabar el ritmo cardíaco. También puede realizar la

transferencia de la información mediante el uso de un transceptor Bluetooth® Low Energy o una conexión USB. La Tabla 15 muestra un resumen de sus principales características [42].

| Beurer BM 95 | |
|-----------------------------|--|
| Protocolo de comunicaciones | Bluetooth® Low Energy / USB |
| Memoria | 2 x 60 posiciones |
| Método de la medida | Método oscilométrico |
| | ECG monocanal en posiciones frontales de libre elección |
| | ECG a masa referenciada |
| Sistema de representación | Pantalla digital LCD |
| Rango de medidas | Presión: 30 – 280 mmHg |
| | Pulso: 40-199 pulsaciones/min |
| | ECG: 0.05-40Hz @ $f_{\text{sampling}}=256\text{Hz}$ |
| Precisión | Presión: $\pm 3\text{mmHg}$ o pulso $\pm 2\%$ del valor indicado |
| | Pulso: $\pm 4\%$ del valor visualizado |
| Fuente de alimentación | 4 pilas AA |
| Duración de la batería | Aproximadamente 300 usos |
| Dimensiones | Unidad principal: 128mm x 128mm x 40mm |
| | Diámetro del brazalete: 22-42 cm |
| | Dispositivo ECG: 25mm x 125mm |
| Peso | Unidad principal: 300g (sin incluir pilas) |
| | Dispositivo ECG: 40g |
| Otras características | Detección de arritmias |
| | Hora y fecha |
| | Alimentación interna |
| | IPX0 |
| | Sin AP/APG |
| | Presión sanguínea: pieza de aplicación tipo BF |

Tabla 15. Principales características del dispositivo Beurer BM 95 [42]



Figura 36. Imagen del dispositivo Beurer BM 95 [42]

3.2. Básculas

La báscula se corresponde con un instrumento que permite obtener la masa del paciente bajo estudio. Existen tres tipos de básculas: mecánicas, electrónicas y electromecánicas. A continuación, se detallarán la funcionalidad de cada una de ellas.

- **Báscula mecánica:** en este caso, la magnitud a medir se obtiene mediante la acción de un sistema mecánico. Existen dos técnicas para estimar la masa del paciente bajo estudio:
 - **Uso de un contrapeso:** este tipo de básculas hacen uso de un mecanismo de palancas y un contrapeso. De esta forma, el mecanismo de palancas permite transformar el peso del paciente en un momento de fuerzas, que se equilibra mediante el desplazamiento del propio contrapeso a lo largo de un eje graduado. Una vez equilibrada la báscula, se puede efectuar la lectura de la masa del paciente. Como se puede observar, este tipo de básculas se parecen en su funcionamiento a una balanza.
 - **Uso de un muelle elástico:** en esta nueva situación, se busca aprovechar el comportamiento físico de un muelle para estimar la masa del paciente. Por tanto, su funcionamiento se asemeja al de un dinamómetro.
- **Básculas electromecánicas:** suponen una solución intermedia entre las básculas mecánicas y electrónicas, ya que se basan en un principio físico para estimar la masa del paciente, pero son capaces de representar la información de forma digital. Para ello, hace uso de un transductor que permite transformar la magnitud física bajo estudio en una tensión o corriente, que pueda ser procesada por medio de un circuito electrónico.
- **Básculas electrónicas:** este tipo de básculas hacen uso de sensores electrónicos cuya curva característica permite convertir una fuerza en una magnitud eléctrica. Su funcionamiento, por tanto, no requiere de ningún mecanismo externo. En concreto, el sensor usado se conoce como célula de carga, compuestas por una pieza de metal unida a una galga extensométrica. Este último elemento ve modificada su resistencia eléctrica al traccionarse o comprimirse. Por tanto, se puede establecer una relación entre el valor de dicha resistencia y el peso del paciente. Cabe destacar que este mecanismo permite diseñar básculas ligeras, fiables, de bajo coste y de dimensiones reducidas.

A día de hoy, las básculas más extendidas son las de tipo electrónico dada sus características. Por este motivo en la comparación que se presenta a continuación sólo se van a contemplar este tipo de básculas, ya que son fácilmente integrables en la vida diaria del paciente.

3.2.1. Omron BF 511

Se corresponde con un monitor de composición corporal que aporta una extensa visión de la grasa corporal y visceral, nivel de musculatura, índice de grasa corporal y el metabolismo en reposo. Además, se encuentra validado clínicamente y posee la clasificación de dispositivo médico [43]. La Tabla 16 recoge sus principales características.

| Omron BF 511 | |
|---|--|
| Medición de peso corporal | 0-150kg en incrementos de 0.1kg |
| Medición de grasa corporal | 5-60% con incrementos 0.1% |
| Medición de porcentaje muscular | 5-50% con incrementos 0.1% |
| Medición de metabolismo basal | 385-3999kcal con incrementos de 1kcal |
| Medición de nivel de grasa visceral | 30 niveles con incrementos de 1 nivel |
| Edad corporal | 6-80 años |
| Clasificación de niveles de músculo y grasa corporal | 37 niveles |
| Usuarios | Hasta 4 |
| Precisión | Porcentaje de grasa corporal: 3.5% |
| | Porcentaje de músculo esquelético: 3..5% |
| | Nivel de grasa visceral: 3 Niveles |
| | Peso 0.0kg-40kg: ±0.4kg |
| | Peso 40kg-150kg: ±1% |
| Alimentación | 4 pilas AA |
| Duración de la batería | Aproximadamente 1 año |
| Dimensiones | Unidad de pantalla: 300mm x 35mm x 147mm |
| | Unidad principal: 303mm x 55mm x 327mm |
| Peso | 2.2kg |

Tabla 16. Características principales del dispositivo Omron BF511 [43]



Figura 37. Imagen del dispositivo Omron BF511 [43]

3.2.2. Beurer BF100

Esta báscula sirve para pesar y analizar sus datos personales de fitness. Está destinada exclusivamente al uso personal en el ámbito privado. El análisis de los parámetros se realiza mediante el principio de análisis de la impedancia bioeléctrica, haciendo uso de dos frecuencias diferentes para determinar con exactitud la resistencia eléctrica [44]. La Tabla 17 resumen sus principales características.



Figura 38. Imagen del dispositivo Beurer BF100 [44]

| Beurer BF100 | |
|--|---|
| Medición de peso corporal | 5-180kg con incrementos de 0.1kg |
| Edad corporal | 10-100 |
| Clasificación de niveles de músculo y grasa corporal | 9 niveles |
| Memoria | Hasta 30 posiciones |
| Usuarios | Hasta 10 usuarios |
| Protocolo de transmisión | Bluetooth® Low Energy y USB |
| Precisión | Porcentaje de grasa corporal: 0.1% |
| | Porcentaje de músculo esquelético: 0.1% |
| | Nivel de grasa visceral: 3 Niveles |
| | Peso 0.0kg-40kg: ±0.4kg Peso 40kg-150kg: ±1% |
| Alimentación | 6 pilas tipo AA |
| Dimensiones | 330mm x 330mm x 41mm |

Tabla 17. Características principales del dispositivo Beurer BF100 [44]

3.2.3. A&D MEDICAL AD-6121ABT1

Este dispositivo es capaz de determinar la masa muscular y clasificar la grasa corporal de cinco partes del cuerpo distintas (zona abdominal, brazos y piernas) haciendo uso del análisis de la bioimpedancia eléctrica del cuerpo [45]. A continuación, se resumen sus principales características.



Figura 39. Imagen del dispositivo A&D MEDICAL AD-6121ABT1 [45]

| A&D MEDICAL AD-6121ABT1 | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Medición de peso corporal | 2-150kg en incrementos de 0.1kg |
| Pantalla | Pantalla LCD con retroiluminación |
| Memoria | Hasta 40 posiciones |
| Protocolo de transmisión | Standard RS232C |
| Alimentación | 4 pilas tipo AA |
| Duración de la batería | 100 operaciones de pesado |
| Condiciones de operación | Temperatura: +5°C - +35°C |
| | Humedad relativa: <85% |
| Dimensiones | 314mm x 315mm x 57mm |
| Peso | 3kg |

Tabla 18. Principales características del dispositivo A&D MEDICAL AD-6121ABT1 [45]

3.2.4. Omron BF206-BT

Este dispositivo de fácil uso permite transferir valores de composición como el peso, grasa corporal, músculo esquelético, grasa visceral, edad corporal, a cualquier dispositivo gracias a su Bluetooth continua interface [46].



Figura 40. Imagen del dispositivo Omron BF206-BT [46]

| Omron BF206-BT | |
|--|---|
| Medición de peso corporal | 0-150kg en incrementos de 0.1kg |
| Medición de grasa corporal | 5-60% en incrementos del 0.1% |
| Medición de porcentaje muscular | 5-50% en incrementos del 0.1% |
| Medición de metabolismo basal | 385-3999 kcal en incrementos del 0.1% |
| Medición de nivel de grasa visceral | No disponible |
| Edad corporal | 18-80 años |
| Clasificación de niveles de músculo y grasa corporal | 30 niveles |
| Memoria | Hasta 30 posiciones |
| Usuarios | Hasta 4 usuarios |
| Protocolo de transmisión | Bluetooth versión 2.1 + EDR clase 2 |
| Precisión | Peso 0.0kg-40kg: ± 0.4 kg Peso 40kg-150kg: $\pm 1\%$ |
| Alimentación | 4 pilas tipo AA |
| Duración de la batería | Aproximadamente 6 meses |
| Condiciones de operación | Temperatura: $+10^{\circ}\text{C}$ - $+40^{\circ}\text{C}$ |
| | Humedad relativa: 30 - 80% |
| | Presión: 700 – 1060 hPa |
| Dimensiones | 300mm x 290mm x 38mm |

Tabla 19. Principales características del dispositivo Omron BF206-BT [46]

3.3. Podómetros

Estos dispositivos se encargan del registro de cada uno de los pasos que el paciente da en un desplazamiento a pie. Para llevar a cabo esta estimación es necesario un primer paso de calibración, donde el paciente debe introducir la distancia cubierta por una zancada normal. No obstante, los últimos avances tecnológicos han permitido combinar la electrónica junto con algoritmos específicos para determinar esta distancia sin necesidad de ser introducida por el paciente.

De acuerdo al mecanismo que utilizan estos dispositivos para estimar los pasos, se pueden distinguir dos tipos diferentes: basados en resortes y basados en materiales piezoeléctricos.

El primer tipo está basado en mecanismos con resortes y brazos de palanca. Estos podómetros usan un muelle suspendido sobre un brazo de palanca horizontal que se mueve hacia arriba y abajo como respuesta al movimiento (aceleraciones verticales) del paciente durante su desplazamiento. Este movimiento provoca la apertura y cierre de un circuito eléctrico, registrando en cada ciclo un paso. Este tipo de dispositivo requiere ubicarse de forma perpendicular al suelo para que puedan trabajar correctamente.

Por su parte, el segundo tipo de podómetros está basado en el uso de materiales piezoeléctricos, cuya principal característica es que generan una respuesta eléctrica ante su deformación. Por tanto, para poder llevar a cabo el registro de los pasos, se emplea una estructura compuesta por una viga voladiza en cuyo extremo libre se coloca una cierta masa. De esta forma, el movimiento producido por el paciente al caminar, la masa tiende a vibrar, flexionando el material piezoeléctrico. Como consecuencia, en sus terminales aparece una señal de oscilación cuya frecuencia es proporcional a la aceleración del movimiento. Por tanto, estimando los cruces por cero de esta señal de oscilación es posible contar el número de pasos que el paciente da.

Cabe destacar que los podómetros son, en general, sistemas son fáciles de utilizar y de bajo coste. A continuación, se muestra una comparativa de distintos podómetros usados en aplicaciones de telemedicina.

3.3.1. Omron Walking Style One 2.1

Este podómetro ofrece una lata precisión en el conteo de pasos gracias a la utilización de un sensor 3D, el cual posee integrado un filtrado de 4 segundos. De esta forma, este dispositivo logra contar los pasos de forma más efectiva, evitando contar aquellos movimientos que no estén relacionados con un desplazamiento prolongado. Además, dispone de una memoria que puede almacenar los últimos 7 días para poder comparar la información registrada [47]. La Tabla 20 recoge un resumen de sus principales características.



Figura 41. Imagen del dispositivo Omron Walking Style One 2.1 [47]

| Omron Walking Style One 2.1 | |
|---------------------------------|--|
| Rango de medida | Pasos: 0-99999 |
| | Distancia caminada: 0-5999.9km |
| | Calorías consumidas: 0-59999kcal |
| | Aeróbico: 0-99999 pasos |
| | Tiempo: 0:00-23:59 |
| Capacidad de la memoria | 1-7 días |
| Rango | Tiempo: 0:00-23:59 |
| | Peso: 10-136kg en incrementos de 1kg. |
| | Altura: 100-199cm en incrementos de 1cm |
| | Longitud de la zancada: 30-120cm en incrementos de 1cm |
| Condiciones de operación | Temperatura: -10°C - +40°C |
| | Humedad: 30-85% |
| Dimensiones | 75mm x 31mm x 8mm |
| Peso | 20g |
| Alimentación | Batería de litio CR2032 |
| Duración de la batería | Aproximadamente 6 meses |

Tabla 20. Principales características del dispositivo Omron Walking Style One 2.1 [47]

3.3.2. Yamax Digi-Walker SW800

Este dispositivo permite registrar no sólo los pasos, sino que también monitoriza la distancia recorrida, las calorías consumidas y la velocidad media con la que se ha efectuado la caminata [48]. Sus principales características se recogen en la Tabla 21.

| Yamax Digi-Walker SW800 | |
|-------------------------------|--|
| Rango de medida | Pasos: 1-99999 |
| | Distancia caminada: 0.01-999.99km |
| | Calorías consumidas: 0.1-9999.99kcal |
| | Velocidad: 0.01-99.99km/h |
| Rango | Peso: 30-120kg en incrementos de 1kg. |
| | Longitud de la zancada: 30-180cm en incrementos de 1cm |
| Alimentación | Batería LR-44 |
| Duración de la batería | Aproximadamente 3 años |

Tabla 21. Principales características del dispositivo Yamax Digi-Walker SW800 [48]



Figura 42. Imagen del dispositivo Yamax Digi-Walker SW800 [48]

3.3.3. Tech40



El podómetro Tech40 se presenta en formato de reloj y, al igual que en los casos anteriores, hace uso de un sensor para medir de forma precisa la velocidad, distancia y las calorías consumidas [49]. La Tabla 22 resume sus principales características.

Figura 43. Imagen del dispositivo Tech40 [49]

| Tech40 | |
|-------------------------------|--|
| Rango de medida | Pasos: 1-99999 |
| | Distancia caminada: 0.01-999.99km |
| | Calorías consumidas: 0.1-9999.99kcal |
| | Velocidad: 0.01-99.99km/h |
| Rango | Peso: 30-120kg en incrementos de 1kg. |
| | Longitud de la zancada: 30-180cm en incrementos de 1cm |
| Dimensiones | 38mm x 38mm |
| Peso | 45g |
| Memoria | Hasta 7 días |
| Alimentación | Batería CR2032 |
| Duración de la batería | Aproximadamente 3 años |

Tabla 22. Principales características del dispositivo Tech40 [49]

3.3.4. Omron Walking Style IV

Este podómetro está basado en la misma tecnología que el modelo Omron Walking Style One 2.1. La Tabla 23 recoge sus principales características [50].



Figura 44. Imagen del dispositivo Omron Walking style IV [50]

| Omron Walking style IV | |
|---------------------------------|--|
| Rango de medida | Pasos: 0-99999 |
| | Distancia caminada: 0-5999.9km |
| | Calorías consumidas: 0-59999kcal |
| | Aeróbico: 0-99999 pasos |
| | Tiempo: 0:00-23:59 |
| Capacidad de la memoria | 1-7 días |
| Rango | Tiempo: 12:00AM-11:59PM |
| | Peso: 10-136kg en incrementos de 1kg. |
| | Altura: 100-199cm en incrementos de 1cm |
| | Longitud de la zancada: 30-120cm en incrementos de 1cm |
| Condiciones de operación | Temperatura: -10°C - +40°C |
| | Humedad: 30-85% |
| Dimensiones | 42mm x 57mm x 13mm |
| Peso | 23g |
| Alimentación | Batería de litio CR2032 |
| Duración de la batería | Aproximadamente 6 meses |

Tabla 23. Principales características del dispositivo Omron Walking style IV [50]

3.4. Glucómetros

Un glucómetro es un instrumento de medida que permite determinar la concentración de glucosa en sangre en tiempo real, evitando que el paciente tenga que desplazarse a un centro médico. Este dispositivo es vital para controlar enfermedades como la diabetes. Por este motivo, características como reducido tamaño, alta precisión y bajo coste son altamente recomendables de forma que su impacto en la vida del paciente se vea minimizado.

En el mercado actual se pueden encontrar tres tipos de glucómetros. Por un lado, están aquellos que hacen uso de una muestra de sangre para determinar el nivel de glucosa en sangre. Por otro lado, existen medidores no invasivos de glucosa que no requieren extraer una muestra de sangre del paciente. Para ello, existen una gran variedad de técnicas que se pueden aplicar con tal fin. Sin embargo, muy pocos dispositivos han logrado superar la regulación vigente y salir a la venta.

Por último, el tercer tipo de dispositivos que se pueden encontrar son los monitores de glucosa continuos que monitorizan constantemente el nivel de glucosa del paciente. Esto se consigue mediante la implantación de un sensor bajo la piel, que se comunica de forma inalámbrica con un receptor. Este último dispositivo es el encargado de procesar los datos y representar la medida. Cabe destacar que el sensor puede utilizarse durante un periodo de tiempo extenso antes de necesitar ser reemplazado.

A continuación, se presentan varios de los dispositivos más representativos de glucómetros basados en el análisis de la sangre.

3.4.1. Abbott Freestyle Freedom Lite

Este glucómetro está diseñado para simplificar su uso, presentando una pantalla y botones grandes para facilitar su lectura y operación por parte del paciente [51]. A continuación, en la Tabla 24 se muestra sus principales características.

| Abbott Freestyle Freedom Lite | |
|---------------------------------|---|
| Método de ensayo | Sensor electroquímico coulométrico |
| Calibración | Plasma equivalente |
| Unidades de medida | Mg/dL o mmol/L |
| Rango de resultados | 20-500 mg/dL o 1.1—27.8mmol/L |
| Hematocritos | 15-65% |
| Muestra | Muestras de sangre reciente procedente de una vena o capilar |
| Tamaño de la muestra | 0.3 microlitros |
| Memoria | 400 pruebas de glucosa en sangre y solución de control con fecha y hora |
| Alimentación | Pila de litio CR2032 |
| Condiciones de operación | Temperatura: +4°C - +40°C |
| | Humedad relativa: 5-90% |
| Dimensiones | 51mm x 84mm x 16mm |
| Peso | 40-45g |

Tabla 24. Principales características del dispositivo Abbott Freestyle Freedom Lite [51]

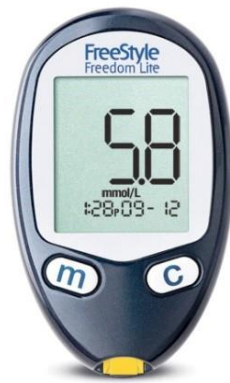


Figura 45. Imagen del dispositivo Abbott Freestyle Freedom Lite [51]

3.4.2. Glucocard 01

Este medidor de glucosa incorpora tecnología para reducir el número de pasos necesarios para reducir el error de la medida. Una ventaja que presenta es que requiere sólo 0.3 microlitros de sangre para realizar el análisis [52].

| Glucocard 01 | |
|---------------------------------|---|
| Método de ensayo | Oxidación de la glucosa |
| Calibración | Auto codificación |
| Tamaño de la muestra | 0.3 microlitros |
| Promedio | 14 o 30 días |
| Memoria | 360 pruebas de glucosa en sangre y solución de control con fecha y hora |
| Alimentación | Pila de litio CR2032 |
| Duración de la batería | Más de 2000 pruebas realizando un promedio de 4 por día |
| Condiciones de operación | Temperatura: +4°C - +40°C Humedad relativa: 5-90% |
| Dimensiones | 51mm x 84mm x 16mm |
| Peso | 45g |

Tabla 25. Principales características del dispositivo Glucocard 01 [52]



Figura 46. Imagen del dispositivo Glucocard 01 [52]

3.4.3. MyGlucoHealth Wireless

La principal característica que presenta este glucómetro es que puede comunicarse con un terminal móvil mediante Bluetooth® y subir los resultados de las medidas a una plataforma web para que el usuario pueda recolectar y consultar los datos de forma sencilla. También posibilita la opción de recibir alertas por correo electrónico o contactar con profesionales [53].



Figura 47. Imagen del dispositivo MyGlucoHealth Wireless [53]

| MyGlucoHealth Wireless | |
|--------------------------|--|
| Método de ensayo | Oxidación de glucosa |
| Calibración | Calibración autocodificada, plasma calibrado |
| Unidades de medida | mmol/L |
| Rango de resultados | 6—33.3mmol/L |
| Muestra | Muestras de sangre reciente procedente de un capilar |
| Tamaño de la muestra | 0.3 microlitros |
| Memoria | 250 pruebas |
| Alimentación | 2 pilas AAA |
| Condiciones de operación | Temperatura: +10°C - +40°C |
| | Humedad relativa: 10-90% |
| | Altitud: <3048m |
| Comunicaciones | Bluetooth® |
| Dimensiones | 52mm x 98.5mm x 23.4mm |
| Peso | 5g |

Tabla 26. Principales características del dispositivo MyGlucoHealth Wireless [53]

3.4.4. Bayer Contour XT



Figura 48. Imagen del dispositivo Bayer Contour XT [54]

El sistema para análisis de glucosa en sangre Bayer Contour XT es un dispositivo de venta libre concebido para el autodiagnóstico por personas con diabetes para la medición cuantitativa de glucosa en sangre total. Es para uso exclusivo de un solo paciente y no se debe compartir. El sistema para análisis de glucosa en sangre Bayer Contour XT está indicado para su uso con muestras de sangre capilar total recién extraída de la yema del dedo. La utilidad clínica de este dispositivo es ayudar en el análisis de la eficacia de su programa de control de la diabetes [54].

| Bayer Contour XT | |
|---------------------------------|--|
| Método de ensayo | Oxidación de la glucosa |
| Calibración | Plasma equivalente |
| Unidades de medida | Mg/dL |
| Rango de resultados | 10-600 mg/dL |
| Muestra | Muestras de sangre reciente procedente completamente de una vena o capilar |
| Tamaño de la muestra | 0.6 microlitros |
| Memoria | 480 pruebas de glucosa en sangre y solución de control con fecha y hora |
| Alimentación | 2 baterías de litio de 3V y 225mAh |
| Duración de la batería | Aproximadamente 1000 análisis |
| Condiciones de operación | Temperatura: +5°C - +45°C |
| | Humedad relativa: 10-93% |
| Dimensiones | 77mm x 57mm x 19mm |
| Peso | 47.5g |

Tabla 27. Principales características del dispositivo Bayer Contour XT [54]

3.5. Espirómetros

Los espirómetros son dispositivos médicos que permiten tomar medidas relacionadas con la función respiratoria y pulmonar. Para ello, se registra la cantidad de aire que el sujeto exhala o inhala, así como parámetros relevantes como la velocidad. Atendiendo a su funcionamiento, se distinguen dos tipos de espirómetros fundamentalmente:

- **Espirómetros volumétricos:** se encargan de registrar la cantidad de aire exhalado o inhalado en un intervalo de tiempo determinado. Están basados en el principio de que al entrar aire en un circuito cerrado se produce el desplazamiento de un mecanismo (campana o fuelle), registrándolo en algún tipo de soporte físico.
- **Espirómetros de flujo:** su funcionamiento está basado en medir cómo de rápido pasa el flujo de aire a través de un detector para estimar el volumen de aire exhalado o inhalado. Para este fin, registran la velocidad del flujo a intervalos muy cortos, del orden de 1/30 o 1/300 segundos. La información recogida se emplea para determinar la velocidad del flujo en cada intervalo de tiempo y el volumen desplazado. Este proceso se suele denominar digitalización.

A continuación, se listan alguno de los instrumentos más representativos que pueden encontrar a día de hoy en el mercado.

3.5.1. ERT AM1+

Se corresponde con un espirómetro diseñado para mejorar los cuidados de los pacientes que sufren algún tipo de enfermedad crónica respiratoria. Se encarga de medir y transmitir todos los parámetros del flujo respiratorio, como son los indicadores PEF y FEV1. Además, presenta un sistema de captura de síntomas, eventos y medicaciones, de forma que el paciente pueda evaluar mejor su situación [55]. La Tabla 28 muestra un resumen de sus prestaciones.



Figura 49. Imagen del dispositivo ERT AM1+ [55]

| ERT AM1+ | |
|--------------------------|--|
| Volumen | 0.5-8 l |
| Flujo | 60-840 L/min |
| Protocolo de transmisión | Bluetooth® |
| Memoria | 1200 medidas y 600 entradas diarias |
| Representación | Pantalla LCD |
| Dimensiones | 112mm x 82mm x 34mm |
| Peso | 145 |
| Alimentación | 3 pilas tipo AAA |
| Otras características | Capacidad de medir indicador nasal PIF |

Tabla 28. Principales características del dispositivo ERT AM1+ [55]

3.5.2. Vitalograph 4000 COPD6 BT

Este instrumento está diseñado para la pronta detección de enfermedades crónicas que obstruyen el sistema pulmonar. De esta forma, se puede abordar esta problemática en un estadio inicial, requiriendo intervenciones médicas más sencillas y mejorando los cuidados [56]. La Tabla 29 recoge sus principales características.



Figura 50. Imagen del dispositivo Vitalograph 4000 COPD6 BT [56]

| Vitalograph 4000 COPD6 BT | |
|---------------------------------|---|
| Volumen | 0-9.99 l |
| Sensor | Rotor stator |
| Impedancia del flujo | < 0.15kPa/L @ 14L/s |
| Protocolo de transmisión | Bluetooth® |
| Precisión | <±3% |
| Representación | Pantalla LCD |
| Dimensiones | 113mm x 63mm x 48mm |
| Peso | 55g |
| Alimentación | Pilas tipo AAA |
| Otras características | Indicador de obstrucción: suave, moderado y severo |
| | Indicador de calidad de soplado |
| | Indicador de edad pulmonar |
| | Clasificación de la enfermedad crónica del sistema respiratorio |

Tabla 29. Principales características del dispositivo Vitalograph 4000 COPD6 BT [56]

3.5.3. MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone

Este espirómetro monitoriza el pico del flujo exhalado y el volumen exhalado forzado en un segundo, permitiendo el volcado de esta información a un ordenador, Tablet o Smartphone mediante su conectividad Bluetooth®. Está basado en un sensor de turbina que puede ser fácilmente desmontado para su desinfección. Cabe destacar que sólo puede ser usado por una persona [57]. Sus principales características se muestran en la Tabla 30.



Figura 51. Imagen del dispositivo MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone [57]

| MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Rango de flujo | ±16 L/s |
| Sensor | Turbina |
| Precisión | Volumen: ±3% o 50mL |
| | Flujo: ±5% o 200 mL/s |
| Protocolo de transmisión | Bluetooth® |
| Dimensiones | 109mm x 49mm x 21mm |
| Peso | 60.7g |
| Alimentación | 2 pilas tipo AAA |
| Otras características | Medición parámetros FEV1 y PEF |

Tabla 30. Principales características del dispositivo MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone [57]

3.5.4. Micro 1

El espirómetro Micro 1 emplea un transductor digital volumétrico para medir el aire exhalado. Esta medición se realiza considerando la temperatura corporal y la presión con vapor de agua saturado para minimizar las imprecisiones que la variación de la temperatura corporal pueda introducir. Cabe destacar que el transductor utilizado es insensible a los efectos de condensación y temperatura y evita la necesidad de una calibración individual previa al ensayo [58]. Sus principales prestaciones se detallan en la Tabla 31.



Figura 52. Imagen del dispositivo Micro 1 [58]

| Micro 1 | |
|---------------------------------|--|
| Pantalla | Pantalla retroiluminada LCD de 128x128 pixeles |
| Sensor | Transductor volumétrico unidireccional |
| Precisión | Según la normativa ATS/ERS: Eur Respir J 2005; 26:319-338 Tabla 6 |
| Dimensiones | 163mm x 61mm x 30.5mm |
| Peso | 154g |
| Alimentación | 2 pilas tipo AAA |
| Duración de la batería | 30 horas |
| Condiciones de operación | Temperatura: +10°C - +35°C |
| | Humedad: 20-80% |
| | Presión: 650-1060 hPa |
| Otras características | Medición parámetros FEV1, FEV6, FVC, ratio FEV1/FEV6, ratio FEV1/FVC, PEF, FEF25-75, FEF75 y FEF25 |

Tabla 31. Principales características del dispositivo Micro 1 [58]

3.6. Pulsioxímetros

El pulsioxímetro, también conocido como oxímetro de pulso o saturómetro, es una herramienta de medida utilizada en hospitales y clínicas para medir el nivel de oxígeno que circula por las arterias. Esta acción permite al médico poder estimar el ritmo cardíaco y la saturación de oxígeno en sangre del paciente mediante una técnica no invasiva.

En el mercado actual se pueden encontrar diversos tipos de pulsioxímetros con características particulares. A continuación, se detallan las principales opciones:

- Pulsioxímetro de muñeca: este dispositivo que consta de una unidad principal, se coloca en la muñeca, de forma equivalente a un Smartwatch, y un sensor, el cual se ubica en el dedo. Ambos componentes suelen estar conectados mediante un cable que cumple una doble finalidad: garantizar la correcta comunicación y supervisar la correcta conexión entre la unidad principal y el sensor. Su aplicación suele reservarse a los centros de sueño para pacientes que sufren apnea del sueño.
- Pulsioxímetro de dedo: este tipo de pulsioxímetro se corresponde con un sensor todo-en-uno que se ubica sobre el dedo índice de la mano para medir el nivel de oxígeno en sangre. Gracias a ser una solución integrada, la información se muestra en tiempo real en la pantalla que presentan. Se caracterizan por su extrema sencillez desde el punto de vista del usuario.
- Pulsioxímetro de sobremesa: en este caso, el dispositivo se corresponde con un instrumento voluminoso y, como principal característica, es que cuenta con un sistema de alerta sonora que alerta al personal clínico cuando el nivel de oxígeno cae por debajo de un cierto umbral. También cuentan con otros sistemas de monitorización como la presión arterial. Por esta razón, este tipo de pulsioxímetro es muy útil para pacientes que deben permanecer en un recinto; véase, por ejemplo, aquellos pacientes ingresados en hospitales o salas de emergencia.
- Pulsioxímetro portátil o de mano: este tipo dispone de una unidad principal y un clip, que efectúa el sensado del nivel de oxígeno. Su principal ventaja es su portabilidad, que lo habilita para ser utilizado en el exterior. Suele ser empleado por pacientes en su domicilio, escaladores de alta montaña o, inclusive, pilotos de aeronaves. En estos dos últimos casos, se emplea para monitorizar una posible disminución en el nivel de oxígeno con el aumento de la altitud.
- Pulsioxímetro pediátrico: se corresponde con un pulsioxímetro de dedo especialmente diseñado para adaptarse a la geometría de los niños. Algunos de estos dispositivos están adaptados para usarse en el dedo del pie o la palma de la mano, con el objetivo de minimizar los posibles errores inducidos del movimiento del paciente.

Tras esta breve revisión de los tipos de pulsioxímetros existentes, se describirán, a continuación, aquellos dispositivos comerciales que presentan mayor interés.

3.6.1. ChoiceMMed MD300C318T BT

Este pulsioxímetro de dedo es capaz de realizar una medida precisa del nivel de oxígeno en sangre y del pulso. Además, los datos del paciente pueden enviarse a un Smartphone, ordenador o Tablet para monitorizarlos de forma remota, gracias a su conexión Bluetooth® [59].



Figura 53. Imagen del dispositivo ChoiceMMed MD300C318T BT [59]

| ChoiceMMed MD300C318T BT | |
|--------------------------------------|--|
| Pantalla | Pantalla OLED de 1.7" |
| Rango de medidas | Saturación: 70-100% |
| | Pulso: 30-235 pulsaciones por minuto |
| Precisión | Saturación: ±3% |
| | Pulso: ±2% |
| Dimensiones | 35mm x 38mm x 56mm |
| Peso | 50g |
| Alimentación | Batería de Li-Ion |
| Duración de la batería | 30 horas |
| Condiciones de operación | Temperatura: +5°C - +40°C |
| | Humedad: <85% |
| Condiciones de almacenamiento | Temperatura: -20°C - +55°C |
| | Humedad: <85% |
| Otras características | Medición de la saturación de oxígeno en sangre, PR, PI y pulso |

Tabla 32. Principales características del dispositivo ChoiceMMed MD300C318T BT [59]

3.6.2. Nonin 9600

Este dispositivo está enfocado para su uso hospitalario o para realizar el seguimiento del paciente en su domicilio. Presenta un sistema de grabación, capaz de almacenar hasta 115 horas seguidas [60]. La Tabla 33 presenta sus características más relevantes.



Figura 54. Imagen del dispositivo Nonin 9600 [60]

| Nonin 9600 | |
|--|---|
| Pantalla | 3 displays 7-segmentos RGB más una barra led para el pulso. |
| Rango de medidas | Saturación: 0-100% |
| | Pulso 18-300 pulsaciones por minuto |
| Longitud de onda y potencia usada | 660nm@0.8mW |
| | 910nm@1.2mW |
| Alarma sonora | 53-74 dBA |
| Dimensiones | 140mm x 184mm x 114mm |
| Peso | 1kg |
| Alimentación | Batería recargable 7.2V o adaptador CA de 12V |
| Duración de la batería | 12 horas uso continuo |
| Condiciones de operación | Temperatura: 0°C - +50°C |
| | Humedad: 10-90% |
| | Altitud: <12000m |
| Condiciones de almacenamiento | Temperatura: -40°C - +70°C |
| | Humedad: 10-95% |
| | Altitud: <12000m |

Tabla 33. Principales características del dispositivo Nonin 9600 [60]

3.6.3. Onyx Vantage 9590

Este es un pulsioxímetro de dedo resistente a golpes, habilitado para un uso continuado durante el día. Cabe destacar que es capaz de almacenar hasta 6000 controles puntuales o hasta 36 horas de información de forma continua [61]. Sus principales características se resumen en la Tabla 34.



Figura 55. Imagen del dispositivo Onyx Vantage 9590 [61]

| Onyx Vantage 9590 | |
|--|-------------------------------------|
| Pantalla | Displays 7-segmentos |
| Rango de medidas | Saturación: 0-100% |
| | Pulso 18-321 pulsaciones por minuto |
| Longitud de onda y potencia usada | 660nm@0.8mW |
| | 910nm@1.2mW |
| Memoria | <36 horas |
| Alimentación | 2 pilas tipo AAA |
| Duración de la batería | 12 horas uso continuo |
| Condiciones de operación | Temperatura: -5°C - +40°C |
| | Humedad: 10-90% |
| | Altitud: <12000m |
| Condiciones de almacenamiento | Temperatura: -40°C - +70°C |
| | Humedad: 10-95% |
| | Altitud: <12000m |

Tabla 34. Principales características del dispositivo Onyx Vantage 9590 [61]

3.6.4. Nonin Palmsat 2500A

Este modelo portátil se caracteriza por su sencillez de operación, rendimiento y durabilidad. Tan sólo presenta dos botones para operar con él, favoreciendo su utilización de forma autónoma por parte del paciente. Este dispositivo es capaz de almacenar hasta 72 horas de datos de forma ininterrumpida. También cuenta con un sistema de alerta [62]. La Tabla 35 recoge sus principales características.



Figura 56. Imagen del dispositivo Nonin Palmsat 2500A [62]

| Nonin Palmsat 2500A | |
|--|---|
| Pantalla | 3 displays 7-segmentos RGB más una barra led para el pulso. |
| Rango de medidas | Saturación: 0-100% |
| | Pulso 18-321 pulsaciones por minuto |
| Longitud de onda y potencia usada | 660nm@0.8mW |
| | 910nm@1.2mW |
| Alarma sonora | 55-70 dBA |
| Memoria | <72 horas continuas |
| Dimensiones | 138mm x 70mm x 32mm |
| Peso | 213g |
| Alimentación | 4 pilas tipo AA |
| Duración de la batería | 60 horas uso continuo |
| Condiciones de operación | Temperatura: -20°C - +50°C |
| | Humedad: 10-95% |
| | Altitud: <12000m |

Tabla 35. Principales características del dispositivo Nonin Palmsat 2500A [62]

3.7. Termómetros

El termómetro es un instrumento de medida que permite estimar de forma precisa la temperatura corporal del paciente. Tradicionalmente, los termómetros utilizados estaban basados en una columna de mercurio, cuya altura se veía modificada en función de la temperatura corporal. Por tanto, asignando una escala graduada, correctamente calibrada, era posible estimar dicha temperatura. Sin embargo, este método está completamente prohibido a día de hoy debido a la alta toxicidad del mercurio. Por tanto, en esta sección sólo se presentarán aquellos termómetros digitales, que, además, permiten una integración muy sencilla en una aplicación de telemedicina.

Los termómetros digitales se caracterizan por presentar una pantalla digital y una sonda permanente, que se encarga de transformar la temperatura en una magnitud eléctrica que pueda ser correctamente procesada. Además, dada la versatilidad de la electrónica y la miniaturización lograda en los últimos años, se corresponden con equipos portátiles de gran precisión, capaces de mostrar datos en diferentes unidades. A continuación, se distinguen los distintos tipos de termómetros digitales existentes:

- Termómetro de oído por infrarrojos: termómetro digital electrónico, que trabaja con una pila de litio, tiene pantalla de lectura. Mide la temperatura mediante la detección en el conducto auditivo de los rayos infrarrojos que emite. Se coloca la punta del termómetro en el oído, se pulsa el botón y en un segundo se obtendrá la temperatura corporal.
- Termómetro de frente: termómetro digital electrónico, que trabaja con una pila de litio, tiene pantalla de lectura. Mide la temperatura colocándolo en la frente con un tiempo de lectura de 5 segundos.

Tras esta breve descripción, se presentarán aquellas soluciones más relevantes que se han encontrado en el mercado.

3.7.1. Fora IR21B

Este termómetro puede usarse tanto para medidas de temperatura corporal, tanto en la frente como en el oído, según las necesidades. También tiene características avanzadas como alertas de fiebre, capacidad de almacenar 10 medidas y transmisor de comunicaciones inalámbricos [63]. A continuación, la Tabla 36 muestra las principales características del termómetro.



Figura 57. Imagen del dispositivo Fora IR21B [63]

| Fora IR21B | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Dimensiones | 162.2mm x 38mm x 32.4mm |
| Peso | 103g |
| Alimentación | 2 pilas tipo AAA |
| Protocolo de comunicaciones | UART/Bluetooth®/Zigbee/USB |
| Rango de temperatura | Oído: +32°C - +43°C |
| | Frente: +23°C - +44°C |
| Resolución | 0.1°C |
| Precisión | Rango +39.1°C - +42.2°C: ±0.3°C |
| | Rango +36°C - +39°C: ±0.2°C |
| | Rango +34°C - +35.9°C: ±0.3°C |
| Unidades de medidas | °C |
| Condiciones de operación | Temperatura: +10°C - +40°C |
| | Humedad: <95% |
| Condiciones de almacenamiento | Temperatura: -20°C - +60°C |
| | Humedad: <95% |
| Memoria | 10 medidas |

Tabla 36. Principales características del dispositivo Fora IR21B [63]

3.7.2. DT-8806



Figura 58. Imagen del dispositivo DT-8806 [64]

Se corresponde con un termómetro que garantiza una lectura estable y precisa de la temperatura corporal sin necesidad de establecer contacto con el cuerpo [64]. La Tabla 37 muestra un resumen de sus principales características.

| DT-8806 | |
|----------------------|---------------------------------|
| Dimensiones | 134mm x 82mm x 43mm |
| Peso | 205g |
| Alimentación | 2 pilas tipo AA |
| Rango de temperatura | Cuerpo: +32°C - +42.5°C |
| | Superficie: 0°C - +60°C |
| Resolución | 0.1°C / 0.1°F |
| Precisión | Rango +39.1°C - +42.5°C: ±0.3°C |
| | Rango +36°C - +39°C: ±0.2°C |
| | Rango +34°C - +35.9°C: ±0.3°C |
| Unidades de medidas | °C / °F |

Tabla 37. Principales características del dispositivo DT-8806 [64]

3.7.3. SureTemp Plus 690

El termómetro SureTemp Plus 690 se caracteriza por presentar un sistema rápido y preciso para estimar la temperatura corporal. A su vez, dispone de hasta 25 posiciones de memoria para almacenar las medidas efectuadas [65]. Sus características principales se resumen en la Tabla 38.



Figura 59. Imagen del dispositivo SureTemp Plus 690 [65]

| SureTemp Plus 690 | |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| Dimensiones | 215mm x 81mm x 62mm |
| Peso | 357g |
| Rango de temperatura | +26.7°C - +43.3°C |
| Resolución | 0.1°C |
| Precisión | Rango +39.1°C - +42.2°C: ±0.3°C |
| | Rango +36°C - +39°C: ±0.2°C |
| | Rango +34°C - +35.9°C: ±0.3°C |
| Unidades de medidas | °C |
| Condiciones de operación | Temperatura: -25°C - +55°C |
| | Humedad: <95% |
| | Altitud: 170 – 4877 m |
| Condiciones de almacenamiento | Temperatura: -25°C - +55°C |
| | Humedad: 15-95% |
| | Altitud: 170 – 4877 m |
| Memoria | 25 medidas |

Tabla 38. Principales características del dispositivo SureTemp Plus 690 [65]

3.7.4. Braun Thermoscan PRO 600

Este termómetro está preparado para adquirir medidas de la temperatura corporal en el oído. Entre sus características, es necesario destacar que incorpora un algoritmo para detectar el correcto posicionamiento del termómetro durante la medida [66]. La Tabla 39 recoge sus principales características.



Figura 60. Imagen del dispositivo Braun Thermoscan PRO 600 [66]

| Braun Thermoscan PRO 600 | |
|--------------------------------------|--|
| Dimensiones | 152mm x 44mm x 33mm |
| Peso | 100g |
| Alimentación | 2 pilas tipo AA o una batería recargable |
| Rango de temperatura | 20.0°C – 42.2°C |
| Resolución | 0.1°C |
| Precisión | Rango +35.0°C - +42.0°C: ±0.2°C |
| Unidades de medidas | °C |
| Condiciones de operación | Temperatura: +10°C - +40°C |
| | Humedad: <95% |
| Condiciones de almacenamiento | Temperatura: -25°C - +55°C |
| | Humedad: 15-95% |

Tabla 39. Principales características del dispositivo Braun Thermoscan PRO 600 [66]

3.8. Conclusiones

Tras analizar los distintos dispositivos de cada categoría, podemos concluir que existen diversas posibilidades para cada medida clínica para las distintas situaciones de los pacientes. Hemos podido observar que para cada dispositivo de cada categoría existen diversos tipos de conexiones y protocolos de comunicación que nos abre un amplio abanico de posibilidades para nuestro proyecto.

A continuación, en el último apartado vamos a recopilar las distintas normativas y leyes que se aplican a los ámbitos de la telemedicina, así como normas más específicas para el uso de los distintos dispositivos electrónicos que vamos a usar en el proyecto.

4. CERTIFICACIONES Y NORMATIVA PARA EL USO DE LAS TIC EN TELEMEDICINA

Tras haber presentado anteriormente los protocolos de comunicación que se utilizan en los distintos entornos sanitarios y los dispositivos sensores usados para obtener datos clínicos de los pacientes, en este apartado vamos a indicar la normativa que deben cumplir ambos para su correcto uso en el ámbito de la salud y la telemedicina [67].

En primer lugar, hay que destacar que, tras la puesta en marcha definitiva de la nueva Ley Orgánica de Protección de Datos (LOPD), por medio de la cual se adaptarán las disposiciones del Reglamento UE 2016/679 (Reglamento Europeo de Protección de Datos –RGPD), aplicable desde el pasado 25 de mayo de 2018 se ha integrado dentro de la categoría de datos de salud los datos genéticos y biométricos, y todos ellos se califican como datos de naturaleza especial, y por tanto sujetos a unas condiciones más restrictivas en cuanto a su uso [68].

La Directiva 2011/24/UE [69], relativa a los derechos de los pacientes en la asistencia sanitaria transfronteriza aclara los derechos de los pacientes a recibir atención sanitaria transfronteriza, incluso a distancia mediante la telemedicina.

La telemedicina permite mejorar el acceso a la atención médica especializada en zonas donde no hay suficientes especialistas o existen dificultades de acceso. No es un nuevo acto médico y no intenta reemplazar a los métodos tradicionales de prestación de asistencia sanitaria como por ejemplo las consultas cara a cara. Más bien representa una manera novedosa de facilitar servicios de asistencia sanitaria que pueden complementar y potencialmente ampliar la calidad y eficiencia de los métodos tradicionales tal y como ha sido reconocido recientemente en la Directiva 2001/24/UE, sobre derechos de los pacientes en la asistencia sanitaria transfronteriza.

La telemedicina implica la transmisión segura de datos e información médica a través de texto, sonido, imágenes u otras formas necesarias para la prevención, el diagnóstico, el tratamiento y la vigilancia del paciente y en este sentido cobran especial importancia las reglas éticas y profesionales relativas a la prestación de este tipo de servicios.

Los Estados miembros son responsables de la organización, gestión y financiación de sus sistemas sanitarios y, por tanto, de hacer realidad los servicios de telemedicina para sus ciudadanos. Según la Directiva 2001/24/UE, no se consideran servicios de telemedicina:

- Los portales de información sobre la salud.
- La venta de medicamentos online.
- Los sistemas electrónicos de historiales médicos.
- La transmisión electrónica de recetas.
- La remisión electrónica de pacientes.

Tampoco se aplica la Directiva 2005/36/CE [70], sobre cualificaciones profesionales, a los profesionales sanitarios que ofrecen servicios de telemedicina.

Debido a su naturaleza y características, nos encontramos que, por una parte, la telemedicina es un servicio sanitario y, por otra, es un servicio de la sociedad de la información, por lo que se

rige por el principio de libre prestación de servicios, por la normativa de comercio electrónico y por la Directiva de derechos de los pacientes en la asistencia sanitaria transfronteriza.

La telemedicina como servicio de asistencia sanitaria, está regulado en:

- Artículos 56 y 57 del **Tratado de Funcionamiento de la UE** [71] ya que, al ser un servicio, queda dentro de ámbito de estos artículos del Tratado.
- **Directiva 2011/24/UE** [69], sobre derechos de los pacientes en la asistencia sanitaria transfronteriza.

La telemedicina como servicio de la sociedad de la información, está regulada en:

- **Directiva 2000/31/CE** [72], sobre comercio electrónico.
- **Directiva 98/34/CE** [73], sobre servicios de la sociedad de la información.

Según la definición dada por estas dos últimas directivas la telemedicina es un servicio:

- Remunerado.
- A distancia.
- Por medios electrónicos.
- A solicitud individual.
- Se rige por el principio de país de origen.

Existen diversos aspectos claves en cuanto a la normativa establecida para el uso de la telemedicina.

1. Los derechos de los pacientes que reciben asistencia sanitaria transfronteriza, incluyendo la telemedicina, se regulan en la Directiva 2011/24/UE. Estos derechos incluyen:
 - Recibir tratamiento en otro Estado miembro y ser reembolsado bajo ciertas condiciones.
 - Tener acceso a una copia de su historial médico por escrito o por medios electrónicos.
2. En la mayoría de los Estados miembros de la UE, el registro de los profesionales de la salud que prestan servicios de telemedicina es el que se establece para el ejercicio profesional y el control deontológico. Se asume que los prestadores de servicios de telemedicina cumplen con los requisitos de ejercicio profesional del Estado miembro en el que estén establecidos.
3. De acuerdo con la jurisprudencia del Tribunal de Justicia, debe darse una interpretación amplia a la noción de *dato relativo a la salud*, en la que se incluyan todos los aspectos tanto físicos como mentales de la salud del individuo
4. La responsabilidad puede ser de naturaleza profesional (médica) o debida a un producto defectuoso. La UE solo armoniza las reglas relativas a la responsabilidad por productos defectuosos.

La anterior normativa se refiere al uso de la telemedicina en general como servicio sanitario y como servicio de la sociedad de la información, pero a su vez, los dispositivos que se utilizan

para el despliegue de la telemedicina deben cumplir unos estándares y normativa relativa a su uso en entornos sanitarios.

Los dispositivos electrónicos que se usan en el entorno sanitario tienen una normativa mucho más restrictiva que en el uso cotidiano o personal, ya que su eficacia y precisión son claves para un correcto diagnóstico de los posibles problemas sanitarios del paciente.

A continuación, mostramos la normativa más relevante en cuanto al uso de dispositivos en entornos sanitarios:

- Normativa **UNE-EN ISO 15223-1:2017** [74]: esta norma es la que establece los símbolos gráficos que se utilizan en las etiquetas y la información a suministrar de productos sanitarios y dispositivos electrónicos en entornos relacionados con la salud. Su fecha de edición es el 12 de noviembre de 2008 y anula a la normativa anterior UNE-EN 980:2008 [75].
- Normativa **UNE-EN 1041:2009+A1:2014** [76]: esta norma establece la Información proporcionada por el fabricante de productos sanitarios. Su fecha de edición es el 5 de marzo de 2014. Anula a la anterior norma UNE-EN 1041:2009 [77].
- Normativa **UNE-EN 1060-1:1996+A2:2010** [78]: esta normativa es específica para los requisitos generales de los esfigmomanómetros no invasivos. Su fecha de edición es 25 de noviembre de 2002 y anula a la anterior norma UNE-EN 1060-1/A1:2002 [79].
- Norma **PNE-prEN ISO 10993-1** [80]: esta normativa es relativa a la evaluación biológica de productos sanitarios. (Evaluación y ensayos mediante un proceso de gestión del riesgo). Entra en vigor en 2008 y anula a la normativa anterior UNE-EN ISO 10993-1:2010 [81].
- Normativa **UNE-EN ISO 10993-5:2009** [82]: establece los ensayos de citotoxicidad in vitro en la evaluación biológica de productos sanitarios. Su fecha de edición es 9 de diciembre de 2009.
- Normativa **UNE-EN ISO 10993-10:2013** [83]: establece los ensayos de irritación y sensibilización cutánea en la evaluación biológica de productos sanitarios. Su fecha de edición es 20 de noviembre de 2013 y anula a la anterior norma UNE-EN ISO 10993-10:2011 [84].
- Normativa **UNE-EN ISO/IEC 27001:2017** [85]: esta norma establece las técnicas de seguridad y los sistemas de gestión para las Tecnologías de la información, así como sus requisitos. Su fecha de edición es el 24 mayo de 2017 y anula a la anterior normativa UNE-ISO/IEC 27001:2007 [86].
- Normativa **UNE-EN 60601-1:1993** [87]: es la norma que establece los requisitos generales para la seguridad de los equipos electromédicos. Su fecha de edición es 18 de mayo de 1993 y es complementaria a la norma UNE-EN 60601-1:2008 [88].
- Normativa **UNE-EN 60601-2-1:2017** [89]: establece los requisitos particulares para la seguridad básica de los equipos electromédicos y el funcionamiento esencial de los aceleradores de electrones en el rango de 1 MeV a 50 MeV. Su fecha de edición es el 14 de junio de 2017 y debe ser leída junto a la norma PNE-prEN 60601-2-1:2017 [90].
- Normativa **UNE-EN 60601-1-4/A1:2000** [91]: establece los requisitos generales para la seguridad de los equipos electrónicos que sean considerados como sistemas

electromédicos programables. Su fecha de edición es 30 de octubre de 2000 y debe ser leída junto a la norma UNE-EN 60601-1-4:1997 [92].

- Normativa **IEC 62304:2006/A1:2015** [93]: norma relativa al software de dispositivos médicos y a su ciclo de vida. Su fecha de edición es el 30 de junio de 2016.
- Normativa **UNE-EN 62366-1:2015** [94]: regula la aplicación de la ingeniería de aptitud de uso a los dispositivos médicos. Su fecha de edición es el 23 de octubre de 2015. Debe ser leída junto a la norma UNE-EN 62366-1:2015/AC:2015 [95] y anula a la norma UNE-EN 62366:2009 [96].

Por último y para finalizar este capítulo, hay que tener en cuenta que las normativas anteriormente citadas son las generales relativas a los dispositivos electrónicos en entornos sanitarios, pero puede que algún dispositivo con ciertas características especiales deba cumplir otras normas en cuanto a su uso o calibración.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] EEUU Government, "Medicare," *EEUU Government*. [Online]. Available: <https://www.medicare.gov>.
- [2] Clinic Cloud, "Telemedicina," *Clinic Cloud*, 2016. [Online]. Available: <https://clinic-cloud.com/blog/que-es-telemedicina-definicion-tipos/>.
- [3] D. Rodriguez Acevedo, "Ventajas y desventajas de la telemedicina," *Telemedicina Daniela Rodriguez Acevedo*, 2013. [Online]. Available: <http://telemedicinadanielarodriguezacevedo.blogspot.com/2013/03/ventajas-y-desventajas-de-la.html>.
- [4] N. Hernandez, "Historia de la Telemedicina," *Telemedicina Nawel Hernandez*, 2009. [Online]. Available: http://nawelhernandez.blogspot.com/2009/04/historia-de-la-telemedicina_16.html.
- [5] Clinic Cloud, "Historia de la Telemedicina," *Clinic Cloud*, 2016. [Online]. Available: <https://clinic-cloud.com/blog/historia-de-la-telemedicina/>.
- [6] Redacción Médica, "La historia clínica en España," *Redacción Médica*, 2017. [Online]. Available: <https://www.redaccionmedica.com/secciones/parlamentarios/la-historia-clinica-en-espana-35-7-millones-digitales-11-millones-fisicas-7937>.
- [7] Hospitecna, "Demora Cero," *Hospitecna*, 2012. [Online]. Available: <http://hospitecna.com/servicios-hospitalarios/el-hospital-de-baza-inicia-el-proyecto-de-telemedicina-demora-cero-para-consultas-de-especialistas/>.
- [8] A. Carriazo, "Proyecto PALANTE," *Consejería de Salud*, 2012. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/innovandoenjueves04/04-ie-j-tm03palante>.
- [9] J. Suárez, "Plataforma de monitorización remota para rehabilitación cardíaca," *Proyectos del Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla*, 2012. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/innovandoenjueves04/04-ie-j-tm06telemonitorizacin>.
- [10] J. Suárez, "Equilink," *Proyectos del Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla*, 2012. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/innovandoenjueves04/04-ie-j-tm12equilink>.
- [11] J. I. Coll and R. Anglés, "Proyecto PITES," *Servicio Aragonés de Salud*, 2012. [Online]. Available: https://www.fundacioncaser.org/sites/default/files/servicioaragones_collyangles_web.pdf.
- [12] F. Jodar, A. Martinez, and C. Parra, "Proyecto PITES," *Hospital Universitario Virgen del Rocío*, 2012. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/innovandoenjueves04/04-ie-j-tm11muro-clnico>.
- [13] C. Parra, A. Martinez, and F. Jodar, "Proyecto AAL," *Hospital Universitario Virgen del Rocío*, 2009. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/innovandoenjueves04/04-ie-j-tm10-hh-telesalud>.

- [14] P. Pérez, "Proyecto AtlanTIC," *La Razón*, 2016. [Online]. Available: <https://www.larazon.es/atusalud/ciencia/atlantic-teleasistencia-sociosanitaria-en-andalucia-AA13026240>.
- [15] IEEE, "Estandar 802.3," *IEEE*, 2015. [Online]. Available: <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>.
- [16] EcuRed, "Ethenet," *EcuRed*. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Ethernet>.
- [17] TextosCientificos, "Ethernet," *TextosCientificos*. [Online]. Available: <https://www.textoscientificos.com/redes/ethernet>.
- [18] J. Pelkey, "DIX," *History of Computer Communications*. [Online]. Available: [http://www.historyofcomputercommunications.info/Book/9/9.3-DIX_DigitalEquipmentCorporationIntelXerox\)1979-1980.html](http://www.historyofcomputercommunications.info/Book/9/9.3-DIX_DigitalEquipmentCorporationIntelXerox)1979-1980.html).
- [19] Wikipedia, "Características BusCAN," *Wikipedia*. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Bus_CAN.
- [20] Wikipedia, "Profibus," *Wikipedia*. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Profibus>.
- [21] Wikipedia, "Modbus," *Wikipedia*. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Modbus>.
- [22] Wikipedia, "USB," *Wikipedia*. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus.
- [23] J. A. Barros, "Ventajas Inalambricas," *Compartir WiFi*. [Online]. Available: <http://www.compartirwifi.com/blog/tecnologias-inalambricas-en-constante-evolucion-wifi-wimax-y-bluetooth/>.
- [24] EcuRed, "WiFi Historia," *EcuRed*. [Online]. Available: https://www.ecured.cu/Tecnología_Wi-Fi.
- [25] Wikipedia, "Protocolos WiFi," *Wikipedia*. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11.
- [26] Wikipedia, "Arquitectura WLAN," *Wikipedia*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN.
- [27] Wikipedia, "Distintas Características de Seguridad y Ventajas de WiFi," *Wikipedia*. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wifi>.
- [28] A. Mapleridge, "Características e Historia de la tecnología Bluetooth," *Techlandia*. [Online]. Available: https://techlandia.com/caracteristicas-tecnologia-bluetooth-sobre_515340/.
- [29] Wikipedia, "Historia del logo Bluetooth," *Wikipedia*. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>.
- [30] MASMovil, "Evolucion Movil," *Blog MASMovil*. [Online]. Available: <https://blog.masmovil.es/la-evolucion-de-la-tecnologia-movil-1g-2g-3g-4g/>.
- [31] U. I. de Valencia, "Generaciones Movil," *Universidad Internacional de Valencia*. [Online]. Available: <https://www.universidadviu.es/evolucion-la-red-comunicacion->

movil-del-1g-al-5g/.

[32] ADSLZone, "Futuro 5G," *ADSLZone*. [Online]. Available: <https://www.adslzone.net/2014/11/20/la-evolucion-de-las-redes-moviles-hasta-el-5g/>.

[33] Medium, "Clases en LoRaWAN," *Medium*. [Online]. Available: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-2-tipos-y-clases-de-nodos-3856aba0e5be/>.

[34] Medium, "Arquitectura en LoRaWAN," *Medium*. [Online]. Available: <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-1-que-es-lora-y-lorawan-8c08d44208e8>.

[35] Wikipedia, "Definición de ZigBee," *Wikipedia*. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Zigbee>.

[36] EcuRed, "Historia ZigBee," *EcuRed*. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/ZigBee>.

[37] AccentSystems, "NBloT," *AccentSystems*. [Online]. Available: <https://accent-systems.com/es/nb-iot/>.

[38] O. Gbenga, "Techniques of blood pressure measurement," *NCBI*, 2013. [Online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3639494/>.

[39] Omron, "Tensiómetro Omron HBP 1300," *Quirumed*. [Online]. Available: <https://www.quirumed.com/es/tensio metro-profesional-omron-hbp-1300-de-brazo.html>.

[40] Omron, "Esfigmomanómetro Omron 708-BT," *Medaval*. [Online]. Available: <https://medaval.ie/device/omron-708-bt-hem-7081-ite/>.

[41] "Tensiómetro A&D Medical UA-767PBT," *AND*. [Online]. Available: https://www.aandd.jp/products/manual/medical/ua767pbtci_es.pdf.

[42] Beurer, "Beurer BM 95," *Beurer*. [Online]. Available: https://www.beurer.com/web/es/products/bloodpressure/upper_arm/BM-95.

[43] Omron, "Omron BF 511," *Omron*. [Online]. Available: <https://www.omron-healthcare.com/en/support/manuals/download/bf511-hbf-511-e-es>.

[44] Beurer, "Beurer BF100," *Beurer*. [Online]. Available: <https://www.beurer.com/web/es/products/Beurer-Connect/HealthManager-Products/BF-100-Body-Complete>.

[45] "A&D MEDICAL AD-6121ABT1," *AND*. [Online]. Available: <https://www.aandd.jp/products/medical/scale/ad6121a.html>.

[46] Omron, "Omron BF206-BT," *Physiosupplies*. [Online]. Available: <https://www.physiosupplies.eu/omron-bf-206bt-body-composition-monitor-with-bluetooth>.

[47] Omron, "Omron Walking Style One 2.1," *Quirumed*. [Online]. Available: <https://www.quirumed.com/es/podometro-omron-walking-style-one-2-1-memoria-datos-de-7-dias.html>.

[48] Yamax, "Yamax SW800-SW801," *Yamax*. [Online]. Available:

<https://www.yamax.co.uk/yamax-pedometers/sw800-sw801-digi-walker/>.

[49] Tech4o, "Tech4o," *Versus*. [Online]. Available: <https://versus.com/es/tech4o-discover-gps>.

[50] Omron, "Omron Walking Style IV," *Wellnessproducts*. [Online]. Available: <https://www.wellnessproducts.ch/?page=2139&lan=en&id=269>.

[51] FreeStyle, "Abbott Freestyle Freedom Lite," *FreeStyle*. [Online]. Available: <https://www.myfreestyle.com/es/freestyle-freedom-lite-meter>.

[52] Arkray, "Glucocard 01," *Arkray*. [Online]. Available: <http://www.arkrayusa.com/diabetes-management/consumer-care/diabetes-testing-supplies/glucocard-01>.

[53] EntraHealthSystems, "MyGlucoHealth Wireless," *EntraHealthSystems*. [Online]. Available: <http://www.myglucohealth.org/myglucohealth-wireless.html>.

[54] Ascensia, "Bayer Contour XT," *Ascensia*. [Online]. Available: <https://www.diabetes.ascensia.es/products/contour-xt/>.

[55] ERT, "ERT AM1+," *ERT*. [Online]. Available: <https://www.ert.com/safety-efficacy/respiratory/>.

[56] Vitalograph, "Vitalograph 4000 COPD6 BT," *Vitalograph*. [Online]. Available: <https://vitalograph.com/product/162427/copd-6-bt>.

[57] MIR, "MIR SmarOne Bluetooth-to-Phone," *MIR*. [Online]. Available: <https://www.spirometry.com/eng/products/smartone.asp>.

[58] Micro, "Micro1," *MedicalExpo*. [Online]. Available: <http://www.medicalexpo.es/prod/carefusion/product-75330-502118.html>.

[59] SimpleEye, "ChoiceMMed MD300C318T BT," *SimpleEye*. [Online]. Available: <https://simpleeye.com/devices/choicemmed-md300c318/>.

[60] Nonin, "Nonin 9600," *Nonin*. [Online]. Available: <http://www.nonin.com/Avant9600>.

[61] Nonin, "Onyx Vantage 9590," *Nonin*. [Online]. Available: <http://www.nonin.com/Finger-Pulse-Oximeter/Onyx-Vantage-9590>.

[62] Nonin, "Nonin Palmsat 2500A," *Nonin*. [Online]. Available: <http://www.nonin.com/PalmSAT2500>.

[63] ForaCare, "Fora IR21B," *ForaCare*. [Online]. Available: <http://www.foracare.ch/Meter-IR21.html>.

[64] IndustriasAsociadas, "DT-8806," *IndustriasAsociadas*. [Online]. Available: <http://www.industriasociadas.com/producto/termometro-clinico-dt-8806h/>.

[65] WelchAllyn, "SureTemp Plus 690," *WelchAllyn*. [Online]. Available: <https://www.welchallyn.com/en/products/categories/thermometry/oral-axillary-rectal-thermometers/suretemp-plus-690.html>.

- [66] WelchAllyn, "Braun Thermoscan PRO 600," *WelchAllyn*. [Online]. Available: <https://www.welchallyn.com/en/products/categories/thermometry/ear-thermometers/braun-thermoscan-pro-6000.html>.
- [67] J. Villegas-Flores, "Acceso a los Datos de Salud," *Govertis*, 2018. [Online]. Available: <http://www.govertis.com/el-acceso-a-los-datos-de-salud-segun-el-reglamento-europeo-de-proteccion-de-datos>.
- [68] Organización Médica Colegial de España, "Marco Legal Telemedicina," *Organización Médica Colegial de España*, 2018. [Online]. Available: http://www.cgcom.es/europa_al_dia/2013/390.
- [69] UE, "Directiva 2011/24/UE," *UE*, 2011. [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2011/088/L00045-00065.pdf>.
- [70] UE, "DIRECTIVA 2005/36/CE," *UE*, 2005. [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2005/255/L00022-00142.pdf>.
- [71] UE, "TFUE," *UE*, 2010. [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2010/083/Z00047-00199.pdf>.
- [72] UE, "Directiva 2000/31/CE," *UE*, 2000. [Online]. Available: <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/eu/eu107es.pdf>.
- [73] UE, "Directiva 98/34/CE," *UE*, 1998. [Online]. Available: http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/11249/mod_resource/content/1/DIRECTIVA_98_34_CE.pdf.
- [74] AENOR, "UNE-EN ISO 15223-1:2017," *AENOR*, 2017. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0058117&pdf=#.Wy6QNKczaUk>.
- [75] AENOR, "UNE-EN 980:2008," *AENOR*, 2008. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042072#.Wy6QH6czaUI>.
- [76] AENOR, "UNE-EN 1041:2009+A1:2014," *AENOR*, 2014. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0052627&pdf=#.Wy6QtaczaUI>.
- [77] AENOR, "UNE-EN 1041:2009," *AENOR*, 2009. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042705&pdf=#.Wy6Qt6czaUk>.
- [78] AENOR, "UNE-EN 1060-1:1996+A2:2010," *AENOR*, 2010. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0045119#.Wy6Ee6czaUk>.
- [79] AENOR, "UNE-EN 1060-1/A1:2002," *AENOR*, 2002. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0027992&pdf=#.Wy6Q1qczaUk>.
- [80] AENOR, "PNE-prEN ISO 10993-1," *AENOR*, 2017. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=P&codigo=P004782>

1&pdf=#.Wy6RtKczaUk.

[81] AENOR, "UNE-EN ISO 10993-1:2010," *AENOR*, 2009. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0045143#.Wy6EmKczaUk>.

[82] AENOR, "UNE-EN ISO 10993-5:2009," *AENOR*, 2009. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0044389#.Wy6EnKczaUk>.

[83] AENOR, "UNE-EN ISO 10993-10:2013," *AENOR*, 2010. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0052192#.Wy6EoqczaUk>.

[84] AENOR, "UNE-EN ISO 10993-10:2011," *AENOR*, 2010. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046848&pdf=#.Wy6SlqczaUk>.

[85] AENOR, "UNE-EN ISO/IEC 27001:2017," *AENOR*, 2017. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0058428&pdf=#.Wy6UwqczaUk>.

[86] AENOR, "UNE-ISO/IEC 27001:2007," *AENOR*, 2007. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0040067#.Wy6Er6czaUk>.

[87] AENOR, "UNE-EN 60601-1:1993," *AENOR*, 1993. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0012238&pdf=#.Wy6WVqczaUk>.

[88] AENOR, "UNE-EN 60601-1:2008," *AENOR*, 2008. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0041083&pdf=#.Wy6WXaczaUk>.

[89] AENOR, "UNE-EN 60601-2-1:2017," *AENOR*, 2017. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0058483#.Wy6EzaczaUk>.

[90] AENOR, "PNE-prEN 60601-2-1:2017," *AENOR*, 2017. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=P&codigo=P0049091&pdf=#.Wy6U26czaUk>.

[91] AENOR, "UNE-EN 60601-1-4/A1:2000," *AENOR*, 2000. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0023486#.Wy6E4qczaUk>.

[92] AENOR, "UNE-EN 60601-1-4:1997," *AENOR*, 1997. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0012248&pdf=#.Wy6U5aczaUk>.

[93] AENOR, "IEC 62304:2006/A1:2015," *AENOR*, 2016. [Online]. Available: http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=NCEI&codigo=TI_TI PO=IEC@NU_CODIGO=62304@NU_PARTE=0@NU_SUBPARTE=0@TX_RESTO=:2006/A1:2015#.Wy6E8aczaUk.

[94] AENOR, "UNE-EN 62366-1:2015," *AENOR*, 2015. [Online]. Available:

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0054839&pdf=#.Wy6YqKczaUk>.

[95] AENOR, "UNE-EN 62366-1:2015/AC:2015," *AENOR*, 2016. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0056074&pdf=#.Wy6ZGqczaUk>.

[96] AENOR, "UNE-EN 62366:2009," *AENOR*, 2009. [Online]. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0042731&pdf=#.Wy6ZlaczaUk>.

[97] Radio News, "Radio News Radio Doctor," *MagazineArt*, 2011. [Online]. Available: <http://www.magazineart.org/main.php/v/technical/radionews/Radio+News+1924-04.jpg.html>.

[98] GSM Spain, "Tarjetas Sanitarias," *GSM Spain*, 2014. [Online]. Available: https://www.gsmSpain.com/foros/h1291751_Off-topic-Taberna_17-tarjetas-sanitarias-ojo-modelo-catalana.html.

[99] Diabetes News, "Proyecto PALANTE," *Diabetes News*, 2015. [Online]. Available: <http://www.canaldiabetes.com/wp-content/uploads/2015/05/Captura-de-pantalla-2015-05-14-a-las-12.20.16-537x242.png>.

[100] NUUBO, "Camiseta Inteligente," *NUUBO*, 2012. [Online]. Available: <https://www.nuubo.com/producto>.

[101] Kullabs, "Arquitecturas," *Kullabs*. [Online]. Available: <https://kullabs.com/classes/subjects/units/lessons/notes/note-detail/1098>.

[102] A. Midori, "Arquitectura Nube," *Smallbiz Technology*, 2011. [Online]. Available: <http://www.smallbiztechnology.com/archive/2011/08/office-365-outage-shouldnt-affect-you-2-productivity-suites-alternatives.html/>.

[103] A. Medrano, "Protocolos de Comunicación Médicos," *GITHub*, 2015. [Online]. Available: <https://github.com/universAAL/lddi/wiki/ISO-11073-standards-family>.

[104] EstudiarTeleco, "Notacion IEEE 802.3," *EstudiarTeleco*, 2011. [Online]. Available: <https://estudiateleco.wordpress.com/2011/03/10/estandar-ethernet/>.

[105] Ethernet: CSMA/CD, "Diagrama de Flujo CSMA/CD," *Ethernet: CSMA/CD*. [Online]. Available: <http://slideplayer.com/slide/5112858/>.

[106] A. 1213 C. G8, "Trama DeviceNet," *AUIN 1213 Comunicacions G8*. [Online]. Available: http://147.83.158.184/esaiiki/index.php?title=AUIN_1213_Comunicacions_G8&mobileaction=toggle_view_mobile.

[107] J. M. N., "ConectoresUSB," *TodoTecnologiaESO*. [Online]. Available: <https://todotecnologia-eso.blogspot.com/2017/09/bus-usb.html>.

[108] W.-F. Alliance, "Logo de Wi-Fi Alliance," *Wi-Fi Alliance*. [Online]. Available: <https://www.wi-fi.org/>.

[109] Intelligraphics, "WiFiCertified," *Intelligraphics*. [Online]. Available: <http://intelligraphics.com/wi-fi-certified-drivers-and-testing/>.

- [110] Tecnocompras, "Versiones WiFi," *Tecnocompras*. [Online]. Available: <https://www.tecnocompras.com.co/news/el-nuevo-802-11ah-conoce-todo-sobre-wi-fi-halow/>.
- [111] K. Miranda Robledo, "Modo AD-HOC," *Karla Miranda Robledo Blog*. [Online]. Available: <http://karlamirandarobledo.blogspot.com/2011/03/topologias-inalambricas.html>.
- [112] CCM, "Modo EBSS," *CCM*. [Online]. Available: <https://es.ccm.net/contents/791-como-implementar-una-red-wifi-estandar-802-11>.
- [113] Maravento, "Interferencias," *Maravento*. [Online]. Available: <https://www.maravento.com/2014/04/interferencias-wifi-y-no-wifi.html>.
- [114] S. Grady, "Origenes de Bluetooth," *Helix*. [Online]. Available: <https://helix.northwestern.edu/blog/2017/06/origin-stories-bluetooth>.
- [115] P. Stirparo and J. Loeschner, "Secure Bluetooth for Trusted m-Commerce," *Int'l J. Commun. Netw. Syst. Sci.*, vol. 6, p. 277, 2013.
- [116] A. Ponce, "Logo GPRS," *Tecnosinergia*. [Online]. Available: <https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/236174548--Que-es-GPRS->.
- [117] H. Blog, "Comparativa Movil," *HiperMegaRed Blog*. [Online]. Available: <http://www.hipermegared.net/cuadro-comparativo-de-conexiones-a-internet-de-redes-moviles/>.
- [118] J. Dvorak, "Capa Fisica 802.15.4," *Motorola*. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/SHUBHAMMORGAONKAR/802-154-tutorial>.
- [119] C. Rodríguez-Morcillo, "TopologiasZigBee," *Revista Anales*. [Online]. Available: https://revista-anales.icaei.es/web/n_16/seccion_3.html.
- [120] MicroNova, "Arquitectura NBloT," *MicroNova*. [Online]. Available: <https://www.micronova.de/en/netzmanagement/digital-transformation-narrow-band-iot.html>.



DATOS DE CONTACTO

Fernando Muñoz Chavero
Manuel Alberto Moreno García



fmunoz@us.es

mmoreno@gie.us.es



Grupo de Ingeniería Electrónica – Departamento de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingenierías – Universidad de Sevilla
41092 Camino de los Descubrimientos s/n - Isla de la Cartuja – Sevilla

