

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Diseño y Desarrollo Software para la Gestión de
Sensores Biomédicos basado en la Norma X73

Autor: Alejandro Molina Rivero

Tutores: Luis Javier Reina Tosina

David Naranjo Hernández

Dep. Teoría de la Señal y Comunicaciones
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Diseño y Desarrollo Software para la Gestión de Sensores Biomédicos basado en la Norma X73

Autor:

Alejandro Molina Rivero

Tutores:

Luis Javier Reina Tosina

David Naranjo Hernández

Dep. de Teoría de la Señal y Comunicaciones

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Diseño y Desarrollo Software para la Gestión de Sensores Biomédicos basado en la Norma X73

Autor: Alejandro Molina Rivero

Tutores: Luis Javier Reina Tosina

David Naranjo Hernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis padres y a mi hermana, que siempre han sido los pilares sobre los que se apoyan las decisiones más importantes que he tomado a lo largo de mi vida. Sin su confianza plena y su cariño nada habría sido posible.

A Helena, mi compañera, porque sin su calor constante y su apoyo incondicional este trabajo estaría aún muy lejos de ser realizado y por sacrificar su tiempo en favor de mis intereses académicos.

A mis amigos por levantarme después de cada caída. Soy una persona mucho más segura con vosotros cerca.

A Jorge, por su tozudez y su extrema entrega en todo que hace; y a Juan Pablo, por su visión, sinceridad y perfeccionismo. Por mostrarme todo lo bueno de vosotros para hacerme mejor, por esos momentos y por el amor desinteresado.

A Juan Mancilla Montero y a Javier Fernández Heras por la sinceridad, la justicia y por la manera de abrir el alma a la hora de enseñar. La educación es mejor gracias a vosotros.

A mi tutor, Luis Javier Reina Tosina, por su entera disponibilidad a pesar de su apretada agenda y empujarme a seguir adelante con todo. También a David Naranjo Hernández, que me ha abierto la puerta del laboratorio con una sonrisa siempre ofreciéndome toda la ayuda y consejos que he necesitado.

A los compañeros y profesores de la Universidad de Sevilla que han formado parte de toda mi formación académica superior.

Alejandro Molina Rivero

Sevilla, Septiembre 2020

Cada vez se desarrollan más dispositivos capaces de obtener medidas relacionadas con la salud que tienen la necesidad de transmitir la información a sistemas con mayor capacidad de computación para el análisis de datos con el fin de permitir el diagnóstico de enfermedades, la prevención de situaciones de riesgo o la propia gestión de la enfermedad.

El problema que se presenta en este ámbito es la falta de normalización en la comunicación de la información obtenida por los sensores. El estudio de la situación actual de la Norma IEEE 11073 (en adelante referida también como X73) es determinante a la hora de acercarse a una solución factible que resuelva el problema de la interoperabilidad entre dispositivos. Igualmente, conocer el estado del arte tanto del estándar Bluetooth de Baja Energía (BLE, del inglés *Bluetooth Low Energy*) como de su compatibilidad con el modelo de datos de X73, constituye el primer acercamiento al asunto en cuestión y sienta las bases de este trabajo.

La presente propuesta pretende determinar las directrices que permitan la implementación de un software para la gestión de sensores biomédicos y garantizar la comunicación, de acuerdo con la Norma IEEE 11073, de manera exitosa entre el sensor y el dispositivo que procesará los datos. Concretamente, el diseño propuesto transfiere la información estructurada según la Norma X73 sobre un canal BLE, para un monitor de bioimpedancia diseñado por investigadores del Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Sevilla, en el que se ha desarrollado el presente Trabajo Fin de Grado.

Con la estandarización de este proceso se persigue dotar de consistencia y coherencia a este tipo de comunicaciones; de manera que cualquier dispositivo biomédico, emisor o receptor, sea capaz de enviar o recibir información conforme a un modelo común independientemente de su fabricante.

El diseño de este módulo de comunicaciones conforme a la Norma IEEE 11073 abre la puerta a su aplicación en diferentes sensores y dispositivos dentro del ámbito de la e-salud, facilitando su desarrollo e integración con otros sistemas; siempre dentro del estándar establecido por la Norma IEEE 11073.

We are facing more and more devices that are capable of obtaining health-related measurements needed to transmit information to systems with greater computing capacity for data analysis in order to allow the diagnosis of diseases, the prevention of risk situations or enable a person to manage their own disease.

The main problem in this area is the lack of standardization in the communication of the information obtained by the sensors. The study of the current situation of the IEEE 11073 Standard (from now on referred to as X73) is decisive when approaching a feasible solution that solves the problem of interoperability between devices. Likewise, knowing the state of the art of both the Bluetooth Low Energy Standard and its compatibility with the data model of X73 constitutes the first approach to the matter in question and lays the basis for this work.

The present proposal aims at determining the guidelines that allow the implementation of a software for the management of biomedical sensors and ensure a successful communication, in accordance with IEEE 11073, successfully between the sensor and the device that will process the data. Specifically, the proposed design transfers the structured information according to X73 Standard on a BLE channel, for a bioimpedance monitor designed at the Biomedical Engineering Group of the University of Seville, where this project has been developed.

With the standardization of this process it is sought to provide consistency and coherence to this type of communications; so that any biomedical device, transmitter or receiver, is able to send or receive information according to a common model regardless its manufacturer.

The design of this communications module according to IEEE 11073 opens the door to its application to different sensors and devices within the field of e-health, facilitating its development and integration with other systems; always within the framework established by the IEEE 11073 Standard.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xvi
Índice de Figuras	xix
1 Introducción	1
2 Revisión de los estándares IEEE 11073 y Bluetooth Low Energy	3
2.1 <i>Situación de la norma IEEE 11073</i>	3
2.2 <i>Situación del protocolo Bluetooth LE</i>	7
2.3 <i>Integración de la norma X73 sobre BLE</i>	13
3 Propuesta de modelo de datos para monitores de bioimpedancia	17
3.1 <i>Aplicaciones de la bioimpedancia</i>	17
3.1.1 Fundamentos de la bioimpedancia	18
3.1.2 Modelado de la bioimpedancia	19
3.1.3 Parámetros asociados a una medida de bioimpedancia	21
3.2 <i>Estructura de datos IEEE 11073</i>	24
3.2.1 Peso	28
3.2.2 Estatura	29
3.2.3 Sexo	29
3.2.4 Fecha de nacimiento	30
3.2.5 Modelo de bioimpedancia	30
3.2.6 Masa celular corporal (BCM)	31
3.2.7 % BCM	32
3.2.8 Volumen de agua extracelular (ECW)	32
3.2.9 Volumen de agua intracelular (ICW)	33
3.2.10 Agua corporal total (TBW)	33
3.2.11 Masa libre de grasa (FFM)	34
3.2.12 % FFM	34
3.2.13 Índice de masa libre de grasa (FFMI)	35
3.2.14 Masa grasa (FM)	35
3.2.15 % FM	36
3.2.16 Índice de masa grasa (FMI)	36
3.2.17 Lista de configuración de bioimpedancia	37
3.3 <i>Estructura de datos en Bluetooth Low Energy</i>	38
3.4.1 Peso	39
3.4.2 Estatura	40
3.4.3 Sexo	41
3.4.4 Fecha de nacimiento	42
3.4.5 Modelo de bioimpedancia	43
3.4.6 Masa celular corporal (BCM)	44

3.4.7	% BCM	45
3.4.8	Volumen de agua extracelular (ECW)	46
3.4.9	Volumen de agua intracelular (ICW)	47
3.4.10	Agua corporal total (TBW)	48
3.4.11	Masa libre de grasa (FFM)	49
3.4.12	% FFM	49
3.4.13	Índice de masa libre de grasa (FFMI)	50
3.4.14	Masa grasa (FM)	51
3.4.15	% FM	52
3.4.16	Índice de masa grasa (FMI)	52
3.4.17	Lista de configuración de bioimpedancia	53
3.4	<i>Implementación de perfil GATT</i>	55
4	Conclusiones	58
5	Anexos	60
5.1	<i>Anexo A (Informativo) org.bluetooth.characteristic.gender.xml</i>	60
5.2	<i>Anexo B (Informativo) org.bluetooth.characteristic.date_of_birth.xml</i>	61
5.3	<i>Anexo C (Informativo) org.bluetooth.descriptor.gatt.characteristic_aggregate_format.xml</i>	63
5.4	<i>Anexo D (Propuesta) org.bluetooth.characteristic.modelo_de_impedancia.xml</i>	64
5.5	<i>Anexo E (Propuesta) org.bluetooth.characteristic.bioimpedance.xml</i>	65
5.6	<i>Anexo F (Propuesta) org.bluetooth.characteristic.bioimped_configuration.xml</i>	67
5.7	<i>Anexo G (Informativo) org.bluetooth.characteristic.body_composition_measurement.xml</i>	68
5.8	<i>Anexo H (Propuesta) org.bluetooth.service.bioimpedance.xml</i>	75
	Referencias	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3–1. Parámetros antropométricos	22
Tabla 3–2 Parámetros de bioimpedancia	22
Tabla 3–3. Parámetros de composición corporal	23
Tabla 3–4. Codificación de unidades en IEEE 11073	24
Tabla 3–5. Codificación de atributos medidos	25
Tabla 3–6. Codificación X73 para el parámetro Peso	28
Tabla 3–7. Codificación X73 para el parámetro Estatura	29
Tabla 3–8. Codificación X73 para el parámetro Sexo	29
Tabla 3–9. Codificación del valor del parámetro Sexo	30
Tabla 3–10. Codificación X73 para el parámetro Fecha de nacimiento	30
Tabla 3–11. Codificación X73 para el modelo de bioimpedancia	31
Tabla 3–12. Codificación X73 para el parámetro Masa celular corporal (BCM)	31
Tabla 3–13. Codificación X73 para el parámetro % BCM	32
Tabla 3–14. Codificación X73 para el parámetro Volumen de agua extracelular (ECW)	32
Tabla 3–15. Codificación X73 para el parámetro Volumen de agua intracelular (ICW)	33
Tabla 3–16. Codificación X73 para el parámetro Agua corporal total (TBW)	33
Tabla 3–17. Codificación X73 para el parámetro Masa libre de grasa (FFM)	34
Tabla 3–18. Codificación X73 para el parámetro % FFM	34
Tabla 3–19. Codificación X73 para el parámetro Índice de masa libre de grasa (FFMI)	35
Tabla 3–20. Codificación X73 para el parámetro Masa grasa (FM)	35
Tabla 3–21. Codificación X73 para el parámetro % FM	36
Tabla 3–22. Codificación X73 para el parámetro Índice de masa grasa (FMI)	36
Tabla 3–23. Codificación X73 para el número de frecuencias usadas	37
Tabla 3–24. Codificación X73 para el número de frecuencias usadas	37
Tabla 3–25. Codificación de unidades en BLE	38
Tabla 3–26. Codificación BLE para el parámetro Peso	39
Tabla 3–27. Precisión de la medida del peso según el servicio Weight Scale	39
Tabla 3–28. Precisión de la medida del peso según el servicio Body Composition	40
Tabla 3–29. Codificación BLE para el parámetro Estatura	40
Tabla 3–30. Precisión de la medida de la estatura según el servicio Weight Scale	41
Tabla 3–31. Precisión de la medida de la estatura según el servicio Body Composition	41
Tabla 3–32. Codificación BLE para el parámetro Sexo	41
Tabla 3–33. Codificación BLE para los valores del parámetro “Sexo”	42

Tabla 3–34. Codificación BLE para el parámetro Fecha de nacimiento	42
Tabla 3–35. Codificación BLE para el mes de nacimiento	43
Tabla 3–36. Codificación BLE para el modelo de bioimpedancia	43
Tabla 3–37. Codificación BLE para el parámetro BCM	44
Tabla 3–38. Codificación BLE para el parámetro % BCM	45
Tabla 3–39. Codificación BLE para el parámetro ECW	46
Tabla 3–40. Codificación BLE para el parámetro ICW	47
Tabla 3–41. Codificación BLE para el parámetro TBW	48
Tabla 3–42. Codificación BLE para el parámetro FFM	49
Tabla 3–43. Codificación BLE para el parámetro % FFM	49
Tabla 3–44. Codificación BLE para el parámetro FFMI	50
Tabla 3–45. Codificación BLE para el parámetro FM	51
Tabla 3–46. Codificación BLE para el parámetro FM	52
Tabla 3–47. Codificación BLE para el parámetro FMI	52
Tabla 3–48. Codificación BLE para la configuración de bioimpedancia	53
Tabla 3–49. Codificación BLE para la configuración de bioimpedancia	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Pila OSI y protocolos X73	5
Figura 2-2. Diagrama de paso de mensajes de la capa de servicio	6
Figura 2-3. Máquina de estados de agentes y gestores	6
Figura 2-4. Configuraciones entre versiones de Bluetooth	8
Figura 2-5. Configuración hardware	9
Figura 2-6. Topología Broadcast (Sin conexión)	10
Figura 2-7. Topología orientada a conexión	11
Figura 2-8. Topología mixta	11
Figura 2-9. Pila de protocolos de BLE	12
Figura 2-10. Sensores no X73 usando el adaptador X73 (Fuente: [6])	13
Figura 2-11. Arquitectura de transferencia de datos (Fuente: [6])	13
Figura 2-12. Flujo de datos con middleware (Fuente: [9])	14
Figura 2-13. Pila de protocolos propuesta para servicios healthcare (Fuente: [12])	15
Figura 3-1. La corriente fluyendo en un medio biológico a baja y alta frecuencia (Fuente: [3])	19
Figura 3-2. Modelo de circuito de un tejido biológico (Fuente: [23])	20
Figura 3-3. Gráfica Cole-Cole (Fuente: [23])	20
Figura 3-4. Centro de desplazamiento del semicírculo de impedancia (Fuente: [23])	21
Figura 3-5. Modelo esquemático de servicios del perfil propuesto	57

1 INTRODUCCIÓN

Observar sin pensar es tan peligroso como pensar sin observar.

- Santiago Ramón y Cajal -

Desde que las nuevas tecnologías entraran de lleno en la Medicina, la evolución en el campo de la ingeniería biomédica no ha dejado de crecer y enriquecerse abriendo un abanico de nuevos caminos para la investigación y el desarrollo de sistemas y dispositivos pensados para el diagnóstico temprano de enfermedades, facilitar el tratamiento de las mismas y ayudar a cada paciente a gestionar su propia enfermedad [1]. La mayoría de las nuevas aplicaciones tecnológicas en el campo de la Medicina se basan en la recopilación de datos mediante sensores que luego tendrán que transmitir la información para su procesamiento y su posterior análisis.

Actualmente, los datos obtenidos por estos sensores biomédicos se registran de forma supervisada cada cierto tiempo o no se registran. En el mejor de los casos se transmiten a un sistema específicamente diseñado para ello, con el coste que supone. La falta de estándares, relativos a la interoperabilidad de dispositivos del ámbito de la Medicina y la salud, constituye el principal problema a la hora de la transmisión de los datos obtenidos por sensores biomédicos. Esto supone un elevado coste debido a la necesidad de considerar equipos de conectividad personalizados, cuya complejidad aumenta de manera directa con la evolución de la tecnología.

La estandarización en materia de comunicaciones entre dispositivos, relacionados con la Ingeniería Biomédica y la salud, no solo supone un modelo común para la transmisión de información entre dispositivos médicos. Además, implica una reducción en los costes: tanto en la fabricación y desarrollo de los dispositivos, como en la repercusión para los usuarios finales, ya que el problema de la comunicación dejaría de ser una dificultad. En cuanto a la información, con la normalización, una estructura común de los datos evidencia la coherencia y la integridad de los mismos durante la comunicación. Igualmente, un modelo normalizado de intercambio de datos permite la interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes lo que establece un pilar fundamental para la evolución de las tecnologías relacionadas con la Ingeniería Biomédica y la salud.

En relación a la normalización en la estructuración de la información, el Grupo de Trabajo “Point of Care Device” de la Sociedad “Engineering in Biology and Medicine” (EMBS) del IEEE elaboró la norma conocida como X73, en la que se recoge buena parte del vocabulario técnico propio de los ámbitos de la Medicina, la Biología y la Ingeniería Biomédica. Así pues, la familia de estándares X73 define los términos necesarios para transmitir un resumen, clínicamente relevante, de la información obtenida durante una exploración física mediante dispositivos [2]. El Estándar IEEE 11073 es una norma única en este tipo de transmisiones que permite la monitorización de señales biomédicas en tiempo real garantizando la consistencia y coherencia de la información necesarias para generar confianza en ambos sentidos de la comunicación.

Por otra parte, en el ámbito industrial están ampliamente aceptados distintos estándares de comunicación inalámbrica que proporcionan una capa física que favorecen la implementación de estrategias de bajo consumo, así como provisión para las capas más bajas del modelo OSI. Entre ellos, destaca la tecnología de comunicación

por radio conocida como Bluetooth de Baja Energía (BLE, del inglés *Bluetooth Low Energy*), basada en el Bluetooth convencional y cuya principal ventaja es el bajo consumo de energía. Precisamente este bajo coste energético supone una de las principales razones para que BLE se perfíle como la opción más favorable por encima de la radiofrecuencia o el infrarrojo; además de la presencia de BLE en la mayoría de los dispositivos que se utiliza de manera cotidiana, como los *smartphones* o las *tablets*. BLE es una tecnología digital inalámbrica que permite la comunicación entre dispositivos pequeños con un consumo mínimo y eficiente.

Por todo ello, el objetivo principal que persigue el presente trabajo es la estandarización, de acuerdo a la Norma IEEE 11073, de las comunicaciones entre dispositivos médicos, o relacionados con la salud, apoyándose en la capa física que proporciona el estándar de bajo consumo *Bluetooth Low Energy*. Para alcanzar el objetivo, es importante conocer el dispositivo biomédico que ejercerá de sensor. Su naturaleza y la finalidad de los datos obtenidos son determinantes para diseñar, en base a la situación actual de la Norma X73, el modelo de la información que irá encapsulada en el protocolo BLE para su transmisión al dispositivo receptor. Si bien BLE incluye determinados perfiles, estos no son compatibles con X73 o no están suficientemente desarrollados; por lo que el estudio e implementación de un perfil que garantice la interoperabilidad entre X73 y BLE, es también objeto del presente trabajo.

Es importante tener en cuenta que tras haber analizado otros casos de estudio en los que se hace referencia a la comunicación de sensores biomédicos con otros dispositivos de tratamiento de datos, no se ha encontrado un método normalizado y seguro mediante el que proceder. Dicho de otra forma, en toda la documentación sometida a nuestro estudio publicada con este fin o que de alguna manera hace referencia a la interoperabilidad entre sistemas biomédicos, o bien se indica que no es posible la intercomunicación normalizada entre sensores y receptores siguiendo la Norma IEEE 11073 o bien utilizan dispositivos intermedios con los que la relación sensor-receptor se vuelve más compleja e inoperativa. En el capítulo 2 de este trabajo, se analiza el estado del arte de la Norma IEEE 11073 y del protocolo BLE, además de la situación actual en la integración de ambas tecnologías.

La familia de estándares X73 va creciendo paulatinamente de la mano de varias instituciones relacionadas de una manera u otra con la salud y las comunicaciones. Ser consciente del estado actual de la Norma IEEE 11073 es trascendental a la hora de desarrollar un modelo de datos que encaje con las necesidades de las mediciones del dispositivo en cuestión. Conocer las operaciones que permite el Estándar, y sus capacidades, permitirá gestionar la información, procedente del sensor, de manera automatizada y eficiente.

De la misma forma, el conocimiento del protocolo Bluetooth de bajo consumo es vital para ser conscientes de su potencial. El protocolo BLE dispone de varias configuraciones que permiten el diseño de un número considerable de escenarios. La integración, con otras versiones Bluetooth, y las limitaciones, debido a su naturaleza de baja energía, son aspectos vitales para el análisis de la compatibilidad con los tipos de dato X73.

Después de analizar otros casos de estudio, en los que se pretende integrar el esquema de datos X73 sobre BLE, el siguiente paso es ajustar los datos obtenidos por el sensor de bioimpedancia a una estructura de información de acuerdo con la Norma IEEE 11073. La metodología que se ha seguido consiste en agrupar los tipos de datos en función de su naturaleza generando un perfil BLE que implemente al completo el modelo de datos X73 cubriendo las necesidades para determinado tipo de sensor. De esta forma, los parámetros obtenidos en las mediciones quedan identificados individualmente para facilitar la posible compatibilidad en BLE.

Como caso de uso específico, el presente trabajo pone el foco sobre la comunicación, de acuerdo a la norma IEEE 11073, de un sensor de bioimpedancia [3] sobre Bluetooth LE. *Grosso modo*, el sensor de bioimpedancia es un sensor inteligente destinado a la estimación de la composición corporal a partir de medidas de bioimpedancia; siendo la bioimpedancia una técnica basada en la inyección de una corriente eléctrica controlada mediante electrodos distales que obtiene por medio de electrodos proximales la medida de tensión producida. Este sensor y el procesamiento de los datos obtenidos permite monitorizar el estado nutricional, el estado de hidratación y la masa muscular, así como, la monitorización de un edema. La propuesta de integración de este sensor de bioimpedancia sobre un modelo de comunicación basado en la Norma X73 sobre el protocolo BLE se detalla más a bajo nivel en el capítulo 3 de este trabajo, como caso de uso de la interoperabilidad entre sendos estándares.

Finalmente, la propuesta diseñada arroja una posible solución a un paradigma sobre el que no existe suficiente documentación publicada y pretende poner el foco de futuros desarrollos en la implementación de un modelo completo de interoperabilidad que integre las tecnologías expuestas.

2 REVISIÓN DE LOS ESTÁNDARES IEEE 11073 Y BLUETOOTH LOW ENERGY

En principio la investigación necesita más cabezas que medios.

- Severo Ochoa -

El estado actual de la norma IEEE 11073 y su relación con el protocolo *Bluetooth Low Energy* presenta un paradigma incierto. La documentación revisada durante la elaboración de este trabajo no arroja luz al problema de la interoperabilidad entre la norma X73 y el estándar Bluetooth LE. A lo largo de este capítulo se analiza tanto la situación actual de la norma IEEE 11073 como el estándar *Bluetooth Low Energy*; finalmente, la integración de la norma X73 sobre BLE también será objeto de análisis poniendo en evidencia la falta de respuesta ante este escenario de compatibilidad y justificando la pertinencia del presente Trabajo Fin de Grado.

2.1 Situación de la norma IEEE 11073

Los estándares 11073 surgieron en 2004 agrupando varios estándares previos. Primero se enfocó a dispositivos destinados a la UCI. Con la aparición de nuevas tecnologías y protocolos de comunicación (Bluetooth) y dispositivos vestibles, los llamados *weareables*, se realizó una revisión del estándar para adaptarse y hacerlo más flexible y ligero.

En el desarrollo de los estándares X73 hay varios organismos de estandarización implicados:

- IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineering
 - IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
 - 11073 Committee
 - IEEE 11073 Clinical/General Committee Work Group
 - IEEE 11073 Personal Health Device Working Group
- ISO International Organization for Standards
 - TC215: Health Informatics
 - WG 7: Devices
- CEN European Committee for Standardization
 - TC251: Health Information and Communication Technology
 - WG IV: Interoperability

- AENOR Asociación Española de Normalización
 - CTN129: Interoperabilidad
 - SC 4: Interoperabilidad de Dispositivos Médicos

La familia de normas X73 es compartida por todos los países europeos y EEUU para la interoperabilidad de dispositivos médicos. Están adaptadas a la inclusión de nuevas tecnologías de comunicación, mediante conexiones fijas o móviles y mediante dispositivos móviles de red.

En el contexto de la familia IEEE 11073 se encuentran diferentes estándares especializados en función del tipo de dispositivo para el que está definido. De esta forma podemos encontrar estándares específicos que establecen una definición normativa de comunicación específica entre dispositivos de distinta índole relacionados con la salud (ver Figura 2-1). Algunos de estos estándares específicos son:

- 11073-10404: definición normativa específica destinada a las comunicaciones entre dispositivos de oxímetro de pulso y dispositivos que procesan y gestionan la información obtenida.
- 11073-10406: definición normativa específica destinada a las comunicaciones entre dispositivos que monitorizan o gestionan la actividad cardíaca.
- 11073-10407: definición normativa específica destinada a las comunicaciones entre dispositivos personales de monitorización de la presión arterial y dispositivos que procesan y gestionan la información obtenida.
- 11073-10408: definición normativa específica destinada a las comunicaciones entre dispositivos que miden la temperatura corporal (termómetro) y dispositivos que procesan y gestionan la información obtenida.
- 11073-10415: definición normativa específica destinada a las comunicaciones entre dispositivos destinados a medir el peso y dispositivos que procesan y gestionan la información obtenida.
- 11073-10417: definición normativa específica destinada a las comunicaciones entre dispositivos que miden la glucosa en sangre (glucómetro) y dispositivos que procesan y gestionan la información obtenida.

Entre las características de estas normas, cabe destacar la participación abierta para su desarrollo, la integración con otras iniciativas como HL7, la portabilidad a otras tecnologías y el soporte a los principales casos de uso.

El diseño de la familia de estándares X73 permite la comunicación de acuerdo al principio agente/gestor (del inglés, *agent/manager*). *Grosso modo*, el agente es la parte que se encuentra conectada al dispositivo biomédico que recoge los datos; mientras que el gestor, o *manager*, recibe los datos, los guarda y los procesa. El uso más común es que la parte *manager* monitorice los datos obtenidos por el agente; sin embargo existen casos en los que le propio gestor puede controlar de forma remota a los agentes. Un detalle importante, es que tanto el agente como el *manager* tienen la misma estructura lo que permite que en un momento dado un agente pueda ejercer de gestor y viceversa. Por supuesto, además de la dualidad agente-gestor, existe la posibilidad de diseñar sistemas híbridos.

Dentro de las posibilidades que ofrece X73, se encuentra el protocolo de intercambio optimizado, *Optimized Exchange Protocol*, que se centra en el intercambio de los datos (interfaz PAN) utilizando las capacidades del nivel de transporte. Es importante mencionar que el *Optimized Exchange Protocol* no define las operaciones que debe realizar el gestor con los datos (ver Figura 2-1).

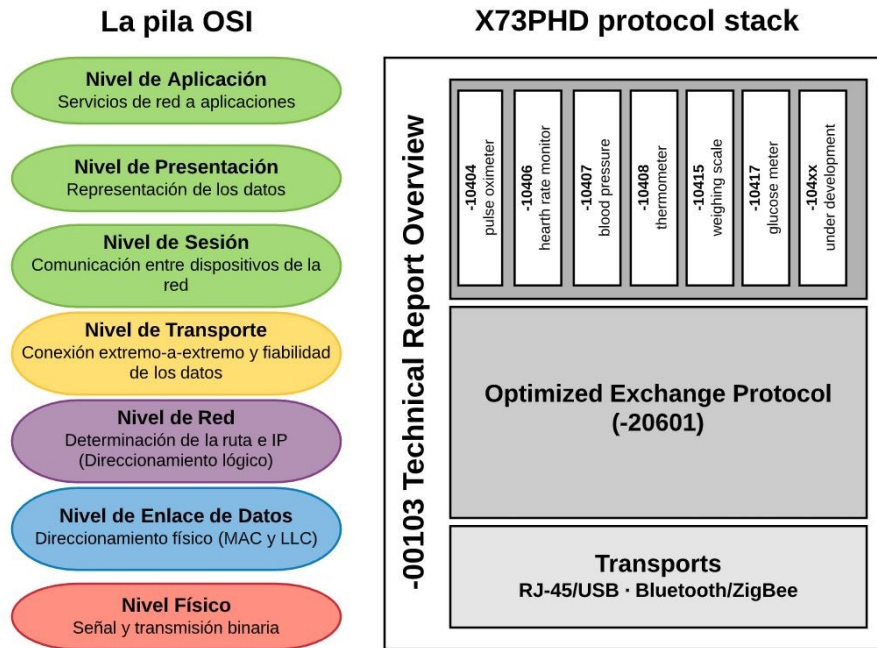


Figura 2-1. Pila OSI y protocolos X73

Este protocolo de intercambio da soporte a múltiples modos de transmisión de datos (esporádicos, en *streaming*, almacenamiento y envío); además, como resulta evidente por su nombre, optimiza el intercambio de datos y permite reconexiones eficientes.

La estructura y comportamiento de los agentes y gestores se describen mediante cuatro elementos: Nomenclatura, Modelo de Información de Dominio (DIM, del inglés *Domain Information Model*), Modelo de servicio y Modelo de comunicación.

El Modelo de Información de Dominio (DIM) caracteriza la información de los agentes con atributos, métodos y eventos. Los atributos describen datos de medida, control del comportamiento e informa del estado del agente.

El Modelo de servicio define los mecanismos para el intercambio de datos y da servicio de asociación entre dispositivos (ver Figura 2-2). Además los servicios de intercambio de datos son mapeados a mensajes que se intercambian entre el agente y el gestor. También da servicios orientados a acceder a objetos mediante los métodos propios (GET, SET, EVENT REPORT, ACTION) (ver Figura 2-3).

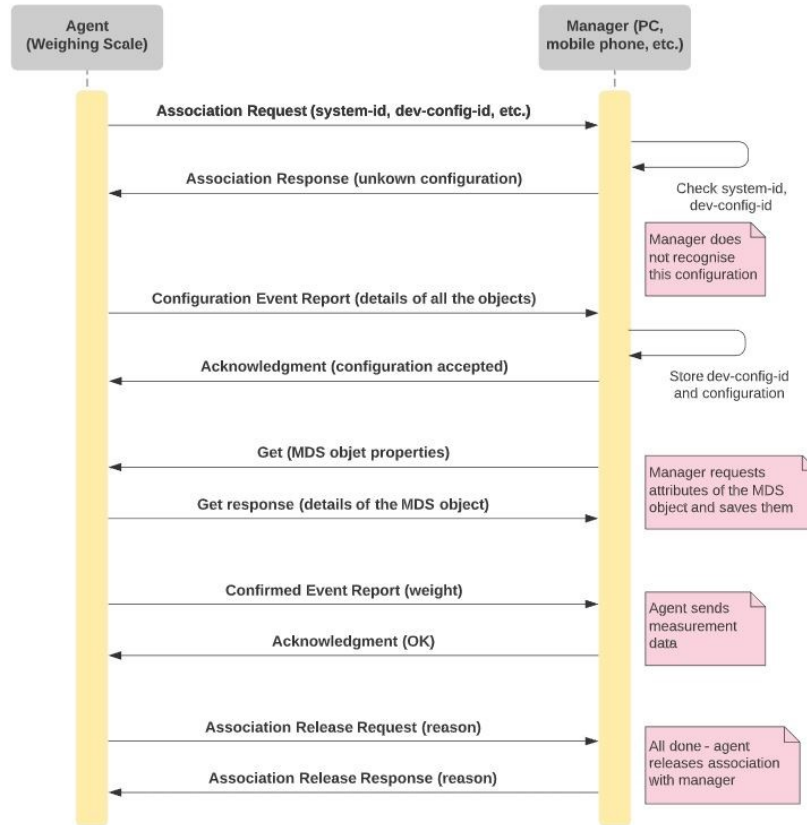


Figura 2-2. Diagrama de paso de mensajes de la capa de servicio

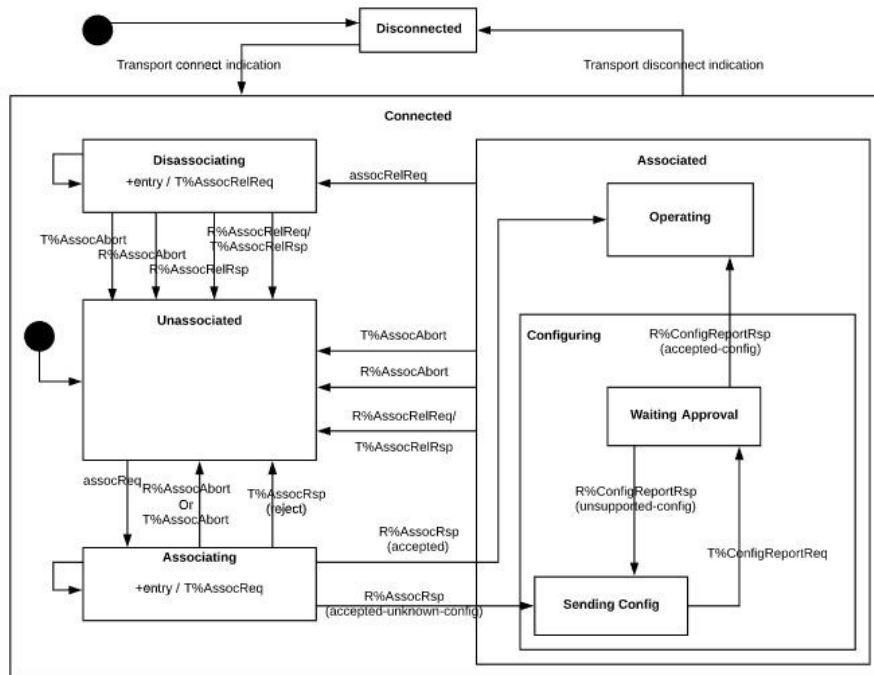


Figura 2-3. Máquina de estados de agentes y gestores

2.2 Situación del protocolo Bluetooth LE

El objetivo de esta tecnología de comunicación es su incorporación en dispositivos de carácter personal portables de manera que el propio dispositivo consiga mayor autonomía sin modificar de manera evidente el tamaño y el peso del mismo.

En lo referente a la comunicación entre los dispositivos que incorporarán el *Bluetooth Low Energy* será preciso realizar cálculos experimentales sobre la capacidad de procesamiento de datos simultáneos, la distancia máxima a la que los dispositivos podrán comunicarse, las potencias necesarias para transmitir y recibir datos, los tiempos de conexión...

El Bluetooth de Baja Energía comenzó siendo parte de las especificaciones de Bluetooth 4.0. Se presentó como una versión más pequeña y mejor optimizada. Esta nueva rama de desarrollo terminó convirtiéndose en un proyecto independiente y paralelo con respecto al Bluetooth original afrontando nuevos paradigmas [4].

Fue la compañía Nokia la que originalmente comenzó los desarrollos de esta tecnología bajo el nombre Wibree (wi de Wireless y bree, un término inglés en desuso que significa atajo); más tarde sería el Bluetooth Special Interest Group (SIG) el que tomara las riendas del proyecto. En primera instancia, el objeto fue diseñar un estándar de radio que consumiera la menor potencia posible optimizando los costes, el ancho de banda, el consumo energético y restando complejidad a su implementación frente a otras tecnologías presentes en el mercado.

Actualmente, el número de dispositivos que incorporan BLE crece de manera abrumadora en comparación con los datos de otras tecnologías inalámbricas. Este crecimiento en la adopción del Bluetooth de Baja Energía para las comunicaciones inalámbricas se ha visto favorecido especialmente porque cuenta con la tecnología justa y necesaria; además de que su principal destino (Smartphones y Tablets) ha sido uno de los mercados con más crecimiento de los últimos años.

Una de las grandes diferencias con el Bluetooth original es que el BLE se pensó como un marco extensible para intercambiar datos. Por otra parte, la capacidad de integración tan simple del BLE permite su implementación en dispositivos sin desarrollar arquitecturas de comunicación complejas.

La simpleza de su modelo de datos sumada al coste cero de su licencia, hacen del BLE un servicio por el que tanto los desarrolladores como los proveedores se inclinan.

En junio de 2010, el Bluetooth SIG incluyó el Bluetooth de Baja Energía en las especificaciones de Bluetooth en la versión 4.0 generando debates y controversias entre el gremio; discusiones que fueron resueltas, en parte, por las grandes compañías implicadas en el desarrollo.

En diciembre de 2013 se liberó la primera actualización, Bluetooth 4.1 que serviría de referencia para realizar desarrollos de productos que incorporen BLE.

Uno de los obstáculos que encontramos en cuanto a compatibilidad entre versiones es que las versiones 4.0 y 4.1 no son directamente compatibles entre sí y que cualquier dispositivo que esté integrado con cualquier versión anterior a la 4.0 no tiene manera de comunicarse con un dispositivo que implemente las comunicaciones con BLE.

En la Figura 2-4 pueden verse las configuraciones y protocolos que hacen posible la comunicación de dispositivos no BLE con un dispositivo en el que se ha implementado dicha tecnología de comunicación por radio.

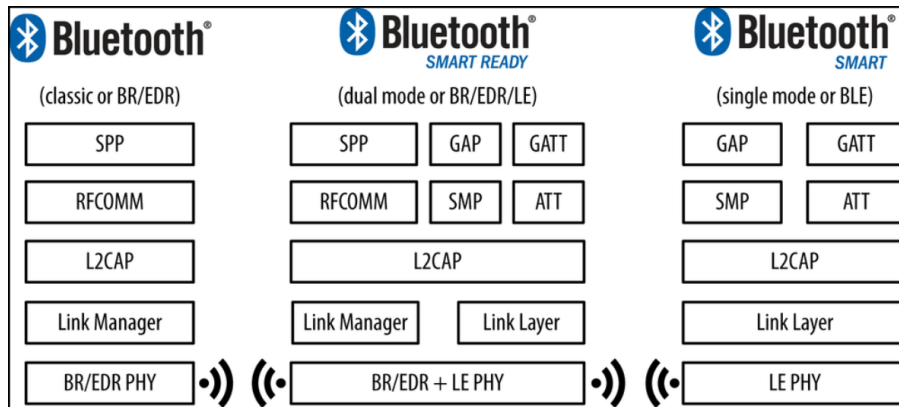


Figura 2-4. Configuraciones entre versiones de Bluetooth

Según su configuración, existen dos tipos de dispositivos que pueden utilizar BLE:

- **Dispositivos *single-mode*:** dispositivos que implementan el estándar BLE, lo que les permite la comunicación con otros dispositivos modo-simple o con dispositivos modo-doble, pero no con dispositivos que implementen sólo BR/EDR (Bluetooth clásico).
- **Dispositivos *dual-mode*:** dispositivos que disponen tanto de configuración BLE como de configuración BR/EDR por lo que pueden comunicarse con cualquier dispositivo Bluetooth.

Como conocimiento previo al estudio de las configuraciones basadas en hardware, es necesario conocer los bloques principales para la implementación Bluetooth en un dispositivo:

- **Aplicación (*Application*):** relacionada con la capa de Aplicación del modelo ISO en la cual el desarrollador cubre las necesidades del software sobre los protocolos definidos por el Bluetooth.
- **Sistema central (*Host*):** capas superiores de la torre de protocolos.
- **Controlador (*Controller*):** capas inferiores de la torre de protocolos.

Existen tres configuraciones hardware, basadas en los bloques citados anteriormente, presentes en la mayoría de los dispositivos del mercado, actualmente:

- **SoC (*System on Chip*):** se trata de un circuito integrado simple donde se ejecutan tanto el bloque Aplicación como el Host y el Controlador.
- **Dual IC over HCI:** tanto el bloque de Aplicación como el *Host* se ejecutan sobre un mismo circuito integrado mientras se comunican mediante HCI con un segundo circuito integrado donde se ejecuta el Controlador. En las especificaciones de Bluetooth se encuentra definido HCI lo que supone que cualquier *Host* puede combinarse con cualquier Controlador de otro fabricante; es la principal ventaja de esta configuración.
- **Dual IC with connectivity device:** mientras el *Host* y el Controlador se ejecutan juntos en un circuito integrado, el bloque de Aplicación se comunica mediante un protocolo específico propio.

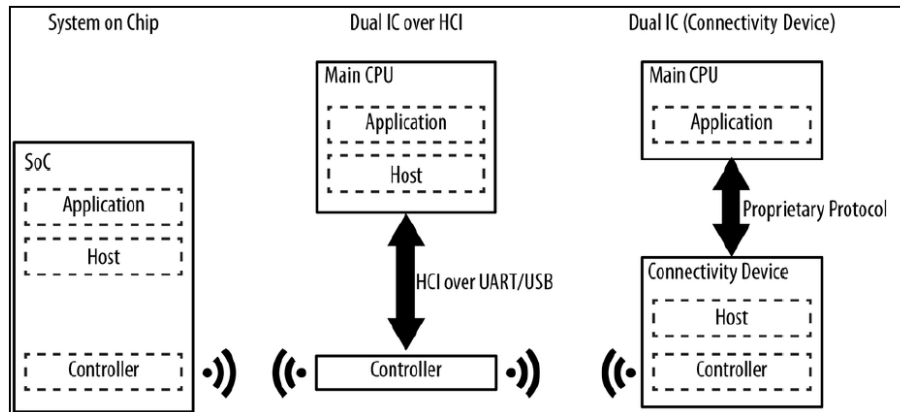


Figura 2-5. Configuración hardware

Un dato a tener en cuenta, dado el objetivo que se persigue en el presente trabajo, es que usualmente los sensores simples tienden a usar la configuración tipo SoC para mantener el bajo coste y simplificar la impresión de los circuitos.

Las especificaciones del Bluetooth de Baja Energía establecen la tasa teórica de modulación en 1Mbps. Sin embargo, la experiencia nos habla de niveles significativamente menores por lo que otra tecnología como el Bluetooth convencional y el WiFi aún tienen su lugar en el mercado.

Esta limitación, lejos de ser contraproducente, puede considerarse un factor importante de cara al objetivo planteado por el Bluetooth de Baja Energía, el bajo consumo.

El BLE está pensado en para operar en rangos cortos de comunicación, al contrario que otros dispositivos de más largo alcance. En consecuencia, la potencia de transmisión es configurable normalmente en un rango entre -30 dBm y 0 dBm siendo conscientes de que cuanto más potencia se pretende transmitir para obtener mayor rango, más aumenta el consumo.

En determinadas condiciones, es posible configurar un dispositivo BLE que sea capaz de abarcar treinta metros; aunque el rango típico en el que se suele trabajar se encuentra entre los dos y los cinco metros logrando un equilibrio entre el rango de transmisión, el consumo y la experiencia de usuario.

El Bluetooth de Baja Energía permite a un dispositivo comunicarse con otros dispositivos de dos formas: sin conexión (Broadcast) o con conexión. Ambos modos de comunicación pueden ser reguladas por el Perfil de Acceso Genérico (GAP: Generic Access Profile).

Una topología sin conexión (*Broadcast*) permite transmitir datos a cualquier dispositivo que, dentro del radio que abarca la señal, esté en modo *Scanning* (ver Figura 2-6).

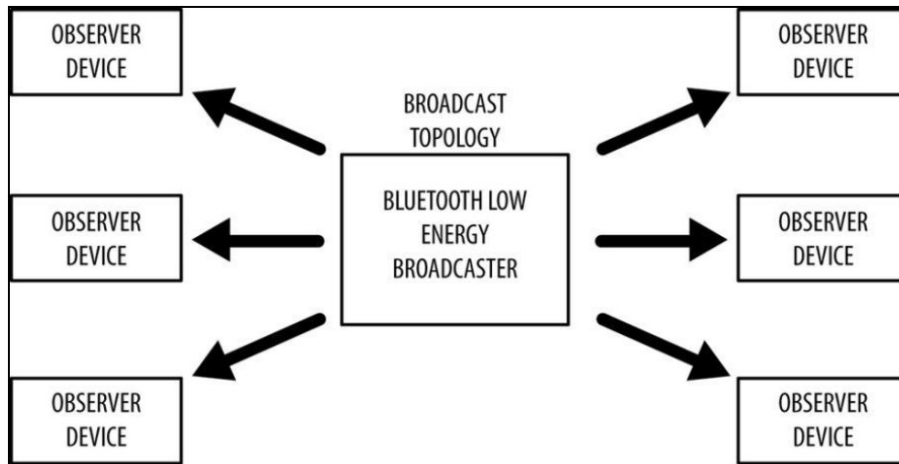


Figura 2-6. Topología Broadcast (Sin conexión)

En esta topología existen dos roles:

- **Emisor (*Broadcast*):** envía paquetes anunciándose a todos los dispositivos que escuchan dentro del alcance (*Advertising*).
- **Observador (*Observer*):** escanea de manera continua un rango de frecuencias predefinido para encontrar paquetes que estén siendo emitidos.

La configuración de esta topología orientada a la no conexión es rápida y la mejor opción cuando se procura transmitir una pequeña cantidad de datos a varios dispositivos. Sin embargo, la limitación que tiene la comunicación sin conexión, en comparación con una comunicación orientada a la conexión, es la carencia de privacidad y seguridad; ya que cuando se emiten los datos, cualquier dispositivo que esté escuchando dentro del radio de alcance puede recibir los datos. Evidentemente, esta topología no debe ser utilizada cuando se está trabajando con datos de carácter privado.

Por otro lado, una topología orientada a conexión (*connections*) es la mejor opción para una comunicación bidireccional o con necesidad de transmisión de información más pesada ya que sería un canal permanente de intercambio de datos entre los dispositivos involucrados y, por lo tanto, privado.

En esta topología también se distinguen dos roles:

- **Central:** el dispositivo escanea un rango de frecuencias predefinido tratando de encontrar paquetes de anuncio para iniciar una conexión. Una vez establecida la conexión, es él, el dispositivo central, el que inicia el intercambio de información y controla los tiempos durante la comunicación.
- **Periférico:** el dispositivo emite de manera periódica paquetes de anuncio de conexión y acepta las conexiones que reciba. Una vez que la conexión ha sido establecida, siguen los tiempos controlados por el dispositivo central (maestro).

A la hora de iniciar una conexión, el dispositivo central, en su proceso de escaneo el rango de frecuencias preestablecido, recibe un paquete de anuncio de otro dispositivo (periférico) y emite un paquete de respuesta solicitando el establecimiento de una conexión exclusiva entre ambos dispositivos. Tras el establecimiento de la conexión, el dispositivo periférico cesa en su emisión de paquetes de anuncio (*advertising*) y ambas entidades comienzan a intercambiar información en ambas direcciones (ver Figura 2-7).

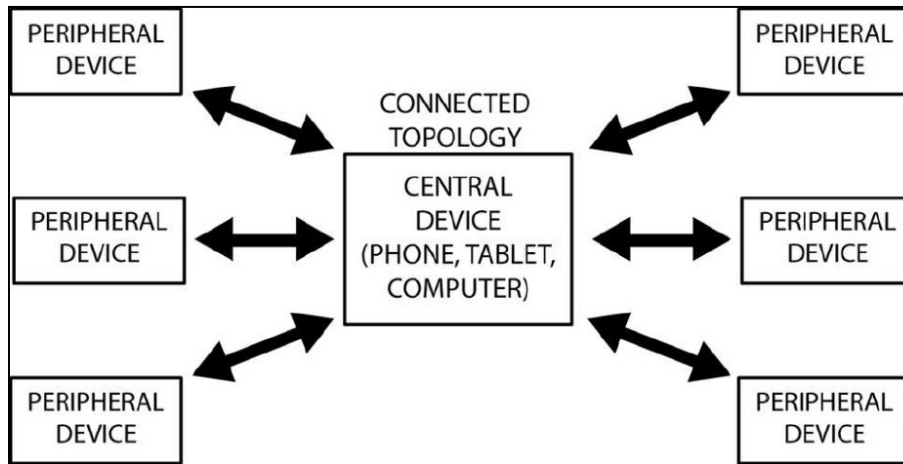


Figura 2-7. Topología orientada a conexión

Es importante tener en cuenta que los roles no limitan el ancho de banda ni las prioridades, es decir, a cualquiera de los dispositivos de la comunicación le está permitida la transmisión de información. No existen restricciones de este tipo.

Fue a partir de la versión 4.1 de Bluetooth cuando se eliminaron todas las restricciones relacionadas con las combinaciones de roles en la comunicación. Por lo tanto, un dispositivo puede tener el rol de central y periférico al mismo tiempo; un dispositivo con rol de central puede conectarse con varios dispositivos periféricos; un dispositivo que actúa como periférico puede conectarse a múltiples dispositivos que actúen como centrales.

Una de las ventajas del uso de la topología orientada a conexión es el mayor ancho de banda y la posibilidad de establecer un enlace encriptado que garantice la seguridad y privacidad de la comunicación.

Además, en relación al objetivo en el uso del BLE, esta topología orientada a conexión permite el ahorro de energía en contraposición a la topología sin conexión. El control sobre los tiempos es crucial ya que pueden emitirse datos sólo cuando existe información que necesita ser enviada. El establecimiento de una conexión para la comunicación permite a los dispositivos conocer el momento en que tienen que activarse para la recepción u emisión de datos, ahorrando energía.

Ambas topologías dan la posibilidad de unirse en una red BLE más grande (ver Figura 2-8).

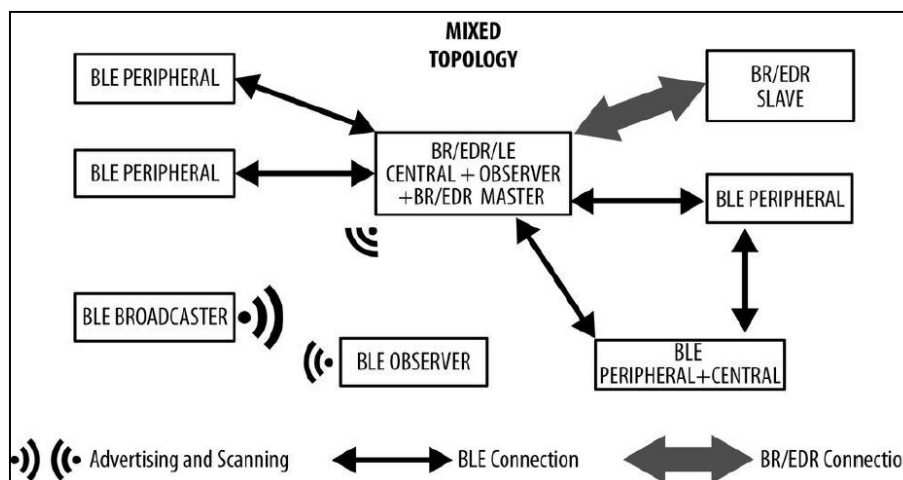


Figura 2-8. Topología mixta

Las especificaciones de Bluetooth distinguen de manera patente los conceptos de Protocolos y Perfiles. Protocolos son capas que implementan las diferentes reglas de comunicación que gobernarán el intercambio de datos entre los dispositivos de manera efectiva, mientras que los perfiles definen la manera en la que hacer uso de los protocolos para conseguir un objetivo específico.

La pila de protocolos de un dispositivo que implementa Bluetooth de Baja Energía (BLE) se resume en la Figura 2-9.

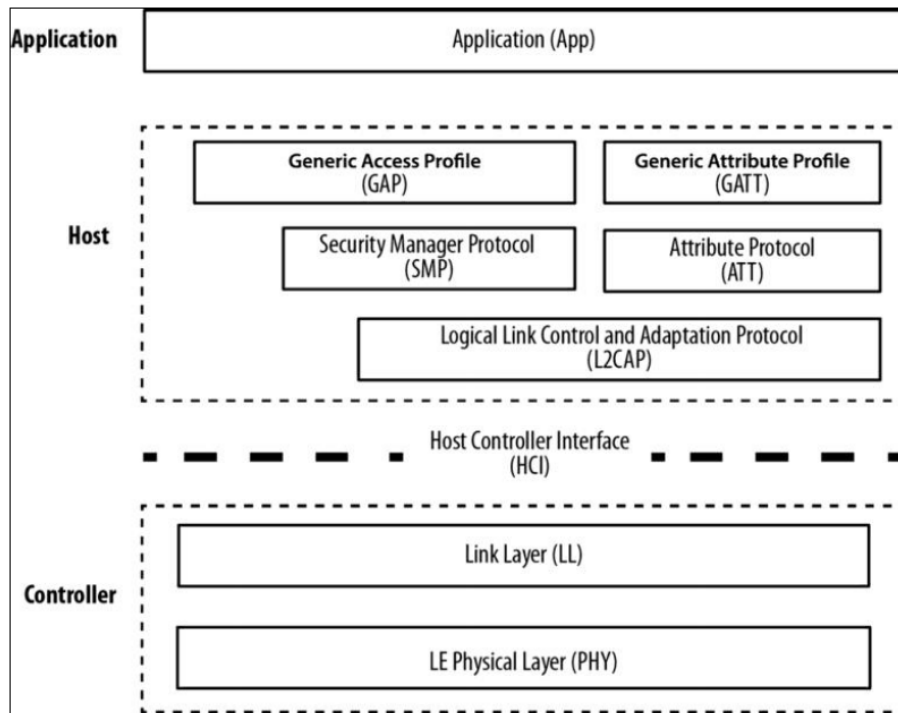


Figura 2-9. Pila de protocolos de BLE

Los perfiles genéricos están definidos en las especificaciones de Bluetooth, destacando entre ellos dos perfiles fundamentales para asegurar la efectividad en la interoperabilidad entre los dispositivos que implementan BLE de diferentes fabricantes:

- **Generic Access Profile (GAP):** se trata de la capa más alta de control del Bluetooth de Baja Energía cuyas funciones son: el control del modo de uso de los protocolos de nivel bajo para designar los roles, encontrar dispositivos, el establecimiento de las conexiones, el control de la conexiones y la negociación de los niveles de seguridad para asegurar la interoperabilidad y el intercambio de información entre dispositivos de distintos fabricantes.
- **Generic Attribute Profile (GATT):** en relación al intercambio de información en Bluetooth de Baja Energía, el perfil GATT define un modo simple de datos y procedimiento que dotan a los dispositivos de la capacidad de encontrar, leer, escribir y emitir datos. Se trata de la capa más alta de datos del Bluetooth de Baja Energía. El GATT concreta el modo de organización de los datos y la forma de intercambiarlos entre aplicaciones.

2.3 Integración de la norma X73 sobre BLE

En el estudio del estado del arte de la integración del estándar IEEE 11073 sobre el protocolo de transporte Bluetooth de Baja Energía (BLE), las conclusiones obtenidas evidencian que el soporte de integración no está suficientemente definido desde el punto de vista de la propia integración.

Lejos de aclararse un modelo a seguir con la capacidad de implementar una integración que proporcione un formato X73 puro en la comunicación desde el sensor, existen distintas propuestas enfocadas a varias líneas de desarrollo; en su mayoría basadas en la guía de diseño publicada por *Continua Health Alliances* [5].

Una de las propuestas plantea un dispositivo intermedio que haga de transcodificador, es decir que adapte los datos recolectados al esquema X73 para su posterior transporte [6] ya que los propios sensores no implementan el estándar (ver Figura 2-10).

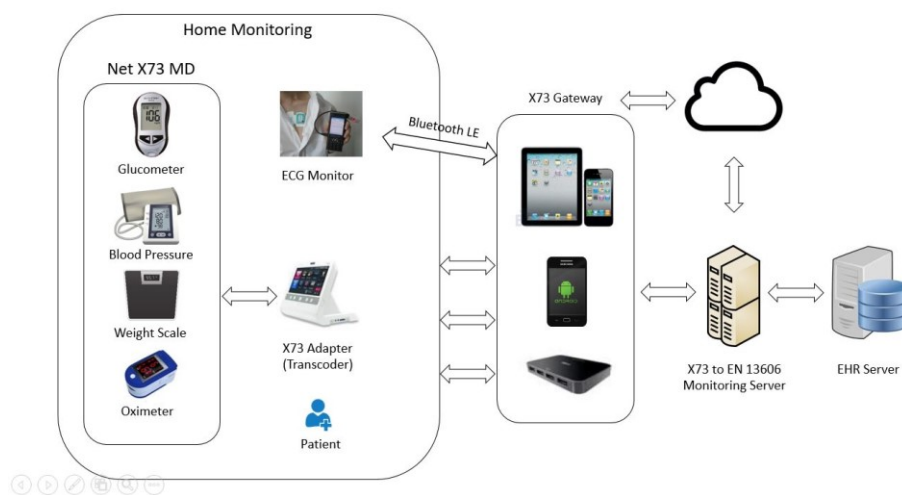


Figura 2-10. Sensores no X73 usando el adaptador X73 (Fuente: [6])

En este planteamiento, la arquitectura que se propone refleja cómo el agente X73 se encuentra en la capa inmediatamente superior a la capa Bluetooth LE (ver Figura 2-11). Esta arquitectura no es posible llevarla a cabo debido a la juventud de la tecnología BLE ya que el mayor problema para comprender la relación entre los protocolos X73 y BLE es la falta de información pública sobre una implementación correcta en un proyecto real [6]. En [6] se comenta la falta de claridad en relación a la ventaja que puedan tener los dispositivos médicos implementados con tecnología BLE sobre los implementados con Bluetooth 2.1.

En cuanto a la implementación del gestor X73 en el dispositivo receptor, Android, desde su versión 4.0, ya facilita la implementación del mismo en smartphone y su desarrollo sobre el protocolo Bluetooth no debería constatar un problema; el principal escollo es la construcción sobre BLE, pues no se facilita información y debe construirse desde cero (ver Figura 2-11).

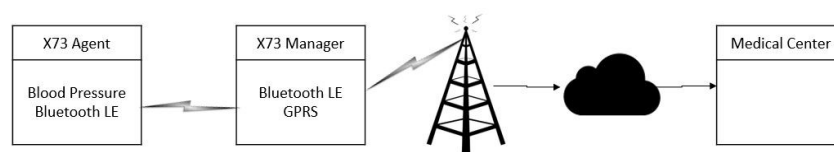


Figura 2-11. Arquitectura de transferencia de datos (Fuente: [6])

En el análisis de otro caso experimental, se encuentra una clara diferenciación entre dispositivos con perfiles de agente X73 que encapsulan la información, como es obvio, de acuerdo con el estándar IEEE 11073 y otros dispositivos que directamente transmiten la información mediante Bluetooth Low Energy. En dicho caso, no se hace la menor mención a la convivencia de sendas tecnologías operando en la misma pila de protocolos; y la forma en la que se trata a los dos tipos de dispositivos, dispositivos X73 y dispositivos BLE, es completamente diferente [7].

En el escenario del primer tipo de dispositivos, los dispositivos *X73 Agent* obtienen los datos y los transmiten vía IEEE 11073-20601 Optimized Exchange Protocol haciendo uso específico de las Reglas de Codificación de Dispositivos Médicos (MDER, *Medical Device Encoding Rules*). La nota importante en este caso es que el canal de transporte es el protocolo Bluetooth y no el protocolo Bluetooth Low Energy. En este escenario [7], aparece también el uso de terminología relacionada con la guía de diseño de *Continua Alliance* [5]. Los datos adquiridos son recibidos por una aplicación móvil, sobre Android, que corre sobre un smartphone haciendo las veces de *X73 Manager*.

En un segundo escenario, relativo a los dispositivos puramente BLE, el dispositivo realiza una comunicación mediante Bluetooth Low Energy para la transferencia de datos sin hacer uso, en ningún caso, de la norma IEEE 11073 [5]. Se trata de un nuevo caso en el que los intentos por encajar el estándar IEEE 11073 en BLE no sólo han sido infructíferos, sino que hasta ahora las dos tecnologías están claramente diferenciadas y lejos de la arquitectura perseguida (ver Figura 2-11).

Por otro lado, existen estudios en los que se hace uso de algunas librerías, como HAPI FHIR [8], que permite por un lado tomar datos no estandarizados y convertirlos en datos con un formato estandarizados; además de permitir la interoperabilidad y el intercambio de datos con otro componentes que implementen FHIR. De esta forma, los datos obtenidos por los dispositivos BLE del segundo escenario, antes mencionado, pueden ser convertidos a un formato normalizado como HL7.

Son evidentes las dificultades para encapsular información de acuerdo a la estructura de datos X73 en el protocolo Bluetooth de Baja Energía; lo que lleva a reafirmar que el estándar IEEE 11073 solo soporta dispositivos Bluetooth y excluye los dispositivos que implementan la tecnología de eficiencia energética BLE [9]. Esta afirmación se debe a que el protocolo Bluetooth implementa el HDP (*Health Device Profile*) o Perfil de Dispositivos de Salud que permite la completa integración de la norma X73; sin embargo, el BLE facilita las especificaciones GATT (*Generic Attribute Profile*) que definen una estructura jerárquica de datos con servicios y características para la comunicación vía Bluetooth LE.

En [9], se propone un sistema en el que se da a conocer la figura del *Middleware* que, entre otras funcionalidades, permite convertir los datos recabados por el sensor BLE a X73. De esta forma, el componente *Transcoding Agent* [9] recibe los datos del sensor en formato JSON con una estructura de datos acorde a la propuesta por Bluetooth SIG en GATT REST API *whitepaper* [10]. Estos datos llegan a la APDU (*Application Protocol Data Units*) y continúan a la fase de procesamiento de software IEEE 11073 haciendo uso de la librería de software *Antidote*.

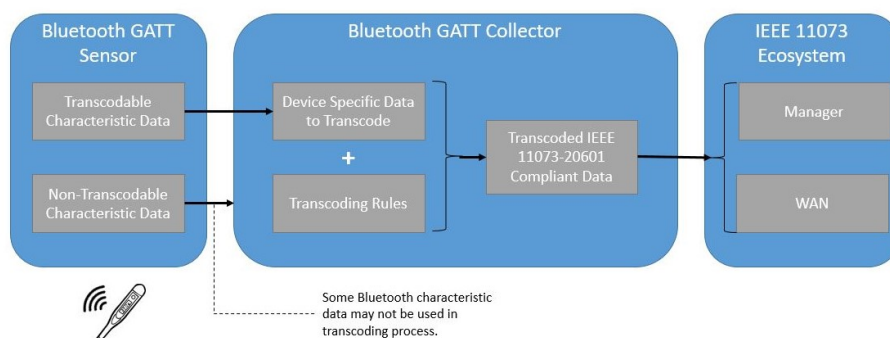


Figura 2-12. Flujo de datos con middleware (Fuente: [9])

En cuanto al mapeo de los datos, en el *whitepaper* [11], elaborado por Bluetooth SIG, referente a la conversión en dispositivos de salud personal se propone una estructura que cubre parte de atributos procedentes desde dispositivos IEEE 11073 y define un camino para mapear los mismos en dispositivos BLE; sin embargo, existen atributos X73 que no están respaldados en este documento y sobre los que no se arroja ningún dato.

En otros casos, se encuentran propuestas en las que se trata el estándar X73, en la pericia por encontrar un sistema válido para la integración, como una capa de aplicación situada en la cúspide de la pila de protocolos (ver Figura 2-13) [12] [13].

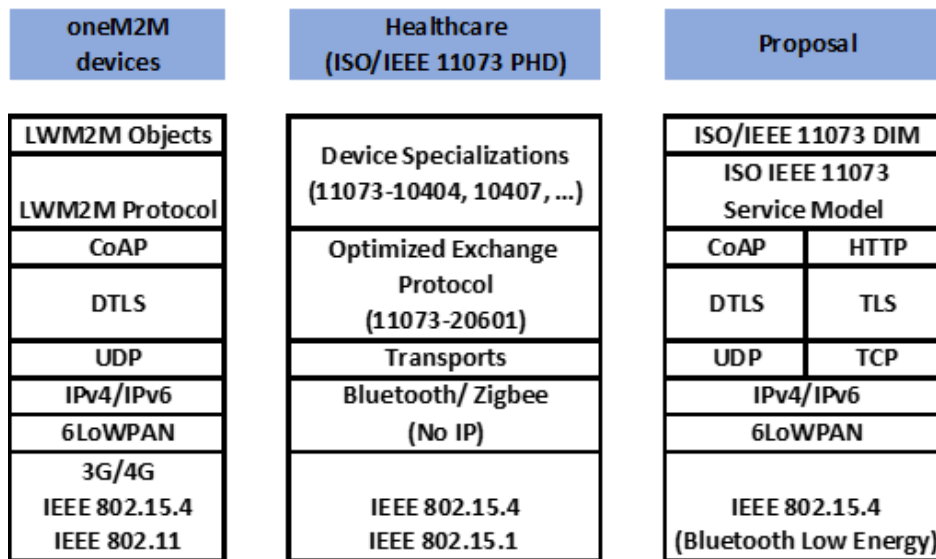


Figura 2-13. Pila de protocolos propuesta para servicios healthcare (Fuente: [12])

Para completar este panorama tecnológico de aparente incompatibilidad natural de las tecnologías en cuestión, hay investigaciones que afirman que, en base a sus experiencias e implementaciones [14], existen especificaciones Bluetooth que cumplen los requisitos de diseño de un perfil GATT casi por completo [15] [16] [17].

La revisión bibliográfica de los diversos estudios e implementaciones, y sus conclusiones, y ante la falta de estandarización y documentación, relativos a la integración de X73 sobre BLE, lleva a adoptar una solución que pasa por implementar perfiles GATT BLE acorde a las necesidades de la Norma IEEE 11073 de manera específica para dispositivos destinados a un determinado uso; que es la propuesta que se realiza en este Trabajo Fin de Grado.

3 PROPUESTA DE MODELO DE DATOS PARA MONITORES DE BIOIMPEDANCIA

Aunque nuestra visión hacia adelante es muy corta, podemos darnos cuenta de que hay mucho por hacer.

- Alan Turing -

El estudio del sensor de bioimpedancia [3], como objetivo específico del presente trabajo, es esencial para comprender las necesidades comunes y las necesidades específicas de cada dispositivo en lo relativo a la interoperabilidad. El principal interés, de este trabajo, es encapsular los datos resultantes de la configuración del dispositivo y las mediciones realizadas sobre el sujeto según la norma IEEE 11073 para su posterior envío sobre Bluetooth LE al dispositivo receptor que procesará la información obtenida.

Para encauzar la solución, específica para este tipo de dispositivos, conocer la naturaleza de la bioimpedancia se presenta como un pilar fundamental. Tomar consciencia del uso y las ventajas de este sensor, de su modelo matemático y de los parámetros relativos a las propias mediciones supone el primer paso para reconocer las necesidades de la bioimpedancia de cara a fundamentar la implementación de la solución.

Por otro lado, el segundo paso es encajar los parámetros asociados a una medida de bioimpedancia dentro de la estructura de datos X73. Es decir, tomar las necesidades obtenidas en el paso anterior e indentificarlas dentro del modelo de información de la Norma IEEE 11073.

La inexistencia de un perfil GATT de BLE que proporcione una estructura de datos que englobe todas las necesidades de la bioimpedancia, provoca que, finalmente, se proponga un nuevo posible perfil GATT para *Bluetooth Low Energy*. Este perfil GATT propuesto, pretende encapsular toda la estructura de datos X73 definida conteniendo todos los parámetros necesarios relativos a los valores medidos proporcionados por la bioimpedancia.

3.1 Aplicaciones de la bioimpedancia

A lo largo de los últimos años, tecnologías como la Bioimpedancia ha tomado un papel de peso entre las tecnologías de sensorización debido a que nos permite tener una visión de los procesos internos del cuerpo de manera no invasiva [18] [19]. Un hecho relevante para el florecimiento de este tipo de tecnologías centradas en la salud, es el aumento paulatino de la esperanza de vida que a su vez produce un envejecimiento de la población y eleva los casos de enfermedades crónicas [20] [21]. Esta situación impacta sobre la estructura socioeconómica ya que implica aumento de gasto social destinado a mejoras en los sistemas médicos para garantizar el estado de bienestar social.

Sin duda, el aumento de la esperanza de vida con el aumento de las enfermedades crónicas estrechamente

relacionadas ha supuesto un gran impulso para las nuevas tecnologías destinadas a paliar dichos problemas de cara a mejorar la asistencia sanitaria y la calidad de vida [22].

Poniendo el foco sobre la impedancia, las técnicas relacionadas con dicha tecnología se basan en la introducción de una corriente eléctrica alterna de baja intensidad en el cuerpo humano, en un tejido o en un conjunto de células [23] basándose en el hecho de que los tejidos biológicos tienden a comportarse como conductores, dieléctricos o aislantes de electricidad dependiendo de su composición. Haciendo uso de estas propiedades de los medios biológicos, podemos obtener información sobre la fisiología y las patologías de los tejidos y células altamente dependientes con la frecuencia.

Entre las aplicaciones de la bioimpedancia en términos de salud, destaca sobre todo la estimación de la composición corporal que nos permite evaluar en el mayor de los casos la nutrición e hidratación.

Gracias a las técnicas de bioimpedancia, los tejidos orgánicos pueden caracterizarse; pero no solo los cuerpos orgánicos, también es posible obtener las características propias de elementos inorgánicos [24]. En este camino, las mediciones de bioimpedancia se han empleado para mediciones en la piel [24], para la detección y caracterización de tejido canceroso, así como para controlar la isquemia y la viabilidad de los órganos trasplantados [25] [26] y el monitoreo de las funciones cerebrales y pulmonares [27] [28].

3.1.1 Fundamentos de la bioimpedancia

La impedancia (Z), o bioimpedancia cuando se trata de un medio biológico, se define como la relación de un voltaje sobre la corriente eléctrica que genera ($Z = V / I$) y representa la oposición de un conductor a la circulación de una corriente eléctrica [23]. Esta propiedad depende de las características de los cuerpos a través de los cuales fluye la corriente teniendo en cuenta la frecuencia. Profundizando más, la bioimpedancia es un número complejo con resistencia eléctrica (R) como parte real y reactancia (X_c) como parte imaginaria, ambas medidas en Ohmios.

$$Z = R + jX_c \quad (2-4)$$

■

R se describe como la oposición del medio al flujo de corriente eléctrica y es inversamente proporcional a la conductancia [29]. El otro componente, X_c , se puede definir como la oposición del medio a un cambio en la electricidad corriente y es inversamente proporcional a la capacitancia (los medios biológicos pueden considerarse capacitivos) [30].

Una característica propia de los medios biológicos es la presencia de agua. En su interior, podemos diferenciar el medio intracelular (ICW) y el medio extracelular (ECW); ambos conductores [23]. Su comportamiento se asemeja al de una capacidad en la que ICW y ECW son placas del condensador y la membrana que los separa es el material dieléctrico [29]. De aquí, a bajas frecuencias, la corriente fluye principalmente a través del espacio entre las celdas (ver Figura 2-4). A medida que aumenta la frecuencia, una mayor cantidad de la corriente también penetra en el medio intracelular; en mayor medida a mayor frecuencia.

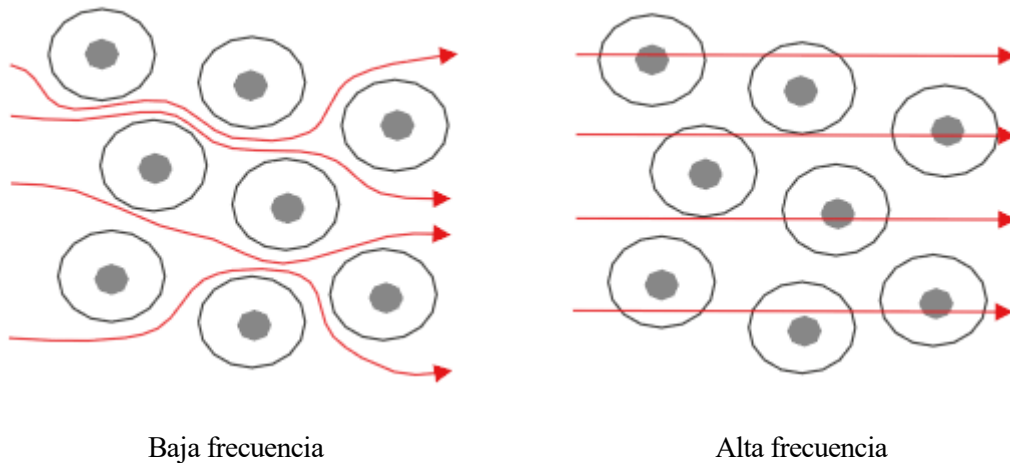


Figura 3-1. La corriente fluyendo en un medio biológico a baja y alta frecuencia (Fuente: [23])

Las ventajas que encontramos en los métodos de medición de la impedancia es que la mayoría de los dispositivos son portátiles y de bajo costo. Además las mediciones no requieren de mucha complejidad por lo que la formación en el uso de los dispositivos es mínima, por no hablar de la fiabilidad de las medidas. Finalmente, al ser una medida no invasiva, se pueden realizar mediciones de manera repetida sobre un cuerpo biológico y solo requiere la colocación de electrodos en el exterior cuerpo [29] [30].

3.1.2 Modelado de la bioimpedancia

Para poder sacar provecho del comportamiento de los tejidos biológicos, se han propuesto diversos modelos matemáticos y electrónicos que se aproximan a esta situación. El modelo más simple para este complejo comportamiento representa el flujo instantáneo en dos ramas paralelas, a través de la parte extracelular y a través de la parte intracelular [31].

La parte extracelular se considera puramente resistiva, mientras que la ruta intracelular tiene la parte capacitiva de la membrana celular; así pues, esta última presenta una dependencia en la impedancia con la frecuencia. Como hemos observado antes, para modelar este comportamiento se han considerado diferentes circuitos eléctricos; algo esencial, ya que posibilita el análisis de forma independiente en un sistema de material heterogéneo.

Existen modelos en los que las impedancias y los condensadores se encuentran en serie, otros modelos los presentan en paralelo y los hay aún más complejos [32]. El circuito más estándar con el que se representan los tejidos biológicos está formado por una resistencia para definir la trayectoria extracelular de la corriente (R_e) colocada en paralelo con el segundo brazo, que representa la corriente intracelular, en el que se colocan, en serie, una capacidad y una resistencia (R_i) [23] (ver Figura 2-5).

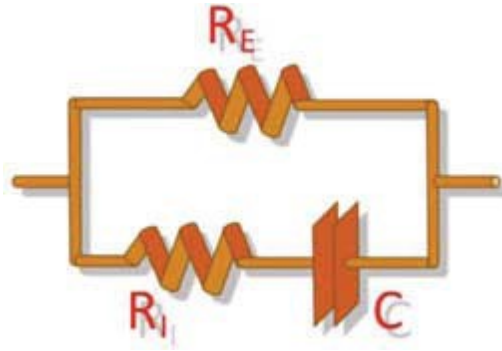


Figura 3-2. Modelo de circuito de un tejido biológico (Fuente: [23])

De esta forma, la impedancia del circuito en la Figura 2-5 se corresponde con la siguiente expresión:

$$Z = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + j\omega\tau} \quad (2-5)$$

Donde R_{∞} es el paralelo de las resistencias extracelulares e intracelulares (R_e y R_i) y R_0 es equivalente a la resistencia extracelular (R_e). En una gráfica en la que se representa la impedancia del modelo del circuito para cada una de las frecuencias desde cero a infinito, se obtiene una impedancia de curva circular cuya forma es el resultado de características eléctricas y estructurales del tejido. En corriente continua, los condensadores actúan como aislantes y toda la corriente pasa a través del líquido extracelular. La impedancia de frecuencia cero es completamente resistiva (R_0), sobre el eje real, y con el mismo valor que R_e . Si el circuito está excitado con una corriente eléctrica de frecuencia infinita, el condensador actuaría como un conductor perfecto y la corriente pasaría por ambas resistencias, R_i y R_e , que se encuentran en paralelo, por lo que el resultado es una impedancia completamente resistiva (R_{∞}). El modelo nos lleva a que la posición de la impedancia en la gráfica se mueve en el sentido contrario a las agujas del reloj en un semicírculo de R_0 a R_{∞} [23]. Es lo que se conoce como la gráfica Cole-Cole (ver Figura 2-6).

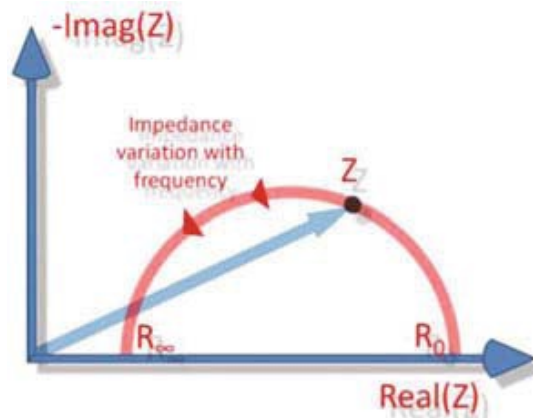


Figura 3-3. Gráfica Cole-Cole (Fuente: [23])

En 1928, Cole descubrió que las mediciones de impedancia de materiales biológicos tenía una forma circular, pero su centro estaba ubicado debajo del eje de resistencia [31]. La causa de este efecto viene del hecho de que

las membranas celulares no son condensadores perfectos y las grandes diferencias entre los tipos y tamaños de las células de los tejidos en los organismos biológicos causan una distribución de las constantes de tiempo. Este comportamiento se ve como la superposición de múltiples efectos de dispersión de membranas, cada una con diferentes constantes de tiempo.

En 1941, Cole y Cole mostraron que, cuando hay una distribución de las constantes de tiempo, la impedancia compleja se puede representar con la siguiente expresión:

$$Z = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^{(1-\alpha)}} \quad (2-6)$$

Donde α ($0 \leq \alpha \leq 1$) es un parámetro característico de la distribución de la relajación de frecuencias debido a las diferentes estructuras en un material heterogéneo, y $\theta = (\pi/2)\alpha$ es el ángulo en el que se mueve el centro del círculo debajo del eje real (ver Figura 2-7).

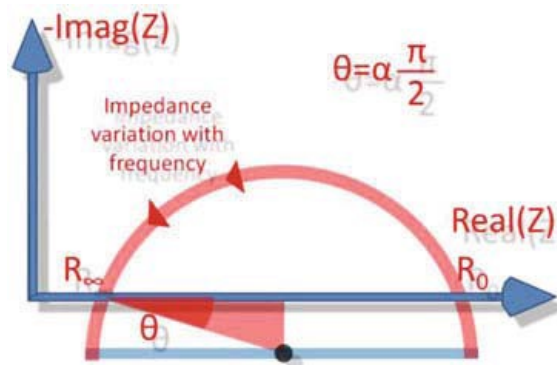


Figura 3-4. Centro de desplazamiento del semicírculo de impedancia (Fuente: [23])

Para concluir, el modelo Cole-Cole fue extendido para introducir un retardo de tiempo invariante con frecuencia (T_d), que se debe a muchas causas [16]. Este nuevo componente está modelado por un desfase que aumenta linealmente con la frecuencia como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Z = \left(R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^{(1-\alpha)}} \right) e^{-j\omega T_d} \quad (2-7)$$

3.1.3 Parámetros asociados a una medida de bioimpedancia

Una vez más, este comportamiento de los tejidos biológicos permite, por los métodos de medición de bioimpedancia, obtener medidas del interior del organismo que tras el procesado y aplicación de los distintos modelos proveerán información sobre la composición de los tejidos que podrían facilitar un diagnóstico.

Los parámetros medidos por bioimpedancia se detallan a continuación:

Tabla 3–1. Parámetros antropométricos

Parámetro	Unidad de medida	Descripción
Peso	Kg	Peso del sujeto a estudio, medido en kilogramos
Estatura	cm	Altura del sujeto a estudio, medida en centímetros
Fecha de nacimiento	Día, mes y año	Día, mes y año de nacimiento del sujeto a estudio para realizar el cálculo de la edad

Tabla 3–2 Parámetros de bioimpedancia

Parámetro	Unidad de medida	Descripción
Lista de elementos de longitud variable formada por tres componentes		
Frecuencia	kHz	Frecuencia de la impedancia, medida en kilohercios
Módulo	Ω	Módulo de la impedancia, medido en ohmios
Fase	$^{\circ}$	Fase de la bioimpedancia, medida en grados
Modelo de bioimpedancia		
R_0	Ω	Resistencia a frecuencia cero, medida en ohmios
R_{∞}	Ω	Resistencia a frecuencia infinita, medida en ohmios
R_e	Ω	Resistencia extracelular, medida en ohmios
R_i	Ω	Resistencia intracelular, medida en ohmios
C	nF	Capacidad asociada a las membranas celulares, medida en nanofaradios.
α		Parámetro característico de la distribución de las frecuencias de relajación. Es un parámetro adimensional.
T_D	ns	Retraso temporal invariante con la frecuencia, medido en nanosegundos.

Tabla 3–3. Parámetros de composición corporal

Parámetro	Unidad de medida	Descripción
Masa celular corporal (BCM, del inglés <i>Body Cell Mass</i>)	kg	Formada por todas las células que tienen un efecto en el metabolismo (músculos, órganos, sistema nervioso, células sanguíneas, etc.). Factor clave cuando se evalúa el estado nutricional de un paciente. Un valor alto puede indicar un buen estado nutricional, aunque también puede indicar una retención de líquidos a nivel intracelular. Un nivel bajo puede indicar malnutrición, caquexia e incluso deshidratación. Se mide en kilogramos.
% BCM	%	Porcentaje de BCM en la masa libre de grasa. Utilizado como parámetro normalizado del estado nutricional y la condición física del paciente. Un valor alto está relacionado con un buen estado nutricional. Un valor bajo está relacionado con malnutrición. Se mide en tanto por ciento.
Volumen de agua extracelular (ECW, del inglés <i>Extra-Cellular Water</i>)	l	Formada por el agua del compartimento extracelular. Un valor alto o un incremento en su valor pueden indicar retención de líquidos extracelulares (Edema). Un valor bajo o un decremento en su valor pueden indicar pérdida de líquidos extracelulares (poliuria). Se mide en litros.
Volumen de agua intracelular (ICW, del inglés <i>Intra-Cellular Water</i>)	l	Formada por el agua del compartimento intracelular. Es la porción de agua de BCM. Se mide en litros.
Agua corporal total (TBW, del inglés <i>Total Body Water</i>)	l	Formada por la suma del agua intracelular y extracelular. Un alto valor puede indicar una alta masa muscular pero también retención de líquidos (edema). Un valor bajo puede indicar una baja masa muscular, aunque también puede estar relacionado con un estado de deshidratación. Se mide en litros.
Masa libre de grasa (FFM, del inglés <i>Fat-Free Mass</i>)	kg	Todo lo que no es grasa corporal. Un valor bajo es común en personas mayores y enfermos crónicos. Se mide en kilogramos.
% FFM	%	Porcentaje de masa libre de grasa. Se mide en tanto por ciento.
Índice de masa libre de grasa (FFMI, del inglés <i>Fat Free Mass Index</i>)	kg/m ²	FFMI es el resultado de dividir la masa libre de grasa en kilogramos entre la altura en metros del sujeto al cuadrado. Se mide en kilogramos dividido por metros cuadrados.
Masa grasa (FM, del inglés <i>Fat Mass</i>)	kg	Un valor elevado está relacionado con la obesidad y la acumulación de grasa en órganos y tejidos internos. Se mide en kilogramos.
% FM	%	El porcentaje de masa grasa puede ser un indicador de las reservas de grasa del paciente. Se mide en tanto por ciento.
Índice de masa grasa (FMI, del inglés <i>Fat Mass Index</i>)	kg/m ²	Se corresponde con la masa grasa en kilogramos entre la altura en metros del sujeto al cuadrado. Se mide en kilogramos dividido por metros cuadrados.

3.2 Estructura de datos IEEE 11073

En primer lugar es importante definir la codificación que tendrán las unidades de medida en el estándar IEEE 11073. En la tabla 3-4 se resume la relación entre las dimensiones necesarias y su codificación según la norma X73 [33] [34] [35] [36] [37] [11].

Tabla 3-4. Codificación de unidades en IEEE 11073

Dimensión	Símbolo	ID IEEE 11073	Código IEEE 11073
Kilogramos	kg	MDC_DIM_KILO_G	1731
Centímetros	cm	MDC_DIM_CENTI_M	1297
Día	dd	MDC_DIM_DAY	2272
Mes	mm	MDC_DIM_MONTH	
Año	yyyy	MDC_DIM_YEAR	
Kilohercios	kHz	MDC_DIM_KILO_HZ	
Ohmios	Ω	MDC_DIM_X_OHM	
Grados	°	MDC_DIM_X_DEG	
Nanofaradios	nF	MDC_DIM_NANO_F	
Nanosegundos	ns	MDC_DIM_NANO_S	
Porcentaje	%	MDC_DIM_PERCENT	544
Litros	l	MDC_DIM_X_L	
Kilogramos por metro cuadrado	Kg/m ²	MDC_DIM_KG_PER_M_SQ	1955

Cada valor obtenido en la medición también irá codificado, indicando tanto el parámetro medido como el valor obtenido en la medición. La tabla 3-5 resume la relación entre los parámetros medidos y la codificación según la norma IEEE 11073 [33] [34] [35] [36] [37] [11].

Tabla 3-5. Codificación de atributos medidos

Atributo medido	ID Atributo IEEE 11073	Código IEEE 11073
Peso	MDC_PART_SCADA, MDC_MASS_BODY_ACTUAL	57664
Estatura	MDC_PART_SCADA, MDC_LEN_BODY	
Sexo	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Día	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Mes	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Año	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Frecuencia	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Modulo	MDC_PART_SCADA, (no definido)	57708
Fase	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
R_0	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
R_∞	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
R_e	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
R_i	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
C	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
α	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
T_D	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Masa celular corporal (BCM)	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
% BCM	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Volumen de agua extracelular (ECW)	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Volumen de agua intracelular (ICW)	MDC_PART_SCADA, (no definido)	

Agua corporal total (TBW)	MDC_PART_SCADA, MDC_BODY_WATER	57692
Masa libre de grasa (FFM)	MDC_PART_SCADA, MDC_MASS_BODY_FAT_FREE	57684
% FFM	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Índice de masa libre de grasa (FFMI)	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Masa grasa (FM)	MDC_PART_SCADA, MDC_BODY_FAT	57676
% FM	MDC_PART_SCADA, (no definido)	
Índice de masa grasa (FMI)	MDC_PART_SCADA, (no definido)	

En la tabla 3-5, se aprecia que no todos los parámetros se encuentran definidos en el estándar IEEE 11073, por lo que se propone una definición para los parámetros restantes; teniendo presente que los unit code que se encuentran reservados para la definición de los atributos se encuentran entre el 32768 y el 65535:

Sexo: este *unit code* se encuentra reservado pero aún no tiene asignado ningún identificador referencial en la norma IEEE 11073.

Día, mes y año: se propone la definición del atributo complejo “Fecha de nacimiento” como una lista de tres atributos distinguidos: día, mes y año; asignándole un *unit code* reservado que aún no tenga asignado identificador referencial en la norma IEEE 11073. Una forma de definición en código C de esta estructura, siguiendo las directrices de la norma IEEE 11073, es:

```
typedef struct FechaNacimiento {
    intu8 day;
    intu8 month;
    intu16 year;
} FechaNacimiento;
```

Frecuencia, impedancia y fase: se propone la definición del atributo “Configuración de bioimpedancia” como una estructura compuesta por la frecuencia, el módulo de la bioimpedancia y la fase de la bioimpedancia; asignándole un *unit code* reservado que no tenga asignado identificador referencial en la norma IEEE 11073. Una forma de definición en código C de esta estructura, siguiendo las directrices de la norma X73, es:

```
typedef struct ConfiguracionBioimpedancia {
    FLOAT_Type frecuencia;    /* Frecuencia */
    FLOAT_Type modulo;    /* Módulo de la bioimpedancia */
    FLOAT_Type fase;        /* Fase de la bioimpedancia */
} ConfiguracionBiopimpedancia;
```

De esta forma, se define posteriormente una lista de configuraciones para contemplar el uso de la medición en multifrecuencia. La definición en código C de esta estructura, de acuerdo con el estándar X73 es:

```
typedef struct ListaConfiguracionesBioimpedancia {
    intu16 count;                /* Número de elementos */
    intu16 length;              /* Número de octetos */
    ConfiguracionBioimpedancia value[1]; /* Primer elemento */
} ListaConfiguracionesBioimpedancia;
```

Modelo de bioimpedancia: el modelo de bioimpedancia recoge los parámetros R_0 , R_∞ , R_e , R_i , C , α y T_D . Se propone la definición de un atributo que recoja los parámetros anteriores de manera que definan el modelo de manera unívoca. La definición en código C de esta estructura, conforme a la norma IEEE 11073 es:

```
typedef struct ModeloBioimpedancia {
    FLOAT_Type r_cero; /* Resistencia a frecuencia cero */
    FLOAT_Type r_inf; /* Resistencia a frecuencia infinita */
    FLOAT_Type r_e; /* Resistencia extracelular */
    FLOAT_Type r_i; /* Resistencia intracelular */
    FLOAT_Type c; /* Capacidad asociada a las membranas celulares en nanofaradios */
    FLOAT_Type alfa; /* Parámetro característico de la distribución de las frecuencias de relajación */
    FLOAT_Type t_d; /* Retraso temporal invariante con la frecuencia en nanosegundos */
} ModeloBioimpedancia;
```

Finalmente, los atributos necesarios para la transmisión de los parámetros medidos siguiendo el protocolo de la norma IEEE 11073 son los detallados a continuación:

Handle: cada medición requiere tener un identificador único distinto de cero designado durante la implementación. Este atributo es obligatorio [36].

Type: el *unit code* que define qué parámetro estamos enviando. Este parámetro es obligatorio.

Metric-Spec-Small: este atributo describe las características de las mediciones. Permite a un agente alterar la configuración de bit antes de enviar la primera observación. Una vez que se ha enviado la observación, el agente no actualizará dicho atributo. Este atributo es obligatorio [36].

Unit-Code: este atributo define el código de nomenclatura para las unidades de medida. Este atributo es opcional [37].

Absolute-Time-Stamp: este atributo define fecha y tiempo de observación con una precisión de centésimas de segundo. Es un atributo opcional ya que está pensado para un uso más ligado a la auditoría de datos que al uso del propio valor [36].

Simple-Nu-Observed-Value: este atributo define el valor numérico observado. La presencia de este atributo condiciona que el valor observado corresponde a un parámetro simple [36].

Compound-Simple-Nu-Observed-Value: este atributo representa una matriz de elementos del tipo anterior, *Simple-Nu-Observed-Value*. La aparición de este parámetro significa que se han tomado varias mediciones relativas a un parámetro o a más de uno [36].

Así, la codificación propuesta para los parámetros descritos anteriormente relativa a la transmisión de los mismos con objeto del estudio de la bioimpedancia se detalla a continuación:

3.2.1 Peso

La tabla 3-6 resume la codificación propuesta para el parámetro “Peso” siguiendo la norma IEEE 11073 [34] [35] [11].

Tabla 3–6. Codificación X73 para el parámetro Peso

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	1
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, 57664
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	1731
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

3.2.2 Estatura

La tabla 3-7 resume la codificación propuesta para el parámetro “Estatura” de acuerdo con la norma IEEE 11073 [34] [35] [11].

Tabla 3–7. Codificación X73 para el parámetro Estatura

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	2
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	1297
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.3 Sexo

La tabla 3-8 resume la codificación propuesta para el parámetro “Sexo” siguiendo el estándar X73 [33] [36].

Tabla 3–8. Codificación X73 para el parámetro Sexo

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	3
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	INT-U8	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

En este caso, se propone codificar el valor del parámetro “Sexo” según al tabla 3-9 [38].

Tabla 3–9. Codificación del valor del parámetro Sexo

Valor	Código
Desconocido	0
Masculino	1
Femenino	2
No especificado	9

3.2.4 Fecha de nacimiento

La tabla 3-10 resume la codificación propuesta para el parámetro “Fecha de nacimiento” conforme a la norma IEEE 11073 [33] [36].

Tabla 3–10. Codificación X73 para el parámetro Fecha de nacimiento

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	4
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Compound-Simple-Nu-Observed-Value	(INT-U16, INT-U8, INT-U8)	[yyyy, mm, dd]

*: valor no definido en la norma.

3.2.5 Modelo de bioimpedancia

La tabla 3-11 resume la codificación de los parámetros relacionados con el modelo de bioimpedancia, R_0 , R_∞ , R_e , R_i , C , α y T_D , de acuerdo con la norma X73 [33] [36].

Tabla 3–11. Codificación X73 para el modelo de bioimpedancia

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	5
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Compound-Simple-Nu-Observed-Value	(FLOAT_Type, FLOAT_Type, FLOAT_Type, FLOAT_Type, FLOAT_Type, FLOAT_Type, FLOAT_Type)	[R_0 , R_∞ , R_e , R_i , C , α , T_D]

*: valor no definido en la norma.

3.2.6 Masa celular corporal (BCM)

La tabla 3-12 resume la codificación propuesta para el parámetro “BCM” de acuerdo a la norma IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–12. Codificación X73 para el parámetro Masa celular corporal (BCM)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	6
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, 57704
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	1731
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

3.2.7 % BCM

La tabla 3-13 resume la codificación propuesta para el parámetro “% BCM” conforme a la norma IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–13. Codificación X73 para el parámetro % BCM

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	7
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	544
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.8 Volumen de agua extracelular (ECW)

La tabla 3-14 resume la codificación propuesta para el parámetro “ECW” conforme a la norma IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–14. Codificación X73 para el parámetro Volumen de agua extracelular (ECW)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	8
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	*
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.9 Volumen de agua intracelular (ICW)

La tabla 3-15 resume la codificación propuesta para el parámetro “ICW” teniendo en cuenta las indicaciones detalladas en la norma X73 [35] [36] [11].

Tabla 3–15. Codificación X73 para el parámetro Volumen de agua intracelular (ICW)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	9
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	*
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.10 Agua corporal total (TBW)

La tabla 3-16 resume la codificación propuesta para el parámetro “TBW” en concordancia con el estándar IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–16. Codificación X73 para el parámetro Agua corporal total (TBW)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	10
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	*
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.11 Masa libre de grasa (FFM)

La tabla 3-17 resume la codificación propuesta para el parámetro “FFM” de acuerdo con la norma X73 [35] [36] [11].

Tabla 3–17. Codificación X73 para el parámetro Masa libre de grasa (FFM)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	11
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, 57684 [mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Metric-Spec-Small	BITS-16	
Unit-Code	INT-U16	1731
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.12 % FFM

La tabla 3-18 resume la codificación propuesta para el parámetro “% FFM” conforme a la norma IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–18. Codificación X73 para el parámetro % FFM

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	12
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, * [mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Metric-Spec-Small	BITS-16	
Unit-Code	INT-U16	544
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.13 Índice de masa libre de grasa (FFMI)

La tabla 3-19 resume la codificación propuesta para el parámetro “FFMI” siguiendo las pautas definidas en la norma IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–19. Codificación X73 para el parámetro Índice de masa libre de grasa (FFMI)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	13
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	1955
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.14 Masa grasa (FM)

La tabla 3-20 resume la codificación propuesta para el parámetro “FM” conforme a las indicaciones referidas en el estándar X73 [35] [36] [11].

Tabla 3–20. Codificación X73 para el parámetro Masa grasa (FM)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	14
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, 57676
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	1731
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

3.2.15 % FM

La tabla 3-21 resume la codificación propuesta para el parámetro “% FM” conforme a la norma IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–21. Codificación X73 para el parámetro % FM

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	15
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	544
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.16 Índice de masa grasa (FMI)

La tabla 3-22 resume la codificación propuesta para el parámetro “FMI” de acuerdo con el estándar IEEE 11073 [35] [36] [11].

Tabla 3–22. Codificación X73 para el parámetro Índice de masa grasa (FMI)

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	16
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Unit-Code	INT-U16	1955
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	FLOAT-Type	[Valor observado]

*: valor no definido en la norma.

3.2.17 Lista de configuración de bioimpedancia

Para dar versatilidad al modelo y permitir el barrido de un número libre de frecuencias, se propone codificar como un atributo único el número total de frecuencias. La tabla 3-23 resume la codificación del parámetro que identifica el número de frecuencias utilizadas siguiendo la norma IEEE 11073 [33] [36].

Tabla 3–23. Codificación X73 para el número de frecuencias usadas

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	17
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Simple-Nu-Observed-Value	INT-U16	[n frecuencias]

*: valor no definido en la norma.

El número total de frecuencias determina el número de atributos que se generarán a continuación y que contendrán un trío de valores formado por la frecuencia configurada, el módulo de bioimpedancia observado y la fase de bioimpedancia observada. Todos estos atributos generados tendrán valores secuenciales para el atributo *Handle*, que los identifica unívocamente. Sin embargo, el valor para el atributo *Type* será el mismo en todos los casos. La tabla 3-24 resume la codificación de los tríos de datos relacionados con la configuración de bioimpedancia, cumpliendo el esquema definido por la norma IEEE 11073 [33] [36].

Tabla 3–24. Codificación X73 para el número de frecuencias usadas

Atributo 11073-20601	Tipo de dato IEEE 11073-20601	Valor
Handle	INT-U16	[de 18 a 18 + n frecuencias – 1]
Type	(INT-U16, INT-U16)	2, *
Metric-Spec-Small	BITS-16	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]
Absolute-Time-Stamp	(INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8, INT-U8)	[Sello de tiempo de la observación]
Compound-Simple-Nu-Observed-Value	(FLOAT_Type, FLOAT_Type, FLOAT_Type)	[Frecuencia, Módulo, Fase]

*: valor no definido en la norma.

3.3 Estructura de datos en Bluetooth Low Energy

Como ya se ha concluido en el capítulo 2, Revisión de los estándares IEEE 11073 y Bluetooth Low Energy, la interfaz de Bluetooth de Baja Energía no hace uso del protocolo IEEE 11073 para el intercambio de dato aunque si utiliza el protocolo BLE con tipos de datos compatibles con las nomenclaturas definidas en [38] y el modelo de información de dominio DIM definido en [36]. Para hacer compatible la equivalencia entre los dos protocolos y cubrir los atributos obligatorios de las especializaciones de dispositivo [IEEE 11073-104xx], el *whitepaper* redactado por Bluetooth SIG para la transcodificación de dispositivos de salud personal, [11], describe cómo realizar dicha transcodificación entre BLE y DIM IEEE.

Los perfiles Bluetooth LE a los cuales se hace referencia en [5] están diseñados para ser compatibles con el modelo de información del dispositivo IEEE 11073 y la nomenclatura de la especialización correspondiente, [34] [35]. En [11] se detalla información para relacionar el modelo de información de dispositivo (DIM) con la nomenclatura de las especializaciones antes mencionadas, [34] [35].

En relación a las unidades de medida, la codificación definida por Bluetooth SIG [11] se resume en la tabla 3-25.

Tabla 3–25. Codificación de unidades en BLE

Unidad	ID IEEE 11073	Código IEEE 11073	Tipo BLE	Valor BLE
kg	MDC_DIM_KILO_G	1731	org.bluetooth.unit.mass.kilogram	0x2702
cm	MDC_DIM_CENTI_M	1297	org.bluetooth.unit.length.metre	0x2701
Día	MDC_DIM_DAY	2272	org.bluetooth.unit.time.day	0x2762
Mes	MDC_DIM_MONTH		org.bluetooth.unit.time.month	0x27B4
Año	MDC_DIM_YEAR		org.bluetooth.unit.time.year	0x27B3
kHz	MDC_DIM_KILO_HZ		org.bluetooth.unit.frequency.hertz	0x2722
Ω	MDC_DIM_X_OHM		org.bluetooth.unit.electric_resistance.ohm	0x272A
°	MDC_DIM_X_DEG		org.bluetooth.unit.plane_angle.degree	0x2763
nF	MDC_DIM_NANO_F		org.bluetooth.unit.capacitance.farad	0x2729
ns	MDC_DIM_NANO_S		org.bluetooth.unit.time.second	0x2703
%	MDC_DIM_PERCENT	544	org.bluetooth.unit.percentage	0x27AD
l	MDC_DIM_X_L		org.bluetooth.unit.volume.litre	0x2767
Kg/m ²	MDC_DIM_KG_PER_M_SQ	1955	org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre	0x2716

A continuación, se propone la codificación en Bluetooth Low Energy de los atributos observados manteniendo la compatibilidad con el modelo de información del estándar IEEE 11073.

3.4.1 Peso

La tabla 3-26 resume la codificación Bluetooth LE del atributo “Peso” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–26. Codificación BLE para el parámetro Peso

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	1	N/A	N/A	N/A
Type	2, 57664	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1731	Weight Measurement	Weight Scale	Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Weight Measurement	Weight Scale	Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Weight Measurement	Weight Scale	Aggregate

N/A: no aplica.

El atributo “Peso” posee en el servicio Weight Scale Service de Bluetooth una definición de la precisión de la medida. Esta se especifica en los bits del 3 al 6 siendo el LSB es el bit 3 y el MSB el bit 6. En la tabla 3-27 se muestra la relación de precisión de acuerdo al protocolo Bluetooth [11].

Tabla 3–27. Precisión de la medida del peso según el servicio Weight Scale

Precisión de la medición (bits 6, 5, 4, 3)	Precisión	Exponente para kg
0b0000	No especificada	-3
0b0001	0.5kg	-1
0b0010	0.2kg	-1
0b0011	0.1kg	-1
0b0100	0.05kg	-2
0b0101	0.02kg	-2
0b0110	0.01kg	-2
0b0111	0.005kg	-3
0b1000 a 0b1111	Reservado para uso futuro	N/A

N/A: no aplica.

Sin embargo, en el servicio Body Composition Service de Bluetooth, la precisión de la medición del atributo “Peso”, denominado “Masa corporal” en este servicio, se especifica en los bits 11, 12, 13 y 14. Igualmente se encuentra el LSB en el bit 11 y el MSB en el bit 14. En la tabla 3-28 se muestra la relación de precisión de acuerdo al protocolo Bluetooth en relación con el servicio mencionado [11].

Tabla 3–28. Precisión de la medida del peso según el servicio Body Composition

Precisión de la medición (bits 14, 13, 12, 11)	Precisión	Exponente para kg
0b0000	No especificada	-3
0b0001	0.5kg	-1
0b0010	0.2kg	-1
0b0011	0.1kg	-1
0b0100	0.05kg	-2
0b0101	0.02kg	-2
0b0110	0.01kg	-2
0b0111	0.005kg	-3
0b1000 a 0b1111	Reservado para uso futuro	N/A

N/A: no aplica.

3.4.2 Estatura

La tabla 3-29 resume la codificación Bluetooth LE del atributo “Estatura” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–29. Codificación BLE para el parámetro Estatura

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	2	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec- Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss- msmt-aperiodic, mss- acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1297	Weight Measurement	Weight Scale	Aggregate
Absolute-Time- Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Weight Measurement	Weight Scale	Aggregate
Simple-Nu- Observed-Value	[Valor observado]	Weight Measurement	Weight Scale	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Al igual que el atributo “Peso”, el atributo “Estatura” posee en el servicio Weight Scale Service de Bluetooth una definición de la precisión de la medida. Esta se especifica en los bits del 7 al 9 siendo el LSB es el bit 7 y el MSB el bit 9. En la tabla 3-30 se muestra la relación de precisión de acuerdo al protocolo Bluetooth [11].

Tabla 3–30. Precisión de la medida de la estatura según el servicio Weight Scale

Precisión de la medición (bits 9, 8, 7)	Precisión	Exponente para kg
0b000	No especificada	-3
0b001	0.01m	-2
0b010	0.005m	-3
0b011	0.001m	-3
0b100 a 0b111	Reservado para uso futuro	N/A

N/A: no aplica.

Sin embargo, en el servicio Body Composition Service de Bluetooth, la precisión de la medición del atributo “Peso”, denominado “Masa corporal” en este servicio, se especifica en los bits 15, 16 y 17. Igualmente se encuentra el LSB en el bit 15 y el MSB en el bit 17. En la tabla 3-31 se muestra la relación de precisión de acuerdo al protocolo Bluetooth en relación con el servicio mencionado [11].

Tabla 3–31. Precisión de la medida de la estatura según el servicio Body Composition

Precisión de la medición (bits 17, 16,15)	Precisión	Exponente para kg
0b000	No especificada	-3
0b001	0.01m	-2
0b010	0.005m	-3
0b011	0.001m	-3
0b100 a 0b111	Reservado para uso futuro	N/A

N/A: no aplica.

3.4.3 Sexo

La tabla 3-32 resume la codificación Bluetooth LE del atributo “Sexo” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–32. Codificación BLE para el parámetro Sexo

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	3	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss- msmt-aperiodic, mss- acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Gender	User Data Service	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

A la hora de la codificación, se proponen los valores definidos en la tabla 3-33 de acuerdo con Bluetooth SIG (ver Anexo A) [39].

Tabla 3–33. Codificación BLE para los valores del parámetro “Sexo”

Valor	Codificación IEEE 11073	Codificación BLE
Desconocido	0	2
Masculino	1	0
Femenino	2	1
No especificado	9	2
Reservado para uso futuro	-	De 3 a 225

3.4.4 Fecha de nacimiento

La tabla 3-34 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “Fecha de nacimiento” observado que engloba a los valores de “Día”, “Mes” y “Año”, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–34. Codificación BLE para el parámetro Fecha de nacimiento

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	4	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Date of Birth	User Data Service	Aggregate
Compound-Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Date of Birth	User Data Service	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

En cuanto a la codificación del valor de año, es definido según Bluetooth SIG como lo determina el calendario Gregoriano. Teniendo como valor mínimo 1582 y como valor máximo el valor 9999; siendo el valor 0 la codificación correspondiente al desconocimiento del año (ver Anexo B).

La codificación del mes de nacimiento, igualmente de acuerdo al calendario Gregoriano, se resume en la tabla 3-35 (ver Anexo B).

Tabla 3–35. Codificación BLE para el mes de nacimiento

Nombre del mes	Código BLE
Desconocido	0
Enero	1
Febrero	2
Marzo	3
Abril	4
Mayo	5
Junio	6
Julio	7
Agosto	8
Septiembre	9
Octubre	10
Noviembre	11
Diciembre	12

Por otra parte, la codificación del día de nacimiento también sigue el formato definido por el calendario Gregoriano. El valor mínimo es 0, correspondiente al desconocimiento del año, y el valor máximo es 31.

3.4.5 Modelo de bioimpedancia

La tabla 3-36 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “Modelo de bioimpedancia” observado que engloba los valores R_0 , R_∞ , R_c , R_i , C , α , T_D , en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–36. Codificación BLE para el modelo de bioimpedancia

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	5	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Compound-Simple-Nu-Observed-Value	[R_0 , R_∞ , R_c , R_i , C , α , T_D]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

De acuerdo con [11], es posible definir una nueva característica denominada *Bioimped Model* (ver Anexo C) cuyo esqueleto xml se propone en el Anexo D.

3.4.6 Masa celular corporal (BCM)

La tabla 3-37 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “BCM” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–37. Codificación BLE para el parámetro BCM

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	6	N/A	N/A	N/A
Type	2, 57704	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1731			Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]			Aggregate

N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema de la característica *Bioimped*, que se ha implementado (ver Anexo E), de la siguiente forma:

```
<Field name="BCM">
  <InformativeText>Masa celular corporal.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
  <Minimum>0</Minimum>
  <Maximum>100</Maximum>
</Field>
```

3.4.7 % BCM

La tabla 3-38 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “% BCM” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–38. Codificación BLE para el parámetro % BCM

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	7	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	544			Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema de la característica *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```
<Field name="BCM-Percent">
  <InformativeText>Porcentaje de masa celular corporal.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.percentage</Unit>
  <Minimum>0</Minimum>
  <Maximum>100</Maximum>
</Field>
```


3.4.8 Volumen de agua extracelular (ECW)

La tabla 3-39 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “ECW” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–39. Codificación BLE para el parámetro ECW

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	8	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	*			Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```
<Field name="ECW">
  <InformativeText>Extra-Cellular Water.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.volume.litre</Unit>
</Field>
```

3.4.9 Volumen de agua intracelular (ICW)

La tabla 3-40 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “ICW” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–40. Codificación BLE para el parámetro ICW

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	9	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	*			Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```
<Field name="ICW">
  <InformativeText>Intra-Cellular Water.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.volume.litre</Unit>
</Field>
```

3.4.10 Agua corporal total (TBW)

La tabla 3-41 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “TBW” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–41. Codificación BLE para el parámetro TBW

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	10	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	*	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

De acuerdo con Bluetooth SIG, encontramos el campo *Body Water Mass* dentro de la característica *Body Composition Measurement* (ver Anexo E). Sin embargo, este parámetro se mide en kilogramos por lo que se propone incluir el campo *Total Body Water* medido en litros en el esquema de la característica *Bioimped* (ver Anexo E). La propuesta es incluir el siguiente código:

```
<Field name="TBW">
  <InformativeText>Total body water.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.volume.litre</Unit>
</Field>
```

3.4.11 Masa libre de grasa (FFM)

La tabla 3-42 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “FFM” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–42. Codificación BLE para el parámetro FFM

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	11	N/A	N/A	N/A
Type	2, 57684	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1731	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate

N/A: no aplica.

3.4.12 % FFM

La tabla 3-43 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “% FFM” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–43. Codificación BLE para el parámetro % FFM

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	12	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	544			Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```

<Field name="FFM - Percent">
  <InformativeText>Percentage of Fat Free Mass.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.percentage</Unit>
  <Minimum>0</Minimum>
  <Maximum>100</Maximum>
</Field>

```

3.4.13 Índice de masa libre de grasa (FFMI)

La tabla 3-44 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “FFMI” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3-44. Codificación BLE para el parámetro FFMI

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	13	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1955			Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```

<Field name="FFMI">
  <InformativeText>Fat Free Mass Index.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>
    org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre
  </Unit>
</Field>

```

3.4.14 Masa grasa (FM)

La tabla 3-45 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “FM” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3-45. Codificación BLE para el parámetro FM

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	14	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1731	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```
<Field name="Body Fat">
  <InformativeText>Body Fat mass.</InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>float</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
</Field>
```

3.4.15 % FM

La tabla 3-46 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “% FM” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–46. Codificación BLE para el parámetro FM

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	15	N/A	N/A	N/A
Type	2, 57676	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	544	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate

N/A: no aplica.

3.4.16 Índice de masa grasa (FMI)

La tabla 3-47 resume la codificación en Bluetooth LE del atributo “FMI” observado, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–47. Codificación BLE para el parámetro FMI

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	16	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Unit-Code	1955	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[Valor observado]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema *Bioimped* (ver Anexo E) de la siguiente forma:

```
<Field name="FMI">
    <InformativeText>Fat Mass Index.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>
        org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre
    </Unit>
</Field>
```

3.4.17 Lista de configuración de bioimpedancia

La tabla 3-48 resume la codificación en Bluetooth LE de la característica relativa al número de frecuencias usadas, en concordancia con la norma IEEE 11073.

Tabla 3-48. Codificación BLE para la configuración de bioimpedancia

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	17	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-a-periodic, mss-msmt-a-periodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]			Aggregate
Simple-Nu-Observed-Value	[n frecuencias]			Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema de una nueva característica, denominado *Bioimped Configuration* (ver Anexo F) de la siguiente forma:

```
<Field name="Numero Frecuencias">
    <InformativeText>Numero total de frecuencias.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>
        org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre
    </Unit>
</Field>
```


Una vez conocido el número de frecuencias, se generarán tantos tríos formados por frecuencia, módulo y fase, como número total de frecuencias se hayan registrado. La tabla 3-49 resume la codificación en Bluetooth LE de cada serie “frecuencia - módulo – fase”, de acuerdo con la norma IEEE 11073.

Tabla 3–49. Codificación BLE para la configuración de bioimpedancia

Atributo 11073-20601	Valor en IEEE 11073	Característica BLE Equivalente	Servicio Bluetooth	Tipo de dato Bluetooth
Handle	[de 18 a 18 + n frecuencias – 1]	N/A	N/A	N/A
Type	2, *	N/A	N/A	N/A
Metric-Spec-Small	[mss-avail-intermittent, mss-avail-stored-data, mss-ups-aperiodic, mss-msmt-aperiodic, mss-acc-agent-initiated]	N/A	N/A	N/A
Absolute-Time-Stamp	[Sello de tiempo de la observación]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate
Compound-Simple-Nu-Observed-Value	[Frecuencia, Módulo, Fase]	Body Composition Measurement	Body Composition	Aggregate

*: valor no definido en la norma; N/A: no aplica.

Ante la inexistencia de campo definido para encapsular este parámetro, se propone incluirlo dentro del esquema de una nueva característica, denominado *Bioimped Configuration* (ver Anexo F) de la siguiente forma:

```
<Field name="Configuracion bioimpedancia">
```

```
  <InformativeText>Serie de tríos de configuracion de bioimpedancia. El formato del valor es una cadena de caracteres que concatena los parametros de la siguiente forma: frecuencia-modulo-fase;frecuencia-modulo-fase;...</InformativeText>
```

```
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
```

```
  <Format>utf8s</Format>
```

```
  <Unit>org.bluetooth.unit.unitless</Unit>
```

```
</Field>
```

3.4 Implementación de perfil GATT

De acuerdo a la forma de definición en formato XML de los perfiles GATT observados en [40], se muestra, a continuación, la implementación de un posible perfil GATT, propuesto, para transmitir los datos obtenidos por el sensor de bioimpedancia. Es destacable las diversas referencias, en la definición del perfil, a servicios y características definidas en el apartado anterior y cuya codificación se encuentra anexada al presente Trabajo de Fin de Grado.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<configuration>

<service uuid="1800">
<description>Generic Access Profile</description>

<characteristic uuid="2a00">
<properties read="true" const="true"/>
<value>Bioimped</value>
</characteristic>

<characteristic uuid="2a01">
<properties read="true" const="true"/>
<value type="hex">0C80</value>
</characteristic>
</service>

<service uuid="181B">
<description>Body Composition Service</description>

<characteristic uuid="2A9C">
<properties read="true"/>
</characteristic>
</service>

<service uuid="181C">
<description>User Data Service</description>

<characteristic uuid="2A8C">
<properties read="true"/>
</characteristic>

<characteristic uuid="2A85">
```

```

<properties read="true"/>
</characteristic>
</service>

<service uuid="[codigo unico que identifica al servicio Bioimped Service]">
<description>Bioimped Service</description>

<characteristic uuid="[codigo que identifica a la caracteristica Bioimped Model]">
<properties read="true"/>
</characteristic>

<characteristic uuid="[codigo que identifica a la caracteristica Bioimped]">
<properties read="true"/>
</characteristic>

<characteristic uuid="[codigo que identifica a la caracteristica Bioimped
Configuration]">
<properties read="true"/>
</characteristic>
</service>

</configuration>

```

En la configuración del perfil GATT se incluyen cuatro servicios (ver Figura 3-5). El *Generic Access Profile*, obligatorio según los requisitos, en el que se indica el nombre del dispositivo y la apariencia, cuya codificación puede consultarse en [40].

El segundo servicio que se incluye es *Body Composition Service* del que se hace uso de la característica *Body Composition Measurement* que mapea los valores del peso, la estatura y la masa libre de grasa.

El tercer servicio indicado en la configuración del perfil es *User Data Service*, concretamente para hacer uso de las características que mapea los valores correspondientes al sexo y la fecha de nacimiento.

El cuarto y último servicio, ha sido implementado (ver Anexo H) con el fin de incluir el resto de parámetros necesarios para contemplar todos los datos obtenidos por el sensor. Concretamente se hace referencia a tres características: *Bioimped Model*, que contiene el esquema que mapea los parámetros del modelo de bioimpedancia; *Bioimped Configuration*, que contiene la estructura para mapear los datos de configuración de bioimpedancia; y finalmente, la característica denominada *Bioimped*, que incluye los campos relativos a todos los parámetros obtenidos en la medición restantes.

El diseño de esta solución busca, en primera instancia, proporcionar un modelo inicial del que partir para la estandarización en interoperabilidad entre la Norma IEEE 11073 y el estándar BLE. Esta normalización provoca la simplificación en el desarrollo de dispositivos relacionados con la Biomedicina, fomenta la eficiencia en la explotación de estos recursos y supone una reducción en los costes asociados a la implementación de las comunicaciones entre dispositivos relativos a la Biomedicina. Además, supone un compromiso de calidad para todas las partes relacionadas; por no hablar de los beneficios de cara a facilitar la mejora continua y la evolución de las comunicaciones entre dispositivos destinados a la gestión de la salud.

Los principales inconvenientes de la adopción de esta propuesta de normalización en la interoperabilidad de las

dos tecnologías en cuestión están se centran, sobre todo, en la propia adaptación de los fabricantes y desarrolladores. Esto es, puede suponer cambios en los costes al incorporar cambios en los procedimientos relativos a la comunicación entre dispositivos, además de generar la necesidad de capacitación de los profesionales para adoptar correctamente la propuesta. Son obstáculos que, en cualquier caso, perjudican a corto plazo. Sin embargo, quizás, la limitación en la experimentación al definirse unas líneas específicas relativas a la comunicación cohibe, a largo plazo, la capacidad de evolución a otras tecnologías.

Poner en práctica esta solución, de forma experimental, sobre el dispositivo de bioimpedancia es, desde el punto de vista más pragmático, la mejor manera de validar la propuesta. El primer aspecto a tener en cuenta será que el dispositivo, en este caso el sensor de bioimpedancia, presente un chip que soporte comunicaciones BLE. Por otro lado, el microcontrolador debe estar capacitado para comunicarse con el módulo Bluetooth del dispositivo, el cual llevará a cabo la comunicación. Obviando la arquitectura a más bajo nivel, pues no es objeto del presente trabajo, la programación del dispositivo destinada a la comunicación puede llevarse a cabo haciendo uso de librerías para servicios BLE que el propio fabricante facilita importando el perfil GATT propuesto en este trabajo.

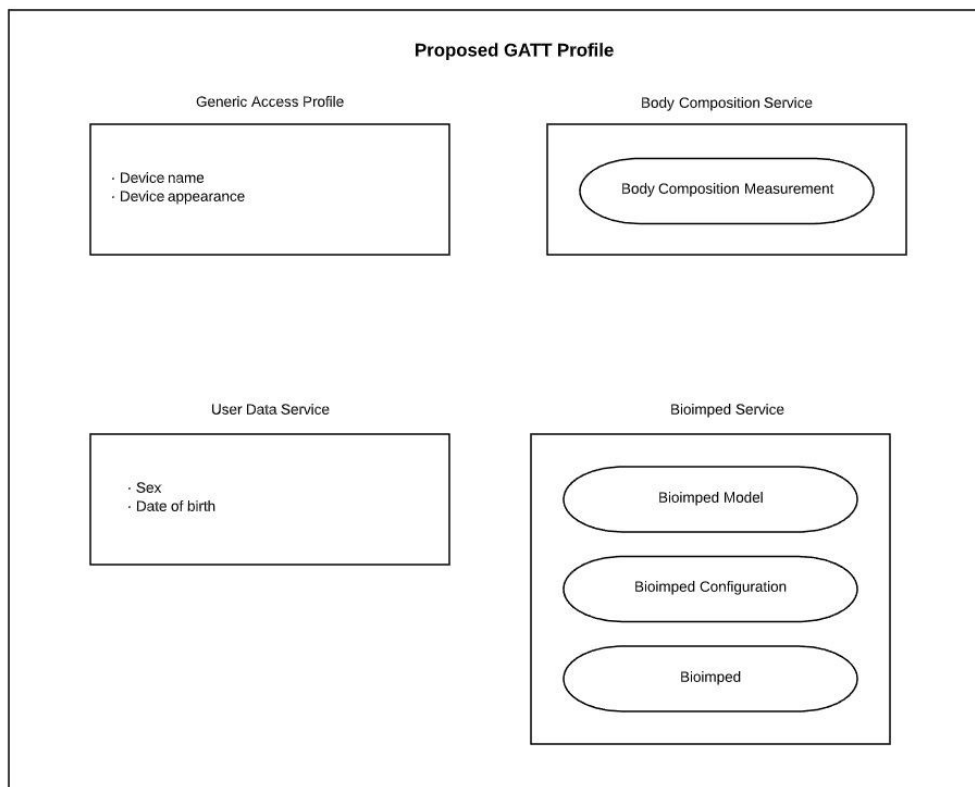


Figura 3-5. Modelo esquemático de servicios del perfil propuesto

4 CONCLUSIONES

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.

- Claude Shannon -

Tras estudiar las necesidades de los sensores biomédicos, especialmente y de manera concienzuda las necesidades del sensor de bioimpedancia; y después de analizar las posibilidades definidas en la norma IEEE 11073 y la capacidad para integrarse con Bluetooth Low Energy, se han determinado las siguientes conclusiones:

PRIMERA. La norma IEEE 11073 está lejos de ofrecer versatilidad e integridad en su modelo ante las necesidades que surgen en el ámbito de la ingeniería biomédica. El estándar limita la posibilidad de transmisión de datos dentro de una estructura normalizada aunque se intuyen futuras evoluciones de la propia norma. Analizando específicamente la adaptación a X73 de las necesidades de la bioimpedancia, ha quedado latente la falta de campos variables que doten de flexibilidad a una norma que avanza lenta con respecto a la realidad de la tecnología.

SEGUNDA. Las características definidas en Bluetooth LE no cubren las exigencias de sensores como el sensor de bioimpedancia y gran parte de los atributos definidos en la norma IEEE 11073 no tienen codificación directa dentro del modelo BLE. Actualmente, ambas tecnologías no son completamente compatibles. Durante la implementación y el desarrollo del posible perfil GATT BLE que se ha propuesto en el presente trabajo, ha quedado al descubierto la falta de esquemas de datos más completos dentro de BLE. Si bien es cierto que presenta perfiles para registrar datos relacionados con las mediciones de dispositivos de bioimpedancia, estos datos no son suficientes y la información queda incompleta; esto ha derivado en la generación de un nuevo GATT que complemente al actual y cubra las necesidades de los dispositivos de bioimpedancia.

TERCERA. A pesar del esfuerzo de Bluetooth SIG y de Continua Alliance, el modelo de compatibilidad entre X73 y BLE está lejos de ser una norma completa de interoperabilidad entre ambos protocolos, quizás en parte por el estado del arte de la norma IEEE 11073. Esta conclusión confirma el problema inicial de la interoperabilidad X73-BLE, pues dicha relación continúa siendo un obstáculo no resuelto.

CUARTA. A colación de la conclusión tercera, es posible realizar la transmisión de manera oficiosa recurriendo a mecanismos basados en la pericia y el ingenio del equipo de desarrollo, además de hacer uso de tipos de datos BLE compatibles a la nomenclatura y modelo de IEEE 11073. El presente trabajo así lo propone, dejando en evidencia que ante la falta de resolución al problema de la interoperabilidad entre la Norma IEEE 11073 y el estándar BLE, corre a cuenta del desarrollador la detección de los parámetros necesarios del dispositivo, analizar su adaptación a X73 y encapsular esta información en el modelo de datos BLE implementando un perfil GATT específico.

QUINTA. Las bondades de estandarizar la completa interoperabilidad X73-BLE se pueden resumir en la simplificación de la fabricación de dispositivos relacionados con la Biomedicina, la reducción en los costes asociados a las comunicaciones entre dispositivos, el aumento en el compromiso de calidad de todas las partes

y en la facilidad para evolucionar y mejorar las comunicaciones de este ámbito.

SEXTA. La normalización en las comunicaciones puede suponer aumento en los costes, a corto plazo, al incorporar cambios relativos a la implementación de las comunicaciones y hace surgir la necesidad de formación del equipo de desarrollo para adaptarse. Además, limita la capacidad de investigar nuevas líneas de comunicación basadas en estas tecnologías al definir una norma de integración.

SÉPTIMA. Se requieren estudios posteriores para la implementación en la práctica de un modelo de comunicación basado en X73 sobre BLE con el fin de realizar una propuesta en firme, respaldada por resultados experimentales.

5 ANEXOS

5.1 Anexo A (Informativo) org.bluetooth.characteristic.gender.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!--Copyright 2014 Bluetooth SIG, Inc. All rights reserved.-->
<Characteristic
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/characteristic.x
sd"          xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"          name="Gender"
type="org.bluetooth.characteristic.gender"  uuid="2A8C"  last-modified="2014-06-10"
approved="Yes">
  <InformativeText>
    <Abstract>Gender of the user. The value of the Gender characteristic are defined
below: 0:male,1:female, 2:Unspecified,3-225: RFU</Abstract>
  </InformativeText>
  <Value>
    <Field name="Gender">
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>uint8</Format>
      <Enumerations>
        <Enumeration key="0" value="Male" />
        <Enumeration key="1" value="Female" />
        <Enumeration key="2" value="Unspecified" />
        <ReservedForFutureUse start="3" end="225" />
      </Enumerations>
    </Field>
  </Value>
</Characteristic>
```

5.2 Anexo B (Informativo) org.bluetooth.characteristic.date_of_birth.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!--Copyright 2014 Bluetooth SIG, Inc. All rights reserved.-->
<Characteristic
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/characteristic.x
sd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" name="Date of Birth"
type="org.bluetooth.characteristic.date_of_birth" uuid="2A85" last-modified="2014-06-
10" approved="Yes">
  <Value>
    <Field name="Year">
      <InformativeText>Year as defined by the Gregorian
calendar.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>uint16</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.time.year</Unit>
      <Minimum>1582</Minimum>
      <Maximum>9999</Maximum>
      <AdditionalValues>
        <Enumeration key="0" value="Year is not known" />
      </AdditionalValues>
    </Field>
    <Field name="Month">
      <InformativeText>Month of the year as defined by the Gregorian
calendar.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>uint8</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.time.month</Unit>
      <Minimum>0</Minimum>
      <Maximum>12</Maximum>
      <Enumerations>
        <Enumeration key="0" value="Month is not known" />
        <Enumeration key="1" value="January" />
        <Enumeration key="2" value="February" />
        <Enumeration key="3" value="March" />
        <Enumeration key="4" value="April" />
        <Enumeration key="5" value="May" />
        <Enumeration key="6" value="June" />
        <Enumeration key="7" value="July" />
        <Enumeration key="8" value="August" />
        <Enumeration key="9" value="September" />
        <Enumeration key="10" value="October" />
      </Enumerations>
    </Field>
  </Value>
</Characteristic>
```



```

        <Enumeration key="11" value="November" />
        <Enumeration key="12" value="December" />
    </Enumerations>
</Field>
<Field name="Day">
    <InformativeText>Day of the month as defined by the Gregorian
calendar.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>uint8</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.time.day</Unit>
    <Minimum>0</Minimum>
    <Maximum>31</Maximum>
    <AdditionalValues>
        <Enumeration key="0" value="Day of Month is not known" />
    </AdditionalValues>
</Field>
</Value>
<Note>
    <p>
        The fields in the above table are in the order of LSO to MSO. Where LSO =
Least Significant Octet and MSO = Most Significant Octet.
    </p>
</Note>
</Characteristic>

```

5.3 Anexo C (Informativo)

org.bluetooth.descriptor.gatt.characteristic_aggregate_format.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- Copyright 2011 Bluetooth SIG, Inc. All rights reserved. -->
<Descriptor
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/descriptor.xsd"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
type="org.bluetooth.descriptor.gatt.characteristic_aggregate_format" uuid="2905"
name="Characteristic Aggregate Format">
  <InformativeText>
    <Abstract>
      The Characteristic Aggregate Format descriptor defines the format of an
      aggregated Characteristic Value.
    </Abstract>
    <InformativeDisclaimer/>
    <Summary>
      Only one Characteristic Aggregate Format descriptor exists in a characteristic
      definition.
      This descriptor consists of a list of Attribute Handles pointing to
      Characteristic Presentation Format declarations.
      This descriptor is read only and does not require authentication or
      authorization.
      The list of Attribute Handles is the concatenation of multiple 16-bit
      Attribute Handle values into a single Attribute Value.
      If more than one Characteristic Presentation Format declarations exist, then
      there is one Characteristic Aggregate Format declaration.
      However, a Characteristic Aggregate Format descriptor can be present even if
      there aren't any Presentation Format descriptors in the characteristic definition.
      The order of the Attribute Handles in the list is significant.
    </Summary>
    <Examples>
      <Example>
        If 3 Characteristic Presentation Format declarations exist at Attribute
        Handles 0x40, 0x50 and 0x60, the Characteris Aggregate Format Value is 0x405060.
      </Example>
    </Examples>
  </InformativeText>
  <Value>
    <Field name="List of Handles">
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>uint16</Format>
      <Repeated>>true</Repeated>
    </Field>
```

```
</Value>
</Descriptor>
```

5.4 Anexo D (Propuesta) org.bluetooth.characteristic.modelo_de_impedancia.xml

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Characteristic
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/characteristic.x
sd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" name="Bioimped Model"
type="org.bluetooth.characteristic.modelo_de_impedancia" uuid="XXXX" last-
modified="2019-08-29" approved="Yes">
  <Value>
    <Field name="Resistencia-en-cero">
      <InformativeText>Resistencia a frecuencia cero.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>float</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.frequency.hertz</Unit>
    </Field>
    <Field name="Resistencia-en-infinito">
      <InformativeText>Resistencia a frecuencia infinita.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>float</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.frequency.hertz</Unit>
    </Field>
    <Field name="Resistencia-extracelular">
      <InformativeText>Resistencia extracelular.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>float</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.frequency.hertz</Unit>
    </Field>
    <Field name="Resistencia-intracelular">
      <InformativeText>Resistencia intracelular.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>float</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.frequency.hertz</Unit>
    </Field>
    <Field name="Capacidad">
      <InformativeText>Capacidad asociada a las membranas
celulares.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
```

```

        <Format>float</Format>
        <Unit>org.bluetooth.unit.capacitance.farad</Unit>
    </Field>
    <Field name="Alfa">
        <InformativeText>Parametro caracteristico de la distribucion de las
frecuencias de relajacion.</InformativeText>
        <Requirement>Mandatory</Requirement>
        <Format>float</Format>
    </Field>
    <Field name="Retraso">
        <InformativeText>Retraso temporal invariante con la
frecuencia.</InformativeText>
        <Requirement>Mandatory</Requirement>
        <Format>float</Format>
        <Unit>org.bluetooth.unit.time.second</Unit>
    </Field>
</Value>
</Characteristic>

```

5.5 Anexo E (Propuesta) org.bluetooth.characteristic.bioimpedance.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Characteristic
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/characteristic.x
sd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" name="Bioimped"
type="org.bluetooth.characteristic.bioimped" uuid="XXXX" last-modified="2019-08-29"
approved="Yes">
    <Value>
        <Field name="BCM">
            <InformativeText>Masa celular corporal.</InformativeText>
            <Requirement>Mandatory</Requirement>
            <Format>float</Format>
            <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
            <Minimum>0</Minimum>
            <Maximum>100</Maximum>
        </Field>
        <Field name="BCM-Percent">
            <InformativeText>Porcentaje de masa celular corporal.</InformativeText>
            <Requirement>Mandatory</Requirement>
            <Format>float</Format>

```

```

    <Unit>org.bluetooth.unit.percentage</Unit>
    <Minimum>0</Minimum>
    <Maximum>100</Maximum>
</Field>
<Field name="ECW">
    <InformativeText>Extra-Cellular Water.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.volume.litre</Unit>
</Field>
<Field name="ICW">
    <InformativeText>Intra-Cellular Water.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.volume.litre</Unit>
</Field>
<Field name="TBW">
    <InformativeText>Total body water.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.volume.litre</Unit>
</Field>
<Field name="FFM - Percent">
    <InformativeText>Percentage of Fat Free Mass.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.percentage</Unit>
    <Minimum>0</Minimum>
    <Maximum>100</Maximum>
</Field>
<Field name="FFMI">
    <InformativeText>Fat Free Mass Index.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>
        org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre
    </Unit>
</Field>
<Field name="Body Fat">

```

```

    <InformativeText>Body Fat mass.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
  </Field>
  <Field name="FMI">
    <InformativeText>Fat Mass Index.</InformativeText>
    <Requirement>Mandatory</Requirement>
    <Format>float</Format>
    <Unit>
      org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre
    </Unit>
  </Field>
</Value>
</Characteristic>

```

5.6 Anexo F (Propuesta) org.bluetooth.characteristic.bioimped_configuration.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Characteristic
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/characteristic.x
sd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" name="Bioimped
Configuration" type="org.bluetooth.characteristic.bioimped_configuration" uuid="XXXX"
last-modified="2019-08-29" approved="Yes">
  <Value>
    <Field name="Numero Frecuencias">
      <InformativeText>Numero total de frecuencias.</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>float</Format>
      <Unit>
        org.bluetooth.unit.surface_density.kilogram_per_square_metre
      </Unit>
    </Field>
    <Field name="Configuracion bioimpedancia">
      <InformativeText>Serie de trios de configuracion de bioimpedancia. El
formato del valor es una cadena de caracteres que concatena los parametros de la
siguiente forma: frecuencia-modulo-fase;frecuencia-modulo-fase;...</InformativeText>
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>utf8s</Format>
      <Unit>org.bluetooth.unit.unitless</Unit>
    </Field>
  </Value>
</Characteristic>

```

```

</Field>
  </Value>
</Characteristic>

```

5.7 Anexo G (Informativo)

org.bluetooth.characteristic.body_composition_measurement.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!--Copyright 2014 Bluetooth SIG, Inc. All rights reserved.-->
<Characteristic
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/characteristic.x
sd" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
      name="Body Composition Measurement"
type="org.bluetooth.characteristic.body_composition_measurement" uuid="2A9C" last-
modified="2014-10-17" approved="Yes">
  <Value>
    <Field name="Flags">
      <Requirement>Mandatory</Requirement>
      <Format>16bit</Format>
      <BitField>
        <Bit index="0" size="1" name="Measurement Units">
          <Enumerations>
            <Enumeration key="0" value="SI (Weight and Mass in units of
kilogram (kg) and Height in units of meter)" requires="C1" />
            <Enumeration key="1" value="Imperial (Weight and Mass in units
of pound (lb) and Height in units of inch (in))" requires="C2" />
          </Enumerations>
        </Bit>
        <Bit index="1" size="1" name="Time Stamp Present">
          <Enumerations>
            <Enumeration key="0" value="False" />
            <Enumeration key="1" value="True" requires="C3" />
          </Enumerations>
        </Bit>
        <Bit index="2" size="1" name="User ID present">
          <Enumerations>
            <Enumeration key="0" value="False" />
            <Enumeration key="1" value="True" requires="C4" />
          </Enumerations>
        </Bit>
        <Bit index="3" size="1" name="Basal Metabolism present">

```

```
<Enumerations>
  <Enumeration key="0" value="False" />
  <Enumeration key="1" value="True" requires="C5" />
</Enumerations>
</Bit>
<Bit index="4" size="1" name="Muscle Percentage present">
  <Enumerations>
    <Enumeration key="0" value="False" />
    <Enumeration key="1" value="True" requires="C6" />
  </Enumerations>
</Bit>
<Bit index="5" size="1" name="Muscle Mass present">
  <Enumerations>
    <Enumeration key="0" value="False" />
    <Enumeration key="1" value="True" requires="C7" />
  </Enumerations>
</Bit>
<Bit index="6" size="1" name="Fat Free Mass present">
  <Enumerations>
    <Enumeration key="0" value="False" />
    <Enumeration key="1" value="True" requires="C8" />
  </Enumerations>
</Bit>
<Bit index="7" size="1" name="Soft Lean Mass present">
  <Enumerations>
    <Enumeration key="0" value="False" />
    <Enumeration key="1" value="True" requires="C9" />
  </Enumerations>
</Bit>
<Bit index="8" size="1" name="Body Water Mass present">
  <Enumerations>
    <Enumeration key="0" value="False" />
    <Enumeration key="1" value="True" requires="C10" />
  </Enumerations>
</Bit>
<Bit index="9" size="1" name="Impedance present">
  <Enumerations>
    <Enumeration key="0" value="False" />
    <Enumeration key="1" value="True" requires="C11" />
  </Enumerations>
```



```

    </Bit>
    <Bit index="10" size="1" name="Weight present">
      <Enumerations>
        <Enumeration key="0" value="False" />
        <Enumeration key="1" value="True" requires="C12" />
      </Enumerations>
    </Bit>
    <Bit index="11" size="1" name="Height present">
      <Enumerations>
        <Enumeration key="0" value="False" />
        <Enumeration key="1" value="True" requires="C13" />
      </Enumerations>
    </Bit>
    <Bit index="12" size="1" name="Multiple Packet Measurement">
      <Enumerations>
        <Enumeration key="0" value="False" />
        <Enumeration key="1" value="True" />
      </Enumerations>
    </Bit>
    <ReservedForFutureUse index="13" size="3" />
  </BitField>
</Field>
<Field name="Body Fat Percentage">
  <InformativeText>
    Unit is in percent with a resolution of 0.1
  </InformativeText>
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.percentage</Unit>
  <DecimalExponent>-1</DecimalExponent>
</Field>
<Field name="Time Stamp">
  <InformativeText>
    Smallest unit in seconds
  </InformativeText>
  <Requirement>C3</Requirement>
  <Reference>org.bluetooth.characteristic.date_time</Reference>
</Field>
<Field name="User ID">

```

```
<InformativeText>
    Unit is unitless with a resolution of 1
</InformativeText>
<Requirement>C4</Requirement>
<Format>uint8</Format>
<Unit>org.bluetooth.unit.unitless</Unit>
<DecimalExponent>0</DecimalExponent>
<Enumerations>
    <InformativeText>The special value of 0xFF (255 Decimal) for User ID
represents "unknown user".</InformativeText>
    <Enumeration key="255" value="unknown user"></Enumeration>
</Enumerations>
</Field>
<Field name="Basal Metabolism">
    <InformativeText>
        Unit is in kilo Joules with a resolution of 1
    </InformativeText>
    <Requirement>C5</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.energy.joule</Unit>
    <DecimalExponent>3</DecimalExponent>
</Field>
<Field name="Muscle Percentage">
    <InformativeText>
        Unit is in percentage with a resolution of 0.1
    </InformativeText>
    <Requirement>C6</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.percentage</Unit>
    <DecimalExponent>-1</DecimalExponent>
</Field>
<Field name="Muscle Mass - Kilograms">
    <InformativeText>
        Unit is in kilograms with resolution 0.005. Note: Determined when bit
0 of the Flags field is set to 0.
    </InformativeText>
    <Requirement>C1</Requirement>
    <Requirement>C7</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
```

```

    <DecimalExponent>-3</DecimalExponent>
    <Multiplier>5</Multiplier>
  </Field>
  <Field name="Muscle Mass - Pounds">
    <InformativeText>
      Unit is in pounds with resolution 0.01. Note: Determined when bit 0 of
the Flags field is set to 1.
    </InformativeText>
    <Requirement>C2</Requirement>
    <Requirement>C7</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.mass.pound</Unit>
    <DecimalExponent>-2</DecimalExponent>
  </Field>
  <Field name="Fat Free Mass - Kilograms">
    <InformativeText>
      Unit is in kilograms with resolution 0.005. Note: Determined when bit
0 of the Flags field is set to 0.
    </InformativeText>
    <Requirement>C1</Requirement>
    <Requirement>C8</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
    <DecimalExponent>-3</DecimalExponent>
    <Multiplier>5</Multiplier>
  </Field>
  <Field name="Fat Free Mass - Pounds">
    <InformativeText>
      Unit is in pounds with a resolution of 0.01. Note: Determined when bit
0 of the Flags field is set to 1.
    </InformativeText>
    <Requirement>C2</Requirement>
    <Requirement>C8</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.mass.pound</Unit>
    <DecimalExponent>-2</DecimalExponent>
  </Field>
  <Field name="Soft Lean Mass - Kilograms">
    <InformativeText>
      Unit is in kilograms with a resolution of 0.005. Note: Determined when
bit 0 of the Flags field is set to 0.

```

```
</InformativeText>
<Requirement>C1</Requirement>
<Requirement>C9</Requirement>
<Format>uint16</Format>
<Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
<DecimalExponent>-3</DecimalExponent>
<Multiplier>5</Multiplier>
</Field>
<Field name="Soft Lean Mass - Pounds">
  <InformativeText>
    Unit is in pounds with a resolution of 0.01. Note: Determined when bit
    0 of the Flags field is set to 1.
  </InformativeText>
  <Requirement>C2</Requirement>
  <Requirement>C9</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
  <DecimalExponent>-2</DecimalExponent>
</Field>
<Field name="Body Water Mass - Kilograms">
  <InformativeText>
    Unit is in kilograms with a resolution of 0.005. Note: Determined when
    bit 0 of the Flags field is set to 0.
  </InformativeText>
  <Requirement>C1</Requirement>
  <Requirement>C10</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
  <DecimalExponent>-3</DecimalExponent>
  <Multiplier>5</Multiplier>
</Field>
<Field name="Body Water Mass - Pounds">
  <InformativeText>
    Unit is in pounds with a resolution of 0.01. Note: Determined when bit
    0 of the Flags field is set to 1.
  </InformativeText>
  <Requirement>C2</Requirement>
  <Requirement>C10</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.pound</Unit>
  <DecimalExponent>-2</DecimalExponent>
```

```

</Field>
<Field name="Impedance">
  <InformativeText>
    Unit is in Ohms with a resolution of 0.1
  </InformativeText>
  <Requirement>C11</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.electric_resistance.ohm</Unit>
  <DecimalExponent>-1</DecimalExponent>
</Field>
<Field name="Weight - Kilograms">
  <InformativeText>
    Unit is in kilograms with a resolution of 0.005. Note: Determined when
bit 0 of the Flags field is set to 0.
  </InformativeText>
  <Requirement>C1</Requirement>
  <Requirement>C12</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.kilogram</Unit>
  <DecimalExponent>-3</DecimalExponent>
  <Multiplier>5</Multiplier>
</Field>
<Field name="Weight - Pounds">
  <InformativeText>
    Unit is in pounds with a resolution of 0.01. Note: Determined when bit
0 of the Flags field is set to 1.
  </InformativeText>
  <Requirement>C2</Requirement>
  <Requirement>C12</Requirement>
  <Format>uint16</Format>
  <Unit>org.bluetooth.unit.mass.pound</Unit>
  <DecimalExponent>-2</DecimalExponent>
</Field>
<Field name="Height - Meters">
  <InformativeText>
    Unit is in meters with a resolution of 0.001. Note: Determined when
bit 0 of the Flags field is set to 0.
  </InformativeText>
  <Requirement>C1</Requirement>
  <Requirement>C13</Requirement>

```

```

    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.length.meter</Unit>
    <DecimalExponent>-3</DecimalExponent>
  </Field>
  <Field name="Height - Inches">
    <InformativeText>
      Unit is in meters with a resolution of 0.1. Note: Determined when bit
      0 of the Flags field is set to 1.
    </InformativeText>
    <Requirement>C2</Requirement>
    <Requirement>C13</Requirement>
    <Format>uint16</Format>
    <Unit>org.bluetooth.unit.length.inch</Unit>
    <DecimalExponent>-1</DecimalExponent>
  </Field>
</Value>
<Note>
  <p>The fields in the above table are in the order of LSO to MSO. Where LSO =
  Least Significant Octet and MSO = Most Significant Octet.</p>
</Note>
</Characteristic>

```

5.8 Anexo H (Propuesta) org.bluetooth.service.bioimpedance.xml

```

<Service xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://schemas.bluetooth.org/Documents/service.xsd"
type="org.bluetooth.service.bioimped" last-modified="2014-10-17" approved="Yes"
uuid="181B" name="Bioimped Service">
  <InformativeText>
  <Abstract>
    Este servicio incluye campos que no entran dentro del alcance del servicio Body
    Composition.
  </Abstract>
  </InformativeText>
  <Dependencies>
  <Dependency>
    This service is not dependent upon any other services.
  </Dependency>
  </Dependencies>
  <GATTRequirements>

```

```
<Requirement subProcedure="Indications">Mandatory</Requirement>
<Requirement subProcedure="Read Characteristic Descriptors">Mandatory</Requirement>
<Requirement subProcedure="Write Characteristic Descriptors">Mandatory</Requirement>
</GATTRequirements>
<Transports>
<Classic>true</Classic>
<LowEnergy>true</LowEnergy>
<HighSpeed>true</HighSpeed>
</Transports>
<ErrorCodes> </ErrorCodes>
<Characteristics>
<Characteristic type="org.bluetooth.characteristic.bioimped_model" name="Bioimped
Model">
<Requirement>Mandatory</Requirement>
<Properties>
<Read>Mandatory</Read>
<Write>Excluded</Write>
<WriteWithoutResponse>Excluded</WriteWithoutResponse>
<SignedWrite>Excluded</SignedWrite>
<ReliableWrite>Excluded</ReliableWrite>
<Notify>Excluded</Notify>
<Indicate>Excluded</Indicate>
<WritableAuxiliaries>Excluded</WritableAuxiliaries>
<Broadcast>Excluded</Broadcast>
</Properties>
</Characteristic>
<Characteristic type="org.bluetooth.characteristic.bioimped" name="Bioimped">
<Requirement>Mandatory</Requirement>
<Properties>
<Read>Excluded</Read>
<Write>Excluded</Write>
<WriteWithoutResponse>Excluded</WriteWithoutResponse>
<SignedWrite>Excluded</SignedWrite>
<ReliableWrite>Excluded</ReliableWrite>
<Notify>Excluded</Notify>
<Indicate>Mandatory</Indicate>
<WritableAuxiliaries>Excluded</WritableAuxiliaries>
<Broadcast>Excluded</Broadcast>
</Properties>
<Descriptors>
```

```
<Descriptor type="org.bluetooth.descriptor.gatt.bioimped_configuration" name="Bioimped
Configuration">
  <Requirement>Mandatory</Requirement>
  <Properties>
    <Read>Mandatory</Read>
    <Write>Mandatory</Write>
  </Properties>
</Descriptor>
</Descriptors>
</Characteristic>
</Characteristics>
</Service>
```

REFERENCIAS

- [1] D. Naranjo-Hernández, L. Roa, J. Reina-Tosina y M. Á. Estudillo-Valderrama, «SoM: A Smart Sensor for Human Activity Monitoring and Assisted Healthy Ageing,» *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 59, nº 11, pp. 3177-3184, 2012.
- [2] IEEE, «Draft Standard for Health informatics . Point-of-care medical device communication - Nomenclature . Implantable device, cardiac,» *P11073-10103/D1,01,00*, p. 2, Aug 2010.
- [3] D. Naranjo-Hernández, J. Reina-Tosina y M. Min, «Fundamentals, Recent Advances, and Future Challenges in Bioimpedance Devices for Healthcare Applications,» *Hindawi, Journal of Sensors*, vol. 2019, pp. 1-42, 2019.
- [4] K. Townsend, C. Cufi, A. Davidson y D. Robert, «Getting Started with Bluetooth Low Energy,» O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, 2014.
- [5] Continua Alliance, «H.811 Personal Health Devices Interface design guidelines,» de *Continua DESIGN GUIDELINES*, 2017.
- [6] I. N. Korsakov, P. D., D. A. Raznometov, V. V. Feklistov y M. A. Sumskey, «On Demand Plugins for X73-PHD Manager,» *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering (IJATCSE)*, vol. 2, nº 5, pp. 35-40, 2013.
- [7] P. Urbauer, M. Kmenta, M. Frohner, A. Mense y S. Sauermann, «Propose of Standards Based IT Architecture to Enrich the Value of Allergy Data by Telemonitoring Data,» *Health Informatics Meets eHealth*, 2017.
- [8] University Health Network, «HAPI FHIR – The Open Source FHIR API for JAVA,» 2016. [En línea]. Available: <http://hapifhir.io>. [Último acceso: 22 Jul 2020].
- [9] M. Schmidt y R. Obermaisser, «Middleware for the Integration of Bluetooth LE Devices Based on MQTT and ISO/IEEE 11073,» *Chair for Embedded Systems, University of Siegen*, 2017.
- [10] Bluetooth SIG, GATT REST API Whitepaper, 2014.
- [11] Bluetooth SIG, «Personal Health Devices Transcoding,» *Bluetooth White Paper*, 2015.
- [12] F. Mendez y D. Jabba, «IoT Connected Health Architecture for Heart Rate Monitoring based on Interoperability Standards,» 2018.
- [13] H. Kang, C. Kim y S. Koh, «ISO/IEEE 11073-based Healthcare Services over IoT Platform using 6LoWPAN and BLE: Architecture and Experimentation,» School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University, Daegu, 2015.

- [14] Y. F. Lee, «Case Study: A BLE Communication Design of Glucose Monitor based on x73-PHD Standards and Continua Design Guidelines,» *Biomedical Technology and Device Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute*, 2016.
- [15] Bluetooth SIG, «Bluetooth Specification Version 4.0,» 2010.
- [16] Bluetooth SIG, «Glucose Service,» 2012.
- [17] Bluetooth SIG, «Glucose Profile,» 2012.
- [18] M. Rapin, F. Braun y A. Adler, «Wearable sensors for frequency-multiplexed EIT and multilead ECG data acquisition,» *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 66, n° 3, pp. 810-820, 2019.
- [19] E. Piuze, S. Pisa, E. Pittella, L. Podesta y S. Sangiovanni, «Low-cost and portable impedance plethysmography system for the simultaneous detection of respiratory and heart activities,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, n° 7, pp. 2735-2746, 2019.
- [20] E. Borelli, G. Paolini y F. Antoniazzi, «Habitat: an IoT solution for independent elderly,» *Sensors*, vol. 19, n° 5, 2019.
- [21] S. Majumder, T. Mondal y M. J. Deen, «A simple, low-cost and efficient gait analyzer for wearable healthcare applications,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, n° 6, pp. 2320-2329, 2019.
- [22] R. Punj y R. Kumar, «Technological aspects of WBANs for health monitoring: a comprehensive review,» *Wireless Networks*, vol. 25, n° 3, pp. 1125-1157, 2019.
- [23] L. M. Roa, D. Naranjo y J. Reina-Tosina, «Applications of bioimpedance to end stage renal disease (ESRD),» *Studies in Computational Intelligence*, vol. 404, pp. 689-769, 2013.
- [24] K. Dudzinski, M. Dawgul, K. D. Pluta, B. Wawro, W. Torbicz y D. G. Pijanowska, «Spiral concentric two electrode sensor fabricated by direct writing for skin impedance measurements,» *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, n° 4, pp. 5306-5314, 2017.
- [25] O. I. Al-Surkhi y R. Y. Naser, «Detection of cellmorphological changes of ischemic rabbit liver tissue using bioimpedance spectroscopy,» *IEEE Transactions on NanoBioscience*, vol. 17, n° 4, pp. 402-408, 2018.
- [26] H. Wang, Y. He y Q. Yanet, «Correlation between the dielectric properties and biological activities of human ex vivo hepatic tissue,» *Physics in Medicine and Biology*, vol. 60, n° 6, pp. 2603-2617, 2015.
- [27] P. Walsh, O. Escalona, J. Velasquez, N. Waterman y P. Rodrigues, «Impedance compensated passive implantable atrial defibrillator,» *IEEE Electronics Letters*, vol. 50, n° 17, pp. 1192-1193, 2014.
- [28] P. Langer, P. Jurák y V. Vondra, «Respiratory-induced hemodynamic changes measured by whole-body multichannel impedance plethysmography,» *Physiological Research*, vol. 67, n° 4, pp. 571-581, 2018.
- [29] A. C. Buchholz, C. Bartok y D. A. Schoeller, «The validity of bioelectrical impedance models in clinical populations,» *Nutrition in Clinical Practice*, vol. 19, n° 5, pp. 433-446, 2004.
- [30] J. Castizo-Olier, A. Irurtia, M. Jemni, M. Carrasco-Marginet, R. Fernández-García y F. A. Rodríguez, «Bioelectrical impedance vector analysis (BIVA) in sport and exercise: Systematic review and future perspectives,» *PLoS ONE*, vol. 13, n° 6, 2018.

- [31] B. H. Cornish, B. J. Thomas y L. C. Ward, «Improved prediction of extracellular and total body water using impedance loci generated by multiple frequency bioelectrical impedance analysis,» *Phys. Med. Biol.*, vol. 38, nº 3, pp. 337-346, 1993.
- [32] U. G. Kyle, I. Bosaeus y D. D. Antonio, «Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods,» *Clinical Nutrition*, vol. 22, pp. 1226-1243, 2004.
- [33] IEEE, «IEEE Std 11073-10101™Amd_1-2017 Standard for Health informatics – Point-of-care medical device communication,» 2017.
- [34] IEEE, «IEEE Std 11073-10415™ Standard for Health informatics – Personal health device communication,» 2010.
- [35] IEEE, «IEEE Std 11073-10420™ Standard for Health informatics – Personal health device communication, Device specialization – Body composition analyzer,» 2010.
- [36] IEEE, «IEEE Std 11073-20601™ Standard for Health informatics – Personal health device communication, Application profile – Optimized exchange protocol,» 2016.
- [37] IEEE, «IEEE Std 1541-2002 Standard for Prefixes for Binary Multiples».
- [38] IEEE, IEEE Std 11073-20101™ Standard for Health informatics – Point-of-care, Application profile – Base standard, 2004.
- [39] IEEE, IEEE Std 11073-10201™ Standard for Health informatics – Point-of-care medical device communication, Domain Information Model, 2018.
- [40] Bluetooth SIG, «bluetooth.com,» [En línea]. Available: <https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/Sitecore-Media-Library/Gatt/Xml/Characteristics/org.bluetooth.characteristic.gap.appearance.xml>. [Último acceso: 22 07 2020].
- [41] Y. Zigel, D. Litvak y I. Geannot, «A method for automatic fall detection of elderly people using floor vibrations and sound - Proof of concept on human mimicking doll falls,» *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, nº 12, pp. 2858-2867, Dec 2009.
- [42] E. Auvinet, F. Multon, A. Saint-Arnaud, J. Rousserau y J. Meunier, «Fall detection with multiple cameras: An occlusion-resistant method base don 3-D silhouette vertical distribution,» *IEEE Trans. Inf. Techol. Biomed.*, vol. 17, nº 1, pp. 290-300, Mar 2011.
- [43] D. Anderson, R. Luke, J. Keller, M. Skubic, M. Rantz y M. Aud, «Modeling human activity form voxel person using fuzzy logic,» *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 17, nº 1, pp. 39-49, Feb 2009.
- [44] M. Popescu, Y. Li, M. Skubic y M. Rantz, «An acoustic fall detector system taht uses sound height information to reduce the false alarm rate,» *Proc. 30th Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, pp. 4628-4631, Aug 2008.
- [45] Z. Fu, E. Culurciello, P. Lichtstiner y T. Delbruck, «Fall detection using an address-event temporal contrast visión sensor,» *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Syst.*, pp 424-427, pp. 424-427, May 2008.
- [46] S. Srinivasan, J. Han, D. Lal y A. Gacic, «Towards atuomatic detection of falls using Wireless Sensors,»

Proc. 29th Annu. Int. Conf IEEE Eng. Med. Biol. Soc., pp. 1379-1382, Aug 2007.

- [47] Y. Hirata, S. Komatsuda y K. Kosuge, «Fall prevention control of passive intelligent walker based on human model,» *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots. Syst.*, pp. 1222-1228, Sep 2008.
- [48] M. Estudillo-Valderrama, L. M. Roa, J. Reina-Tosina y D. Naranjo-Hernández, «Design and implementation of a distributed fall detection system – Personal server,» *IEEE Trans. Inf. Biomed.*, vol. 13, nº 6, pp. 874-881, Nov 2009.
- [49] M. Prado, L. Roa y J. Reina-Tosina, «Viability study of a personalized and adaptative knowledge-generation telehealthcare system for nephrology (nephrotel),» *Int. J. Med. Informat.*, vol. 75, nº 9, pp. 646-657, 2006.
- [50] D. Naranjo-Hernández, L. Roa, J. Reina-Tosina y M. Á. Estudillo-Valderrama, «Personalization and Adaptation to the Medium and Context in a Fall Detection System,» *IEEE Transactions on information technology in biomedicine*, vol. 16, nº 2, pp. 264-271, 2012.
- [51] D. Naranjo-Hernández, L. Roa, J. Reina-Tosina, M. Á. Estudillo-Valderrama, G. Barbarov-Rostán y J. Aponte-Luis, «Diseño e Implementación de un Sensor Inteligente para la Monitorización del Ritmo Respiratorio».
- [52] D. Naranjo-Hernández, L. Roa, J. Reina-Tosina, G. Barbarov-Rostan, M. Á. Estudillo-Valderrama, P. Cejudo-Ramos, E. Márquez-Martín y F. Ortega-Ruiz, «Sensor No-Obstrutivo para la Monitorización de la Frecuencia Cardíaca en Reposo».
- [53] Torres-Cebrián y L. Sarlabous-Uranga, «Evaluación de la actividad de los músculos inspiratorios mediante señales mecanomiográficas en pacientes con EPOC durante un protocolo de carga experimental,» de *XXVII Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica*, 2010.
- [54] S. Redline y G. Yenokyan, «Obstructive Sleep Apnea-Hypopnea and Incident Stroke. The sleep heart health study.,» *American journal of respiratory and critical care medicine*, vol. 18, nº 2, pp. 278-285, 2010.
- [55] J. B. Jimison, «Home monitoring of computer interactions for the early detection of dementia,» de *26th Annual International Conference of the IEEE*, 2004.
- [56] V. Verhaert, «Unobtrusive Assessment of Motor Patterns During Sleep Based on Mattress Indentation Measurements,» *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, nº 5, pp. 787-794, 2011.
- [57] K. Malakuti, «Towards an Intelligent Bed Sensor: Non-intrusive Monitoring of Sleep Irregularities with Computer Vision Techniques,» de *20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2010.
- [58] J. Ho-Oum, H. Koo y S. Hong, «Non-contact Heartbeat Sensor using LC oscillator circuit,» de *30th Annual International IEEE EMBS Conference*, 2008.
- [59] Y. S. Kim, B. S. Kim, Y. Son y I. Cho, «Nonintrusive measurement of heart rate using a flexible sensor array,» de *2012, IEEE International Conference on Consumer Electronics*.
- [60] V. Das, A. Boothby, R. Hwang, T. Nguyen, J. Lopez y D. Lie, «Antenna evaluation of a non-contact vital signs sensor for continuous heart and respiration rate monitoring,» de *Proceedings IEEE Topical Conference on Biomedical Wireless Technologies, Networks, and Sensing Systems*, 2012.

- [61] A. Dinh, Y. Choi y S. Ko, «A heart rate sensor based on seismocardiography for vital sign monitoring systems,» de *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2011.
- [62] S. Bakhtiari, S. Liao, T. Elmer II, N. S. Gopalsami y R. A. C, «A real-time heart rate analysis for a remote millimeter wave I-Q sensor,» *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, n° 6, pp. 1839-1845, 2011.