

UNIVERSIDAD DE JAÉN



ESCUELA DE DOCTORADO

Dispositivos vestibles para sistemas inteligentes de monitorización en salud

MEMORIA DE TESIS DOCTORAL PRESENTADA POR:

D. Antonio Pedro Albín Rodríguez

Programa de Doctorado Interuniversitario en Cuidados

Integrales y Servicios de Salud

Directoras:

Dra. D^a. Macarena Espinilla Estévez

Dra. D^a. Yolanda M^a de la Fuente Robles

Jaén, 31 de agosto de 2021

La memoria titulada **Dispositivos vestibles para sistemas inteligentes de monitorización en salud**, que presenta D. Antonio Pedro Albín Rodríguez para optar al grado de doctor, ha sido realizada dentro del Programa de Doctorado Interuniversitario en Cuidados Integrales y Servicios de Salud de la Universidad de Jaén, la Universidad de Lleida y la Universidad de Vic-Universidad Central de Catalunya, bajo la dirección de la Dra. D^a. Macarena Espinilla Estévez y la Dra. D^a. Yolanda M^a de la Fuente Robles. Para su evaluación, esta memoria de tesis se presenta como un conjunto de trabajos publicados en razón a lo establecido en el punto 2 del artículo 25 del Reglamento de los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, aprobado el 6 de febrero de 2012 y modificado el 18 de febrero de 2019 por el Consejo de Gobierno.

ANTONIO
PEDRO
ALBÍN
RODRÍGUEZ

Firmado digitalmente por
ANTONIO PEDRO
ALBÍN RODRÍGUEZ
Fecha: 2021.08.31
16:22:31 +02'00'

D. Antonio Pedro Albín
Rodríguez
Doctorando

MACARENA
A
ESPINILLA
ESTÉVEZ

Firmado digitalmente por
MACARENA
ESPINILLA ESTÉVEZ
Fecha: 2021.08.31
16:23:12 +02'00'

Dra. D^a. Macarena Espinilla
Estévez
Directora

DE LA FUENTE
ROBLES
YOLANDA
MARIA -
26215890F

Firmado digitalmente por DE LA
FUENTE ROBLES YOLANDA MARIA -
26215890F
Nombre de reconocimiento (DN):
c=ES,
serialNumber=IDCES-26215890F,
givenName=YOLANDA MARIA,
sn=DE LA FUENTE ROBLES, cn=DE
LA FUENTE ROBLES YOLANDA
MARIA - 26215890F
Fecha: 2021.08.26 10:40:57 +02'00'

Dra. D^a. Yolanda M^a de la
Fuente Robles
Directora

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a todas aquellas personas que han contribuido a que esta tesis doctoral se lleve a cabo. A Macarena, por su paciencia, comprensión y ánimo constantes, y por creer en mí. A mi familia, por estar apoyándome en todo momento y sin duda alguna.

Asimismo, doy las gracias a las directoras de esta tesis doctoral, Dra. D^a. Macarena Espinilla y Dra. D^a. Yolanda M^a de la Fuente, por la excelente labor de dirección, consejo y soporte durante el período que me ha llevado la realización de la misma. Gracias por la confianza depositada en mí y por la oportunidad brindada.

Gracias a todos los que han formado parte de este camino desde años atrás, y que además han hecho que crezca y mejore como persona. Al personal del CEATIC de la Universidad de Jaén y a los grupos de investigación ASIA (TIC-257) y GEDEX (SEJ-484) por la colaboración que ha hecho posible que la investigación propuesta en esta tesis doctoral sea realizada.

Por último, me gustaría agradecer la financiación recibida que ha permitido el desarrollo de esta investigación mediante el proyecto REMIND en el marco de la Unión Europea Marie Skłodowska-Curie para la investigación e innovación (acuerdo número 734355), el proyecto de investigación nacional (RTI2018-098979-A-I00), el programa José Castillejo para jóvenes doctores (CAS17/00292) y la Acción 1 de la Universidad de Jaén (EI_TIC1_2021).

A todos ellos, muchas gracias.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.1.1. Comportamiento hiperactivo	3
1.1.2. Localización en interiores	6
1.2. Propósito general y objetivos específicos	8
1.3. Estructura	8
2. Sistemas inteligentes basados en dispositivos con sensores	11
2.1. Introducción	11
2.2. Internet de las cosas	12
2.3. Dispositivos vestibles en el ámbito sanitario	15
2.4. Integración en sistemas inteligentes de monitorización	19
2.4.1. Dispositivos médicos	21
2.4.2. TICs para sistemas inteligentes de monitorización en salud	23
2.4.3. Servicio de Internet	26
2.4.4. Gestión y procesamiento de datos	28
2.5. Dispositivos vestibles y análisis de datos para sistemas inteligentes de monitorización en salud	29

3. Sistema inteligente para monitorización de comportamiento hiperactivo en adolescentes en edad escolar	32
3.1. Introducción	32
3.2. Índices de calidad	33
3.3. Resumen y discusión	34
4. Sistema inteligente para localización de personas mayores en interiores	41
4.1. Introducción	41
4.2. Índices de calidad	42
4.3. Resumen y discusión	43
5. Conclusiones y trabajos futuros	48
5.1. Introducción	48
5.2. Conclusiones	48
5.3. Trabajos futuros	54
5.4. Publicaciones	56

Índice de figuras

2.1. Tipos de dispositivos IoWT	14
2.2. Arquitectura para la asistencia sanitaria inteligente y ubicua basada en IoT	20
2.3. IoMT y sistema de monitorización en salud	21
3.1. Dispositivo vestible Polar M600	37

Capítulo 1

Introducción

El primer capítulo enmarca la memoria de la presente tesis doctoral donde se explica la motivación que ha llevado al desarrollo de la presente investigación, posteriormente se abordan los distintos objetivos que se persiguen y, por último, se describe la estructura sobre la cual se articula esta memoria de tesis doctoral.

1.1. Motivación

En los últimos años han proliferado los dispositivos de reducidas dimensiones que pueden conectarse entre sí y, además, pueden conectarse a Internet. Dichos dispositivos constituyen la base del término Internet de las cosas (*Internet of Things*, IoT) (Asghari y col., 2019).

Además, cada vez más, se están desarrollando dispositivos inteligentes con sensores que se llevan en el cuerpo humano, lo que ha dado lugar al concepto de dispositivo vestible (John y col., 2020). Los dispositivos vestibles, al ser cada vez más cómodos y menos molestos, son

apropiados para monitorizar la salud o el bienestar de un individuo sin interrumpir sus actividades diarias (Majumder y col., 2017).

Los sensores pueden medir varias señales fisiológicas, así como la actividad y el movimiento del individuo, colocándolos en diferentes lugares del cuerpo (Pantelopoulos y Bourbakis, 2010). Así, los avances que se han producido en términos de dimensiones y consumo, junto con las modernas tecnologías de comunicación, están propiciando que sean integrados en sistemas de monitorización en salud de bajo coste, discretos y de larga duración (Deserno, 2020; Majumder y col., 2017).

Dichos dispositivos han cobrado especial importancia en la protección de la salud, la cual conlleva monitorización, predicción y prevención, ya que los dispositivos vestibles permiten realizar un seguimiento continuo, exhaustivo y simultáneo de los ámbitos importantes que influyen en la asistencia sanitaria (Haghi y col., 2020).

Estos dispositivos no pueden permanecer aislados o basarse simplemente en una auto-monitorización, sino que deben de estar integrados en sistemas inteligentes de monitorización en salud, los cuales implican un procesamiento inteligente de la información en el dominio de aplicación sanitaria (Della, 2001; Fan y col., 2014).

La presente memoria de tesis doctoral se basa en la utilización de dispositivos vestibles para proponer sistemas inteligentes en el ámbito sanitario. En concreto, en el uso de dispositivos vestibles con sensores, los cuales recogen información relevante de la persona y la envían a través de redes de comunicación para que sea procesada de

manera inteligente con el fin de obtener indicadores de interés en los siguientes dominios de aplicación sanitaria:

- Comportamiento hiperactivo en adolescentes.
- Localización de personas mayores en interiores.

Así, esta memoria de tesis doctoral contribuye al tercer Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS 3) propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para ser alcanzado en 2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Dicho objetivo establece la necesidad de garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades. Dentro de sus estamentos, en el ODS 3, se requiere reforzar la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los mismos para la salud nacional y mundial. Por tanto, esta tesis doctoral contribuye a dicho objetivo con el uso de dispositivos vestibles en sistemas inteligentes.

En las siguientes secciones se presenta la relevancia de seleccionar estos dos dominios de aplicación para proponer sistemas inteligentes.

1.1.1. Comportamiento hiperactivo

El comportamiento hiperactivo es un trastorno neurobiológico en el que la persona se mueve más de lo esperado para su edad y madurez, actúa de forma impulsiva y se distrae con facilidad (Wolraich y col., 2019). Dado que este comportamiento se da con mayor frecuencia en adolescentes en edad escolar, su detección es clave. Si no son diagnosticados y tratados a tiempo, corren un

gran riesgo de sufrir disfunciones importantes en la edad adulta (Sans, 2008) como desarrollar un trastorno por déficit de atención e hiperactividad, trastornos cerebrales o del sistema nervioso central, alteraciones emocionales o hipertiroidismo (Bostic y col., 2015).

La detección precoz de la conducta hiperactiva es de vital importancia ya que influye negativamente en diferentes áreas si no se realiza a tiempo. Los problemas más destacados que pueden darse en adolescentes, entre otros, son el bajo rendimiento escolar, el impacto negativo en las relaciones afectivo-sociales (Sonuga y col., 2011), las dificultades de aprendizaje y, por último, los problemas derivados de un comportamiento inadecuado (Neophytou y Webber, 2005).

Para evaluar la conducta hiperactiva en adolescentes en edad escolar tradicionalmente se han utilizado las siguientes herramientas: el Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition, DSM-5*) (Perera y col., 2020) y las escalas de valoración de Conners (Zendarski y col., 2020), siendo esta última la más utilizada por los profesionales. Este tipo de herramientas está muy marcado por la imprecisión, la vaguedad y la subjetividad de las pruebas (Amado, 2019), ya que se basa en las percepciones del entorno del adolescente. Se ha comprobado que este hecho conduce a diagnósticos erróneos, lo que conlleva importantes consecuencias (Caudal, 2011).

Existe una nueva tendencia de métodos de diagnóstico más fiables basados en la recogida de señales mediante dispositivos vestibles que integren unidades de medición inercial (*Inertial Measurement*

Unit, IMU) o sensores de frecuencia cardíaca óptica (*Optical Heart Rate*, OHR). Estos dispositivos generan datos de aceleración, giro y frecuencia cardíaca para obtener indicadores clave en múltiples ámbitos, como la enfermedad de Parkinson (Delrobaei y col., 2018; M. Lee y col., 2018; Zago y col., 2018), el entrenamiento físico (Zou y col., 2020), la fase de insomnio (T. Lee y col., 2020), la detección de caídas (Burwinkel y col., 2020), la marcha lumbosacra (Glowinski y col., 2020) o el reconocimiento de actividades (López y col., 2020).

Los sistemas propuestos en la literatura que integran IMUs y sensores OHR (Imeraj y col., 2011; Roetenberg y col., 2019) en el contexto del comportamiento hiperactivo presentan las siguientes deficiencias (Escobar y col., 2019; X. Jiang y col., 2019; Kam y col., 2010; Lymberis y Dittmar, 2007): la necesidad de llevar un gran número de IMUs distribuidas por todo el cuerpo, lo que resulta invasivo (Bandodkar y Wang, 2014), la limitación del movimiento y la actividad de la persona, por lo que ésta no puede realizar sus funciones y tareas de forma natural (Lara y Labrador, 2013), la dificultad en el despliegue del sistema en el cuerpo de la persona y excesiva dependencia de fuentes de energía externas (Díaz y col., 2014), la escasez de sistemas que proporcionen informes de seguimiento pertinentes durante largos periodos de evaluación (Kam y col., 2010), la realización de pruebas en entornos simulados y no en entornos reales en los que la persona actúe de manera natural (Díaz y col., 2014) y, finalmente, el coste elevado de las opciones comerciales y que, a pesar de ello, no cubren todas las necesidades (Zulueta y col., 2019).

Por tanto, surge la necesidad de proponer un sistema inteligente

de comportamiento hiperactivo que supere las limitaciones de las actuales soluciones mediante el uso de dispositivos vestibles con sensores inerciales y OHR que permitan la recogida de información de la persona y sea procesada inteligentemente.

1.1.2. Localización en interiores

El seguimiento de las áreas que visita una persona en su hogar o en una residencia de personas mayores puede arrojar información clave para comprender y monitorizar comportamientos relacionados con la salud como son las rutinas de sueño (Xiaochun y col., 2019), la velocidad de la marcha (Chapron y col., 2021), un comportamiento sedentario (Aguilera y col., 2021), la realización de actividades de la vida diaria (López y col., 2020; Pan y Wei, 2021) o la detección de caídas (Horng y Chen, 2021), entre otros (Brena y col., 2017; Domaradzki y col., 2017).

Los sistemas de posicionamiento en interiores (SPI) son una herramienta clave para la monitorización de dichos comportamientos. Se han propuesto múltiples enfoques o modelos que proporcionan metodologías basadas en diferentes tecnologías para localizar personas dentro de espacios cerrados.

En el contexto de localización, es muy común el uso de la banda ultra ancha (Dosic y col., 2020; Kok y col., 2015; López y col., 2020), Bluetooth de bajo consumo (*Bluetooth Low Energy*, BLE) combinado con un dispositivo que disponga de conexión Bluetooth (dispositivos móviles o dispositivos vestibles) (AL-Madani y col., 2019; Faragher y Harle, 2015; Feldmann y col., 2003; Mohebbi y col., 2017) o incluso la

identificación por radiofrecuencia (Ahsan y col., 2010; Ceipidor y col., 2009; Ni y col., 2003; Weinstein, 2005).

Entre las tecnologías más utilizadas destaca el uso de transmisores o balizas BLE para la localización en interiores (Blasio y col., 2020) debido a que estos dispositivos son ampliamente utilizados por su excelente rendimiento en términos de batería, pequeño tamaño, peso ligero, alta precisión para el posicionamiento y, finalmente, por ser fácilmente desplegables a un bajo coste.

Uno de los principales retos de los SPI cuando se quiere estimar con precisión la ubicación es lidiar con la incertidumbre inherente a las tecnologías aplicadas en estos sistemas (López y col., 2020; Montoliu y col., 2020; Selvakanmani y Sumathi, 2021) debido a problemas de calibración, pérdida de datos, obstáculos en interiores o limitaciones en el consumo de la batería. Además, existe una brecha importante entre el número de propuestas teóricas en la literatura sobre SPI y las que se desarrollan en sistemas reales para aplicaciones de la vida real.

Por tanto, surge la necesidad de proponer un sistema inteligente de localización en interiores para personas mayores que supere las limitaciones de las actuales soluciones con el uso de dispositivos vestibles con sensores BLE y balizas BLE distribuidos en el ambiente, recogiendo información de proximidad, la cual sea procesada de manera inteligente.

1.2. Propósito general y objetivos específicos

En base a la motivación y las consideraciones expuestas anteriormente, esta propuesta de tesis doctoral se fundamenta en el uso de dispositivos vestibles para sistemas inteligentes de monitorización en dos dominios de aplicación, monitorización de comportamiento hiperactivo y localización en interiores.

Partiendo del propósito general indicado, a continuación se exponen los objetivos específicos de esta investigación:

1. Revisar tecnológicamente el concepto de Internet de las cosas, los dispositivos vestibles y los sistemas inteligentes para la monitorización de indicadores de salud.
2. Proponer y evaluar un sistema inteligente para la monitorización de comportamiento hiperactivo en adolescentes en edad escolar a través de pulseras de actividad.
3. Proponer y evaluar un sistema inteligente para monitorizar la localización de personas mayores en interiores a través de dispositivos vestibles/móviles.

1.3. Estructura

Con la finalidad de conseguir los objetivos presentados en esta tesis doctoral y de acuerdo a lo establecido en el artículo 25, punto 2, de la normativa vigente para los Estudios de Doctorado en la Universidad de Jaén, correspondiente al programa establecido en el Real Decreto 99/2011, esta memoria de investigación es presentada

por un compendio de artículos que han sido publicados por el doctorando, los cuales recogen la investigación realizada durante su periodo doctoral.

Estas publicaciones conforman la parte central de la tesis doctoral que se compone de dos artículos científicos publicados en revistas internacionales indexadas por la base de datos JCR (Journal Citation Reports), producida por el Institute for Scientific Information.

Para cerrar este capítulo, a continuación se describe la estructura de esta memoria de tesis doctoral:

- **Capítulo 1.** En el presente capítulo se ha introducido la tesis doctoral, explicando la necesidad de investigación, así como la motivación y los objetivos planteados en la misma.
- **Capítulo 2.** En este capítulo se revisa el concepto de Internet de las cosas, posteriormente se describe el uso de dispositivos vestibles en el ámbito sociosanitario y se detallan los componentes que forman parte de los sistemas inteligentes aplicados a la monitorización en salud. Finalmente, se especifica el análisis de los datos recabados por sensores mediante sistemas inteligentes. Así, este capítulo presenta el primer resultado de la investigación realizada por el doctorando.
- **Capítulo 3.** El sistema inteligente de monitorización de comportamiento hiperactivo en adolescentes en edad escolar es presentado y evaluado como segundo resultado de la investigación realizada por el doctorando. Para ello, se incluye el artículo donde se ha difundido este resultado de investigación.

Además, se expone un resumen global de este resultado junto a la discusión derivada.

- **Capítulo 4.** El sistema inteligente de localización de personas mayores en interiores es presentado y evaluado como tercer resultado de la investigación realizada por el doctorando. Para ello, se incluye el segundo artículo donde se ha difundido este resultado de investigación. Asimismo, se describe un resumen global de este resultado junto a la discusión derivada.
- **Capítulo 5.** En este capítulo se exponen las conclusiones obtenidas del desarrollo de la tesis doctoral, al igual que las líneas de investigación futuras y las publicaciones que se han realizado.

Capítulo 2

Sistemas inteligentes basados en dispositivos con sensores

2.1. Introducción

Para llevar a cabo la propuesta de uso de dispositivos vestibles para sistemas inteligentes de monitorización en salud es necesario revisar aquellos conceptos tecnológicos en los que se fundamentan para culminar el objetivo específico de investigación 1 definido en el Capítulo 1.

Este capítulo se estructura del siguiente modo. En primer lugar, se revisa el concepto de Internet de las cosas, posteriormente se describe el uso de dispositivos vestibles en el ámbito sociosanitario. A continuación, se detallan los componentes que forman parte de los sistemas inteligentes aplicados a la monitorización en salud y, por

último, se especifica el análisis de los datos recabados por sensores mediante sistemas inteligentes.

2.2. Internet de las cosas

La aparición de elementos electrónicos pequeños, baratos y alimentados por baterías, como los microprocesadores y los microcontroladores, han allanado el camino para el desarrollo de una amplia variedad de dispositivos de pequeño tamaño que pueden conectarse entre sí y que, además, pueden conectarse a Internet.

Estos dispositivos constituyen la base del término Internet de las cosas (Asghari y col., 2019). Este concepto se aplica a la nueva generación de Internet que permite la conexión entre dispositivos para intercambiar información a través de Internet (Serrano y col., 2015) de una manera fluida y en tiempo real. Los dispositivos vestibles están equipados con varios sensores, unidades de computación y comunicación, lo que permite recoger, procesar e intercambiar una gran variedad de datos e información de forma continua (Cornacchia y col., 2017). Asimismo, el rápido desarrollo que han experimentado las tecnologías inalámbricas, como Wi-Fi, Bluetooth, 6LoWPAN y ZigBee, ha ocasionado que el proceso de conexión entre este tipo de dispositivos a Internet sea fácil, sencillo y barato.

En base a la literatura científica revisada, Internet de las cosas se puede aplicar a múltiples y heterogéneos ámbitos, como la mejora de la eficiencia industrial (Donzia y col., 2019), el hogar y las ciudades inteligentes (Park y col., 2017; Sanchez y col., 2014; Zanella

y col., 2014), la energía inteligente (Vishwakarma y col., 2019), la comunicación entre vehículos (Husni y col., 2017), la agricultura inteligente (Brewster y col., 2017), la conexión inteligente entre edificios (Sastrá y Wiharta, 2017), la logística (L. Li, 2011) y la atención sanitaria (Islam y col., 2015).

Más recientemente, surge el concepto de dispositivos inteligentes que se llevan cerca del cuerpo, es decir, los dispositivos vestibles, creando el concepto de Internet de las cosas vestible (*Internet of Wearable Things*, IoWT) (John y col., 2020). IoWT es una fusión de varios dispositivos vestibles, como se muestra en la Figura 2.1, los cuales incluyen relojes inteligentes, pulseras inteligentes, zapatos inteligentes, anillos inteligentes y gafas inteligentes, entre otros.

Otra área de investigación muy relacionada con IoWT es la formada por las redes inalámbricas de sensores corporales (*Wireless Body Sensor Network*, WBSNs) (Fortino y col., 2014; Pace y col., 2019), también conocidas como redes inalámbricas de área corporal (*Wireless Body Area Networks*, WBANs) (Latré y col., 2011). En base a este tipo de redes, los dispositivos vestibles pueden medir e intercambiar datos heterogéneos de diferentes ámbitos (Diamond y col., 2008) integrando múltiples sensores, lo cual aumenta la eficiencia y la flexibilidad de la recogida, el procesamiento, la transmisión y el análisis de los datos recogidos (Bhattacharya y col., 2012; Lozano y col., 2012).

Estas redes inalámbricas se emplean principalmente en aplicaciones relacionadas con la salud humana, teniendo un cierto solapamiento con IoWT. La principal diferencia entre las WBSN/WBAN y la IoWT

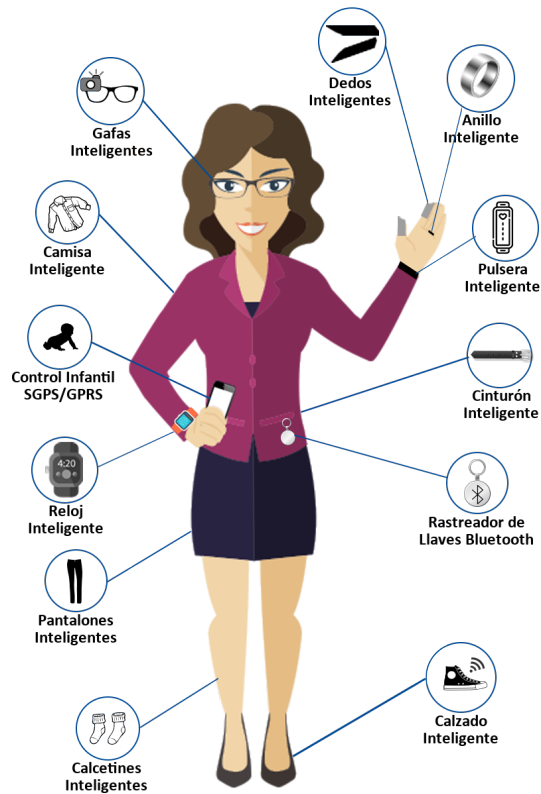


FIGURA 2.1: Tipos de dispositivos IoWT.

Fuente: Elaboración propia.

se presenta en el número de dispositivos o sensores que se utilicen. Las WBSN o WBAN suelen incluir un gran número de sensores conectados (hasta 50 sensores) que cooperan para alcanzar un objetivo común (por ejemplo, varios sensores colaboran para controlar la salud general de un individuo), mientras que los dispositivos IoWT suelen ser autónomos y se utilizan para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la monitorización de la salud, la observación de las actividades humanas a través de la localización y el seguimiento, y en aplicaciones de ocio y entretenimiento (Ometov y col., 2017; Seneviratne y col., 2017).

Es reseñable que los dispositivos vestibles pueden ayudar a que las personas realicen sus tareas cotidianas de manera más cómoda y eficiente, empleando estímulos visuales y auditivos (Wang y col., 2016). Por ejemplo, responder a las llamadas y mensajes entrantes, recibir notificaciones de la previsión del tiempo, visualizar información de su salud y muchas otras tareas (McMillan y col., 2017; Ponomarenko y col., 2019; Roumen y col., 2015). Así pues, la amplia variedad de aplicaciones que emplean dispositivos vestibles puede revolucionar, y está revolucionando, la forma en la que la persona lleva a cabo las tareas cotidianas y mejorar su calidad de vida en general (J. Lee y col., 2016; Piwek y col., 2016).

2.3. Dispositivos vestibles en el ámbito sanitario

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que los dominios conductuales, fisiológicos y psicológicos de las personas son relevantes para la calidad de vida y la salud, presentando una mayor repercusión en personas mayores y en personas con enfermedades crónicas («The World Health Organization quality of life assessment (WHOQOL): Position paper from the World Health Organization», 1995). Asimismo advierte que factores que se derivan del ámbito medioambiental influyen en el resto de dominios (Chashchin y col., 2014).

La aparición de un nuevo modelo sanitario predictivo, preventivo, personalizado y participativo (4P) (Alonso y col., 2019), desplaza a la metodología sanitaria tradicional (síntoma, diagnóstico y tratamiento)

hacia la protección de la salud (monitorización, predicción y prevención) (Deserno, 2020). Este nuevo paradigma incluye un seguimiento continuo, exhaustivo y simultáneo de los ámbitos importantes que influyen en la asistencia sanitaria (Haghi y col., 2020) y se materializa en la aplicación de tecnologías de la información y la comunicación a dichos ámbitos, como son la salud móvil (mHealth en inglés) (Silva y col., 2015), la salud electrónica (eHealth en inglés) (Mair y col., 2012) y el Internet de las cosas médicas (*Internet of Medical Things*, IoMT) (Al-Turjman y col., 2020).

En la metodología tradicional, la gestión de las enfermedades crónicas es principalmente reactiva, lo que impone ciertos costes y esfuerzos adicionales a los sistemas de atención sanitaria (Jovanov, 2019). A diferencia de la metodología reactiva, el modelo sanitario predictivo se centra de manera proactiva en las causas de las enfermedades en lugar de en sus síntomas. De este modo, se identifican de manera temprana los síntomas o trastornos de las enfermedades, llegando a evitar el desarrollo de la propia enfermedad. En este contexto, cualquier persona encuentra una motivación por evaluar y, por tanto, por controlar su estilo de vida o su estado de salud, para mejorar su calidad de vida (Guillemin y col., 1993; Inomata y col., 2020; Jovanov, 2019). La aplicación de una asistencia sanitaria proactiva es económica, ahorra tiempo, identifica las enfermedades crónicas en fases más tempranas y aumenta la calidad del servicio a los pacientes (Hood y Flores, 2012).

Un estudio realizado por Joel y col. (Rodrigues y col., 2018) sobre el uso de IoT en la asistencia sanitaria, revisó diversos métodos y formas

de utilizar IoT en el campo médico proponiendo una metodología para aplicar IoT en el ámbito sanitario con el objetivo de ayudar y facilitar el proceso de toma de decisiones a los profesionales sanitarios.

Nipuni y col. en (Nanayakkara y col., 2019) consideraron en su artículo la importancia de mantener la confidencialidad de los datos que se transmiten en aplicaciones que emplean IoT en la asistencia sanitaria, indicando propuestas para mitigar las amenazas y los riesgos que se puedan producir en este tipo de aplicaciones, como son la autenticación y autorización en las aplicaciones, así como el uso de técnicas criptográficas para cifrar la información que sea transferida.

En (Selvaraj y Sundaravaradhan, 2020) los autores destacaron el IoMT, las aplicaciones, los beneficios y las dificultades futuras en el campo de la asistencia sanitaria. Se refirieron al gran potencial que proporcionarán las aplicaciones de IoT, identificaron los retos más destacados en el uso de las aplicaciones del IoMT y destacaron algunas de las aplicaciones utilizadas en las instituciones sanitarias, entre las que se encuentra la monitorización de personas desde su hogar.

En un estudio sobre IoMT y el análisis masivo de datos o Big Data en la atención sanitaria (Nazir y col., 2019), los autores señalaron que el uso de IoT en la transformación digital de las instituciones sanitarias es un aspecto importante. Además, indicaron que sirve para potenciar los servicios sanitarios y mejorar su calidad. Como resultados se destacan la necesidad de apoyar y fomentar el uso de aplicaciones y dispositivos vestibles para permitir el seguimiento de la

salud de los pacientes, la recopilación y el análisis de datos necesarios de forma remota y la necesidad de que el personal médico adquiriera las habilidades necesarias para comprender y analizar los datos sanitarios digitales.

Respecto al papel del IoT en el ámbito sanitario y las cuestiones de seguridad, en (Chacko y Hayajneh, 2018) los autores debatieron acerca de la necesidad de integrar IoT en el campo de la monitorización sanitaria remota. La conclusión más importante es que es necesario establecer una serie de normas para el funcionamiento del IoT en la atención sanitaria, como son realizar una evaluación de riesgos previa al uso de dispositivos IoT y hacer uso de la autenticación y el cifrado.

Los estudios anteriores indican la importancia de emplear IoT en el campo de la salud por su gran papel en la promoción y desarrollo de los servicios de salud y los beneficios que se obtienen de su aplicación. Sin embargo, algunos autores destacan que el producto intelectual sobre IoT se considera muy escaso por ser un tema moderno (Kadhim y col., 2020).

Los recientes avances que se están produciendo en el campo de la electrónica, como la reducción del tamaño de los sensores o la disminución en el consumo de energía, y en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) han aumentado el uso de dispositivos vestibles en la monitorización de la salud (C. Chen y col., 2012; Jovanov, 2008; Yi y col., 2015), demostrando beneficios en su uso (Banerjee y col., 2017; Rajanna y col., 2014; Wu y col., 2018). Una mayor comodidad y una menor interferencia en la realización

de las actividades diarias fomentan un seguimiento continuo de la persona en lugar de un seguimiento parcial, lo que facilita la toma de decisiones médicas (Kyriakou y col., 2019).

Así, en esta tesis doctoral se propone el uso de dispositivos vestibles con sensores para generar datos, los cuales sean procesados de manera inteligente para obtener indicadores de interés en dos contextos clave: hiperactividad en adolescentes y localización en interiores de personas mayores.

2.4. Integración en sistemas inteligentes de monitorización

Los datos recogidos por los sensores de los dispositivos vestibles pueden producir una gran mejora dentro de la escena sanitaria. El procesamiento de estos datos, junto con las metodologías de procesamiento inteligente de los mismos, proporciona tres ventajas clave. La primera de ellas es una evaluación precisa de la situación del paciente, la segunda es un sistema de gestión médica eficiente, y, finalmente, una reducción de los costes sanitarios con mejores resultados.

Para llevar a cabo la integración de dispositivos vestibles en sistemas inteligentes de monitorización en salud, el concepto de eHealth (Della, 2001) propone un enfoque basado en IoT. Hay tres elementos básicos que forman parte de los sistemas inteligentes de eHealth: las personas usuarias finales, las unidades de sensores inteligentes y el servidor (Fan y col., 2014).

La Figura 2.2 muestra una arquitectura para la monitorización en salud basada en IoT. Las personas usuarias finales son el personal técnico o especialista, cuidadores, personal médico, pacientes y tutores/as que necesitan acceder al sistema inteligente a través de dispositivos móviles o dispositivos de eHealth (Yin y col., 2016). Las unidades de sensores inteligentes están formadas por diferentes sensores conectados al cuerpo del paciente para la monitorización de su situación sanitaria y la recuperación de los datos recibidos por los sensores. Estas unidades se conectan a Internet para transferir al servidor los datos registrados por los sensores.

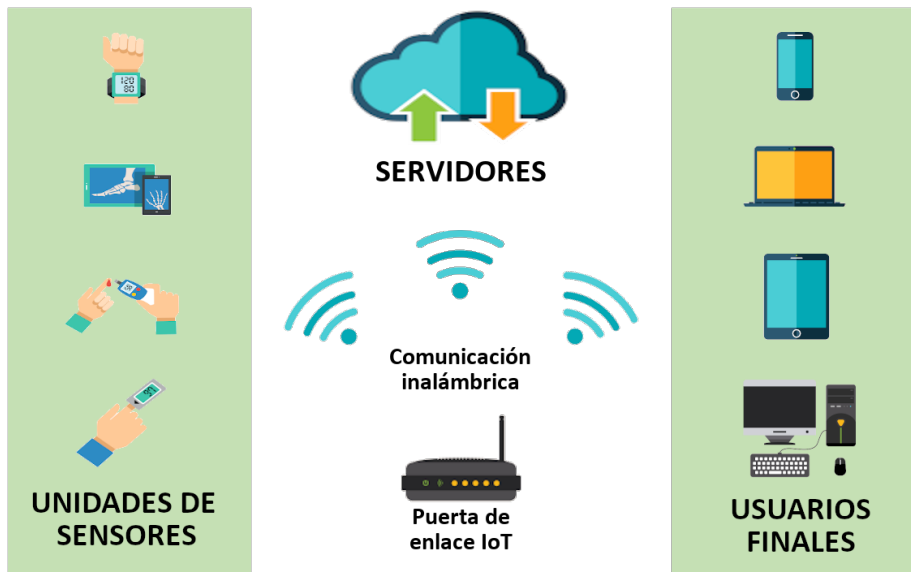


FIGURA 2.2: Arquitectura para la asistencia sanitaria inteligente y ubicua basada en IoT.
Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas inteligentes de monitorización en salud basados en IoT comprenden cuatro elementos principales: los dispositivos o sensores médicos, las TICs del sistema inteligente de monitorización en salud,

Internet, y la gestión y el procesamiento de los datos médicos. La Figura 2.3 muestra la estructura básica de IoT y los sistemas de monitorización en salud.

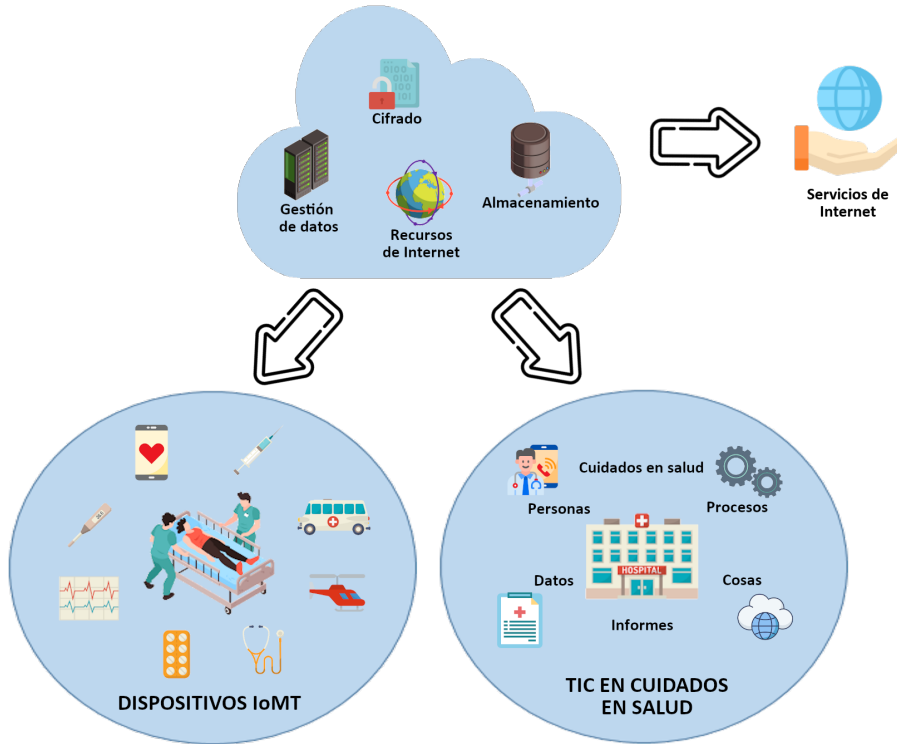


FIGURA 2.3: IoMT y sistema de monitorización en salud.

Fuente: Elaboración propia

2.4.1. Dispositivos médicos

El IoMT está formado por una red de dispositivos físicos y sistemas integrados que interactúan con la electrónica, el software, los sensores y los actuadores dinámicos que requieren conectividad inalámbrica. Una conexión inalámbrica permite a los objetos comunicarse e intercambiar datos. Cuando la IoT se enriquece con sensores y actuadores dinámicos, la tecnología se convierte en una parte

integral de los sistemas electrónicos físicos conectados a Internet. Estos sistemas dependen totalmente de su inclusión en un sistema embebido que debe tener un mini-ordenador o lo que se denomina microcontrolador, que funciona como el corazón del sistema IoT. A estos microcontroladores se le pueden conectar numerosos dispositivos según sea la funcionalidad del sistema inteligente.

Los dispositivos médicos que formen parte de este sistema, desempeñan un papel muy importante, ya que proporcionan información valiosa del paciente mediante la detección de varios parámetros como son la temperatura, el pulso o el ritmo cardíaco, musculatura, huella dactilar, imagen, presión, infrarrojos, flujo, fuerza, humedad, termistor y posición (Irawan y Juhana, 2018; M. Jiang y col., 2016; Karimian y col., 2019; Malhotra y col., 2019; Nugraha y col., 2018; Prouski y col., 2017; Vijay y col., 2018).

A día de hoy, los dispositivos médicos conectados en red, los dispositivos sanitarios y sus aplicaciones ya están creando una IoMT destinada a mejorar la salud y la atención preventiva. Las principales ventajas que hacen que los dispositivos médicos de IoT sean apropiados para los fines de los sistemas inteligentes de monitorización en salud son la memoria, la eficiencia energética, la portabilidad, la eficiencia computacional, la cobertura, su durabilidad, el coste, y, finalmente, la confiabilidad (Pulkkis y col., 2017).

2.4.2. TICs para sistemas inteligentes de monitorización en salud

Las TICs en los sistemas de salud juegan un papel crucial en el éxito de los sistemas IoT de asistencia sanitaria. Las actuales TICs en sistemas inteligentes de monitorización en salud se clasifican en base a frecuencias heterogéneas, estándares de comunicación y velocidades de transmisión. Los estándares de comunicación se dividen en un estándar de comunicación de largo alcance y de corto alcance. Las frecuencias heterogéneas de comunicación se dividen en frecuencias con y sin licencia. Las velocidades de transmisión de los datos de los dispositivos IoT dependerán del tipo de red de la que formen parte, de los dispositivos sensores y de las topologías de distribución (Ahmed y col., 2016).

Frecuencias

Las frecuencias con licencia que se dedican a la red móvil pueden proporcionar una gestión más eficiente del tráfico de la red, un alto nivel de seguridad, garantías de servicio de alta calidad en grandes áreas, una mayor fiabilidad, menores costes de infraestructura de las personas usuarias, y no corren el riesgo de sufrir interferencias, pudiendo controlar los niveles de uso. Como resultado, el IoT con licencia es la única opción para servicios que requieren niveles significativos de garantía. Este tipo de frecuencias promueven una inversión sostenible de largo alcance en redes donde el acceso y la calidad estén garantizados. La desventaja de utilizar frecuencias con

licencia son los costes de suscripción para la transferencia de datos y la cantidad de energía consumida en los dispositivos IoT (M. Li, 2019).

Por el contrario, las frecuencias sin licencia aprovechan la banda de frecuencias de la industria científica y médica. Este tipo de frecuencias son sustancialmente menos adecuadas para las aplicaciones de IoT de banda ancha, especialmente las que requieren un mayor nivel de calidad de servicio. No obstante, el uso de este tipo de frecuencia puede incrementar el rendimiento del sistema. Las desventajas de utilizar las frecuencias sin licencia son los problemas de seguridad, el coste de la infraestructura y las interferencias (Pulkkis y col., 2017).

En esta tesis doctoral, para los sistemas inteligentes propuestos, se han empleado dispositivos IoT que usan frecuencias sin licencia, como es Bluetooth, ya que se adaptan a las características de los sistemas y debido a su bajo coste ya que este tipo de licencia no requiere pagar por su uso.

Estándares de comunicación

Existen múltiples estándares de comunicación de red para apoyar la infraestructura física de los sistemas inteligentes de monitorización en salud basados en IoT. Estos estándares se pueden clasificar en dos grupos, los de corto alcance, que incluye dispositivos que soportan una comunicación de campo cercano (como los sistemas Z-Wave, Bluetooth, ZigBee, y los sistemas pasivos y activos (RFID)), y los estándares de comunicación de largo alcance (como Sigfox, LoRa y NB-IoT). La distancia máxima de cobertura para las tecnologías de comunicación de corto alcance es de aproximadamente 100 metros,

mientras que para tecnologías de comunicación de largo alcance la cobertura se extiende a una distancia de decenas de kilómetros (Beyene y col., 2017; Islam y col., 2015; Raza y col., 2017; Shobowale y Hamdi, 2009).

En el caso de la investigación llevada a cabo, los sistemas inteligentes desarrollados mediante el uso de dispositivos vestibles emplean el estándar de comunicación Bluetooth, por tanto hace uso de un estándar de comunicación de corto de alcance.

Tasas de transmisión para transferencia de datos

La funcionalidad que se pretenda llevar a cabo con el sistema que utilice dispositivos IoT, influye en la selección de una u otra tecnología de comunicación. Esta tecnología representa las redes que formen los dispositivos IoT o nodos.

Por un lado, existen redes donde la distancia que cubren los nodos es muy corta, la cual cuenta con una velocidad de transferencia de datos baja y con un consumo de energía mínimo. Por otro lado, existen redes que pueden utilizarse para distancias largas y que también admite altas velocidades de transmisión de datos, como por ejemplo las redes de retorno o backhaul. Otras tecnologías de comunicación admiten nodos bidireccionales para establecer la comunicación y garantizar la fiabilidad de los datos, la corrección de errores, las actualizaciones inalámbricas del firmware, la encriptación de los datos y la comunicación de los dispositivos entre sí.

En (Sinha y col., 2017) los autores diferenciaron entre tecnologías

estándar de banda estrecha de IoT (*NarrowBand-IoT*, NB-IoT) y de largo alcance (*Long Range*, LoRa), cada una con sus ventajas y inconvenientes, manifestando que la tecnología de comunicación dependerá de la funcionalidad del sistema en el que se vaya a integrar.

Otro aspecto importante que afecta a la tasa de transmisión, es la distribución de los dispositivos IoT en el espacio, que forma una red de nodos. Esta distribución, o topología de la red, también determina el tipo de tecnología de comunicación que se utilice en el sistema.

La topología de red especifica las funciones y los roles de cada dispositivo IoT. El papel desempeñado por cada dispositivo puede ser el de un dispositivo final o una red de área personal (*Personal Area Network*, PAN), un dispositivo de función reducida (*Reduced Function Device*, RFD) o un dispositivo de función completa (*Full Function Device*, FFD) (Cabral y col., 2008).

En el desarrollo de los sistemas inteligentes propuestos en esta tesis doctoral, se hace uso de una red PAN para la distribución de los dispositivos IoT que forman parte de dichos sistemas y que implican el uso de redes que cubren distancias cortas, con una baja tasa de transferencia de datos y un consumo de energía mínimos.

2.4.3. Servicio de Internet

Los avances en las comunicaciones inalámbricas, los dispositivos móviles y los servicios ofrecidos en cualquier parte han allanado el camino de la conectividad de los dispositivos a Internet. Millones de dispositivos conectados forman parte del IoT, transmitiendo datos

mediante protocolos de comunicación y middleware de IoT. Un ejemplo de middleware de IoT es la arquitectura orientada a servicios (*Service-Oriented Architecture*, SOA) (Ngu y col., 2017; Xu y col., 2014). Los dispositivos móviles de los usuarios pueden usarse como puerta de enlace para establecer la conexión a Internet, bien a través de un hardware físico ubicado en el hogar, como un router, o a través de una conexión directa al proveedor de servicios de Internet. La arquitectura SOA para el IoT plantea una estructura de varios niveles o capas como son: sensores, método de acceso a la red, capas intermedias y de aplicación.

Internet es la capa central de la red a través de la cual se envía información a los servidores informáticos donde se agrega dicha información y se analiza (TongKe, 2013). La conectividad del IoT permite que los datos estén disponibles en cualquier momento y lugar. Es muy importante realizar pruebas de seguridad, actualizar de manera periódica el software y adoptar los estándares necesarios para reducir los problemas que se puedan producir.

Por esta razón, los sistemas inteligentes planteados en esta investigación hacen uso del middleware de IoT SOA que dota de la posibilidad de comunicación a través de Internet, bien para transferir información procesada a servidores externos o para transferir a los servidores la información recogida directamente por el dispositivo IoT para que sea procesada de manera inteligente.

2.4.4. Gestión y procesamiento de datos

Los dispositivos IoMT necesitan capacidad de procesamiento y almacenamiento para lograr procesos básicos, análisis y conversión de los datos recogidos por sus sensores. Los dispositivos IoMT pueden procesar datos médicos directamente o transferirlos a otros dispositivos, como pasarelas, servidores y aplicaciones en la nube para que los almacenen y analicen. Dicho proceso implica el análisis de los datos en el borde en lugar de en el propio dispositivo ya que la cantidad de datos médicos recogidos es grande y la capacidad de procesamiento es limitada. En lugar de transferir los datos recogidos por el dispositivo al servidor de la nube para su análisis, se puede realizar dicho análisis casi en tiempo real en el mismo dispositivo o en un dispositivo de enlace cercano que se conecte con los dispositivos médicos IoT directamente. La elección de uno u otro análisis dependerá del tipo de dispositivo y de la funcionalidad del sistema inteligente en el que se integre.

El procesamiento de datos en el borde proporciona la posibilidad de recoger y filtrar los datos médicos a medida que se recogen, identificando qué datos médicos son más interesantes para enviarlos (Bendre y col., 2016; Wolfert y col., 2017). Finalmente, el análisis en el borde reduce los requisitos de capacidad de procesamiento y almacenamiento iniciales, así como la carga de la red (Yan-E, 2011).

Recientemente, se ha hecho uso de la computación difusa, suave o fuzzy (Kacprzyk y Zadrozny, 2010) para el procesamiento de los datos recogidos por los dispositivos, de manera que se realicen cálculos y

operaciones analíticas para reducir el tiempo de acceso a aplicaciones críticas, reducir el coste y mejorar la interpretabilidad del servicio (X. Chen y col., 2018; PremSankar y col., 2018). Además, la computación difusa también es utilizada para modelar datos de los sensores por su inexactitud debido a sus calibraciones, a la falta de batería y a errores de transmisión en la red (Bajaber y Awan, 2010; Sheltami y col., 2016; Thombre y col., 2016; Ul-Islam y col., 2018; Xu y col., 2017).

La potencia de procesamiento y almacenamiento empleado por un sistema que use dispositivos IoT depende de la cantidad de procesamiento que se realice en el propio dispositivo frente a la cantidad de procesamiento realizada por los servicios o aplicaciones que utilizan los datos.

Debido a las bondades de la lógica difusa, en las propuestas presentadas en esta tesis doctoral se ha utilizado lógica difusa para modelar los datos generados por los sensores de los dispositivos.

2.5. Dispositivos vestibles y análisis de datos para sistemas inteligentes de monitorización en salud

Los dispositivos IoMT permiten recoger parámetros importantes de la salud de una persona. Estos dispositivos pueden registrar la temperatura corporal, el pulso o frecuencia cardíaca, la presión arterial, la frecuencia respiratoria y el electrocardiograma, y pueden incluir otras mediciones en función de los requisitos de diagnóstico y

enfermedad que sean objeto de estudio. Estas mediciones continuas producen grandes cantidades de información. En el estudio realizado por Dimitrov (Dimitrov, 2016) se describieron las aportaciones del IoMT a la sociedad, así como las tendencias en los sistemas de monitorización en salud.

IoT permite que las personas puedan predecir y prevenir enfermedades (Fernandes y Werebe, 2010) y proporcionar tratamientos adecuados para cada persona con la ayuda de una enorme cantidad de información recogida por un dispositivo móvil (Kaur y Kaur, 2017). Los datos procedentes de diversas fuentes, recogidos a través de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes (Akshat y col., 2019), tecnologías vestibles (Gaur y col., 2019), herramientas de diagnóstico de bajo coste y estándares de conexión inalámbrica, permiten proporcionar una imagen más precisa del estado de salud de la persona y de los tratamientos que recibe. Este hecho conlleva que el personal médico y sanitario pueda tomar mejores decisiones clínicas.

Las mejoras en los sensores de los teléfonos inteligentes y las herramientas de diagnóstico portátiles ayudan al personal profesional de la salud a intervenir de manera temprana en pacientes. Tener a su disposición más información sobre la salud hace que los tratamientos sean más especializados. La mayoría de los profesionales en medicina coinciden en que la digitalización y el intercambio de historias médicas entre médicos de cabecera, hospitales y otras fuentes pueden suponer mejoras significativas en la gestión de los servicios sanitarios y de las enfermedades. Al mismo tiempo, la recopilación de datos se

enfrenta a un gran reto en medio de la preocupación por la privacidad de los datos personales.

El análisis de los datos ayuda a descubrir correlaciones que antes no estaban muy claras, lo que puede perfeccionar la forma de practicar medicina. Los hospitales también pueden asignar los recursos de forma más eficiente y dirigirse a grupos más pequeños con tratamientos adaptados. El análisis de los datos puede permitir, además, identificar cualquier tratamiento que sea mejor, ya que las estadísticas en tiempo real respaldan el conocimiento y la experiencia tradicional de los médicos. En general, muchos hospitales de todo el mundo se benefician del Big Data para reducir el tiempo de espera en los servicios de urgencias, hacer un seguimiento de los movimientos de los pacientes y aumentar la eficiencia de la gestión médica.

Capítulo 3

Sistema inteligente para monitorización de comportamiento hiperactivo en adolescentes en edad escolar

3.1. Introducción

De acuerdo a lo que establece el artículo 25, punto 2, de la normativa en vigor para los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, del programa establecido en el Real Decreto 99/2011, los artículos de investigación que se presentan en esta tesis doctoral tienen su correspondencia con dos publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas por la base de datos JCR, producida por el

Institute for Scientific Information.

En este capítulo se incluye la publicación científica titulada “Fuzzy Protoform for Hyperactive Behaviour Detection Based on Commercial Devices”, la cual recoge el avance del conocimiento en la propuesta y evaluación de un sistema inteligente de monitorización de comportamiento hiperactivo en adolescentes en edad escolar con pulseras de actividad para culminar el objetivo específico 2 de investigación definido en el Capítulo 1.

Para ello en este capítulo se detallan, en primer lugar, los índices de calidad de la revista donde ha sido publicado. Posteriormente, se incluye la publicación científica y, finalmente, se resume la propuesta llevada a cabo con una discusión integrada de estos resultados.

3.2. Índices de calidad

La publicación científica titulada “Fuzzy Protoform for Hyperactive Behaviour Detection Based on Commercial Devices” ha sido publicada en la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health*, cuyos índices de calidad son los siguientes:

- Base de datos de indexación: JCR
- Índice de impacto: 3.390
- Año: 2020
- Categoría: Public, Environmental and Occupational health
- Posición que ocupa la revista en el área: 41 de: 176

- Cuartil: 1
- ISSN: 1660-4601

Los datos de la publicación científica son los siguientes:

- Título: Fuzzy Protoform for Hyperactive Behaviour Detection Based on Commercial Devices
- Autores: Antonio Pedro Albín Rodríguez, Adrián Jesús Ricoy Cano, Yolanda María de la Fuente Robles y Macarena Espinilla Estévez
- Revista: International Journal of Environmental Research and Public Health
- Año: 2020
- Volumen: 17
- Número: 18
- Artículo: 6752
- DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17186752>

3.3. Resumen y discusión

El artículo presentado en este Capítulo 3 ha partido de la hipótesis de que la propuesta de un sistema inteligente de monitorización del comportamiento hiperactivo con dispositivos vestibles y móviles, ofrece un medio más fiable y preciso para calcular una protoforma difusa como estimador del comportamiento hiperactivo.

El estimador de comportamiento hiperactivo ha sido obtenido procesando los flujos de datos de las IMUs y de un sensor OHR del dispositivo vestible que lleva el adolescente en edad escolar para proporcionar una monitorización más precisa en su entorno cotidiano.

Como se indicó en la Sección 2.4.4, la lógica difusa (Kacprzyk y Zadrozny, 2010) ha sido exitosamente empleada en el procesamiento de los datos recogidos por los dispositivos, de manera que se realicen cálculos y operaciones analíticas para reducir el tiempo de acceso a aplicaciones críticas, reducir el coste, mejorar la interpretabilidad del servicio y modelar la incertidumbre de los sensores.

En la propuesta de sistema inteligente de monitorización del comportamiento hiperactivo con dispositivos vestibles ha sido utilizada la lógica difusa a través de protoformas difusas. Dichas protoformas representan descripciones lingüísticas de los datos (Kacprzyk y Zadrozny, 2013) que transmiten la información contenida y que, a veces, está oculta en ellas. Las protoformas difusas fueron propuestas por Zadeh (Zadeh, 1975; 2006) como un modelo de conocimiento útil para el razonamiento (2002), el resumen (Kacprzyk y Zadrozny, 2005) y la agregación (Yager, 1991) de datos bajo incertidumbre. Los datos se modelan mediante conjuntos difusos cuyo grado de verdad se define mediante funciones de pertenencia.

La investigación llevada a cabo ha propuesto una metodología basada en el uso de ventanas temporales difusas, operadores de agregación y términos lingüísticos difusos relevantes para definir una protoforma difusa como estimador del comportamiento hiperactivo, la cual

fusiona datos de aceleración, giro y frecuencia cardíaca recogidos por una pulsera de actividad. En concreto, se ha propuesto utilizar un filtro de paso bajo y cálculos de módulos vectoriales aplicados a los flujos de datos de aceleración y giro. Además, para fijar la protoforma difusa, se han integrado ventanas temporales difusas, operadores de agregación y términos lingüísticos difusos en cada flujo de datos.

La metodología propuesta se ha desplegado en un sistema denominado Smart HyBeDe (*Hyperactive Behaviour Detection*, HyBeDe) utilizando dispositivos comerciales de pulseras de actividad. En concreto, se ha propuesto el uso del dispositivo Polar M600 (ver Figura 3.1), ya que es un dispositivo Android Wear de gran precisión con un sensor OHR de alta calidad. Las especificaciones del Polar M600 son las siguientes

1. Sensor OHR con 6 LEDs.
2. Resistencia al agua (IPX8 10 m).
3. Peso ligero (63 gramos).
4. Tamaño reducido ($45 \times 36 \times 13$ mm).
5. Batería de larga duración (500 mAh Li-pol para una media de 2 días de funcionamiento por carga u 8 h de entrenamiento).
6. Almacenamiento interno de 4GB.

Para la validación de la propuesta, se han recogido tres conjuntos de datos (tres escenarios) en los cuales participan cuatro personas (A, B, C, D) con el Polar M600 y el sistema Smart HyBeDe para calcular una protoforma difusa como estimador del comportamiento



FIGURA 3.1: Dispositivo vestible Polar M600
Fuente: Elaboración propia

hiperactivo. Los conjuntos de datos se encuentran disponibles en el dataset denominado “ASIA HyBeDe Datasets”.¹

La frecuencia de recogida de datos de las IMUs ha sido de 50 Hz, y de 1 Hz para el sensor OHR. Los archivos incluidos en el conjunto de datos por los sensores del dispositivo vestible son guardados cada 5 min.

Es digno de mención que la persona A ha participado en los tres conjuntos de datos. Esta persona fue evaluada por el experto en comportamiento hiperactivo como inquieta y nerviosa pero sin un comportamiento altamente hiperactivo. Este sujeto es clave en la evaluación de los estimadores ya que no tiene una distribución de extremos (muy tranquilo o muy activo). Esta persona ha sido comparada en los siguientes escenarios.

¹Disponible online: <https://www.ujaen.es/grupos-de-investigacion/asia/fuzzy-protoform-hyperactive-behaviour-detection-based-commercial-devices> (accedido el 5 de agosto de 2021).

- **Conjunto de datos A - Elección de muñeca.** Persona A (sujeto femenino de 17 años) trabajando en un ordenador personal con dos pulseras de actividad, una en cada muñeca. La recogida de datos se realizó el 28 de julio de 2020 durante una sesión de estudio de aproximadamente 15 minutos. Los archivos incluidos en cada carpeta almacenan los datos capturados por los sensores cada 5 minutos. Uno de los dispositivos se colocó en la muñeca de la mano no dominante y el otro en la muñeca de la mano dominante. Los dos conjuntos corresponden a las carpetas descritas a continuación.
 - Persona A (sujeto femenino de 17 años), muñeca dominante.
 - Persona A (sujeto femenino de 17 años), muñeca no dominante.
- **Conjunto de datos B - Trabajo en casa con el ordenador.** Dos personas (A y B) trabajando en un ordenador personal con una pulsera de actividad en la mano no dominante (izquierda, las dos personas son diestras). Como se sabe, la persona A fue evaluada como inquieta y nerviosa sin un comportamiento altamente hiperactivo y la persona B fue evaluada como tranquila por el consultor experto. La recogida de datos tuvo lugar el 27 de julio de 2020 durante una sesión de estudio de aproximadamente 20 minutos. Se asignó una pulsera de actividad a cada persona: Persona A (sujeto femenino de 17 años) y Persona B (sujeto masculino de 16 años). El dispositivo

se colocó en la muñeca no dominante de cada usuario. Los dos conjuntos corresponden a las carpetas:

- Persona B (sujeto masculino de 16 años).
 - Persona A (sujeto femenino de 17 años).
- **Conjunto de datos C - Actividad de grupo.** Esta actividad consistía en una discusión en grupo para argumentar diferentes puntos de vista sobre un tema específico. Las tres personas (A, C y D) que formaban parte de la discusión llevaban un dispositivo vestible en su mano no dominante (izquierda, los tres son diestros). La recogida de datos se realizó el 28 de julio de 2020 durante una actividad de grupo de aproximadamente 95 minutos. Se asignó un dispositivo a cada persona: dos sujetos femeninos, uno de 17 años de edad (Persona A) y otro de 15 años de edad (Persona D), y un sujeto masculino de 16 años (Persona C). Los tres conjuntos de datos corresponden a los conjuntos:
- Persona A (sujeto femenino de 17 años).
 - Persona C (sujeto masculino de 16 años).
 - Persona D (sujeto femenino de 15 años).

Por último, la evaluación de la metodología se ha llevado a cabo por un experto en comportamiento hiperactivo que ha valorado los siguientes aspectos para presentar la protoforma difusa propuesta como estimador del comportamiento hiperactivo:

- La muñeca para llevar el dispositivo.

- El tamaño de las ventanas temporales difusas.
- Los operadores de agregación.
- Los términos lingüísticos relevantes.

Como resultado de la evaluación, han surgido las siguientes conclusiones más relevantes para la obtención de una protoforma difusa como estimador del comportamiento hiperactivo dentro de un sistema inteligente a través de dispositivos vestibles:

- El dispositivo vestible situado en la mano no dominante de la persona ofrece más información clave para obtener el estimador.
- La ventana temporal difusa en torno a 5 segundos es adecuada para representar las variaciones de aceleración y giro. Sin embargo, el tamaño de la ventana temporal para los datos de la frecuencia cardíaca no es muy importante ya que esta señal es más estable.
- En cuanto al tipo de operador de agregación para los datos de aceleración y giro, la suma de las diferencias de los valores ha sido la más adecuada debido a que muestra las variaciones adecuadamente. Para la frecuencia cardíaca, se ha considerado la media como primer operador de agregación.
- Se ha definido el término lingüístico difuso relevante para cada tipo de dato y su protoforma difusa como estimador del comportamiento hiperactivo.

Capítulo 4

Sistema inteligente para localización de personas mayores en interiores

4.1. Introducción

De acuerdo a lo que establece el artículo 25, punto 2, de la normativa en vigor para los Estudios de Doctorado de la Universidad de Jaén, del programa establecido en el Real Decreto 99/2011, los artículos de investigación que se presentan en esta tesis doctoral tienen su correspondencia con dos publicaciones científicas en revistas internacionales indexadas por la base de datos JCR, producida por el Institute for Scientific Information.

En este capítulo se incluye la publicación científica titulada “UJAmI Location: A Fuzzy Indoor Location System for the Elderly”, la cual recoge el avance del conocimiento en la propuesta y evaluación de

un sistema inteligente para monitorizar la localización de personas mayores en interiores a través de dispositivos móviles para culminar el objetivo específico 3 de investigación definido en el Capítulo 1.

Para ello en este capítulo se detallan, en primer lugar, los índices de calidad de la revista donde ha sido publicado. Posteriormente, se incluye la publicación científica y, finalmente, se resume la propuesta llevada a cabo con una discusión integrada de estos resultados.

4.2. Índices de calidad

La publicación científica titulada “UJAmI Location: A Fuzzy Indoor Location System for the Elderly” ha sido publicada en la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health*, cuyo índices de calidad son los siguientes:

- Base de datos de indexación: JCR
- Índice de impacto: 3.390
- Año: 2020
- Categoría: Public, Environmental and Occupational health
- Posición que ocupa la revista en el área: 41 de: 176
- Cuartil: 1
- ISSN: 1660-4601

Los datos de la publicación científica son los siguientes:

- Título: UJAmI Location: A Fuzzy Indoor Location System for the Elderly

- Autores: Antonio Pedro Albín Rodríguez, Yolanda María de la Fuente Robles, José Luis López Ruiz, Ángeles Verdejo Espinosa y Macarena Espinilla Estévez
- Revista: International Journal of Environmental Research and Public Health
- Año: 2021
- Volumen: 18
- Número: 16
- Artículo: 8326
- DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18168326>

4.3. Resumen y discusión

El artículo presentado en el Capítulo 4 ha partido de la hipótesis de que la propuesta de un sistema inteligente con dispositivos vestibles y balizas BLE distribuidas en espacios interiores, ofrece una herramienta simple y eficaz de monitorización de la localización en interior para personas mayores.

La metodología de localización difusa en interiores está basada en el uso de términos lingüísticos difusos y ventanas temporales difusas para gestionar las fluctuaciones de las balizas BLE y la señal recibida por el dispositivo vestible/móvil. Como se ha visto anteriormente, la lógica difusa ha proporcionado excelentes resultados en otros contextos con incertidumbre, como fue descrito en el capítulo anterior para el caso de hiperactividad.

La metodología que ha sido presentada, propone, por un lado, un marco teórico y, por otro lado, el procesamiento inteligente para obtener la localización en interiores a través de lógica difusa.

En el marco teórico ha sido definido el ambiente y las áreas que se monitorizan, el conjunto de balizas BLE que son ubicadas en cada área, el dispositivo vestible/móvil que lleva cada persona dentro del ambiente y, finalmente, los términos lingüísticos y las ventanas temporales donde se procesará inteligentemente la localización. Las balizas BLE emiten una señal de fuerza, la cual es leída por el dispositivo que lleva la persona. En concreto, el dispositivo lee el indicador de fuerza de la señal recibida (*Received Signal Strength Indicator*, RSSI) de cada una de las balizas BLE que hay en el ambiente.

El procesamiento inteligente es llevado a cabo a través de operadores de agregación difusos que agregan los flujos de datos de RSSI de cada una de las balizas utilizando ventanas temporales y discriminando por áreas donde se sitúan cada una de las balizas.

La metodología se ha evaluado a través de un conjunto de datos generado en el apartamento de inteligencia ambiental de la Universidad de Jaén, el cual se encuentra dividido en varias zonas: un salón, un comedor, un baño, un dormitorio y una cocina. Estas zonas pueden ser utilizadas por uno o varios habitantes al mismo tiempo. El dormitorio está integrado en el cuarto de baño (inodoro y lavabo), la cocina es grande y tiene mucho espacio de almacenamiento donde se incluyen además electrodomésticos básicos como lavadora, lavavajillas, horno y microondas. Finalmente, el apartamento incluye

una sala de estar con un sofá, un televisor y un espacio de trabajo que puede considerarse una oficina integrada.

Para validar la metodología propuesta, se ha utilizado el conjunto de datos de la Copa UCAMI (Espinilla y col., 2018; Jiménez y col., 2018) para obtener patrones de localización. El conjunto de datos fue generado por una persona durante un periodo de 10 días obteniendo datos de cuatro fuentes heterogéneas, entre ellas, la información de RSSI entre un dispositivo móvil y 15 balizas BLE colocadas en varios objetos del laboratorio inteligente. Para el procesamiento inteligente se ha definido la ventana temporal a través de una función difusa con valores de RSSI de -95 dBm y -85 dBm y una ventana temporal con valores entre 5 y 3 segundos.

Para realizar una comparación entre la metodología que utiliza la lógica difusa y la que no la utiliza, se han comparado las fluctuaciones entre áreas, obteniendo la metodología propuesta en esta tesis doctoral una precisión del 91,63 %, aproximadamente 10 puntos más que la metodología sin utilizar la lógica difusa.

Una vez que la metodología ha sido presentada y ha sido validada se ha presentado el sistema inteligente de localización en interiores basado en la metodología propuesta denominado “UJAMI Location”.

Dicho sistema ha consistido en una aplicación desarrollada para dispositivos vestibles/móviles con el sistema operativo Android que reconoce balizas BLE dentro de un espacio delimitado y envía la información al servidor, así como un sistema web que procesa la información y gestiona los datos de localización, tanto en tiempo real

como a lo largo del tiempo, es decir, un histórico, proporcionando una retroalimentación a las personas usuarias: familiares, cuidadores informales, terapeutas ocupacionales en una residencia de personas mayores, etc.

Por tanto, el sistema inteligente ha desarrollado una funcionalidad completa que ha permitido definir todos los elementos necesarios como los datos básicos de identificación (dirección, información de contacto, mapa de localización, etc.), así como las diferentes zonas o áreas en las que se divide el ambiente, la ubicación de las balizas y las personas mayores dentro del espacio con sus dispositivos asignados.

Como resultado de la evaluación, han surgido las siguientes conclusiones más relevantes para la obtención de la localización en interiores con dispositivos vestibles y balizas BLE en un sistema inteligente:

- Los datos RSSI generados por dispositivos con BLE a través de balizas pueden ser procesados inteligentemente con computación suave para obtener la localización en interiores.
- Tanto los términos difusos de proximidad con valores de RSSI de -95 dBm y -85 dBm, como los términos difusos temporales con los valores de 5 y 3 segundos, son adecuados para obtener la localización en interiores.
- El procesamiento difuso obtiene una precisión mayor del 90 % en el caso de estudio llevado a cabo, superando en 10 puntos al procesamiento no difuso.

- El sistema inteligente proporciona información útil sobre dónde han estado o están los habitantes en tiempo real, cuánto tiempo llevan allí y las zonas más frecuentadas del espacio.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

5.1. Introducción

En este capítulo se cierra la memoria de tesis con las conclusiones generales obtenidas a partir de las propuestas presentadas. De forma adicional se plantean varias líneas de investigación para trabajos futuros que podrían realizarse a partir de los resultados obtenidos. Por último se muestra un conjunto de investigaciones generadas a partir de la investigación realizada.

5.2. Conclusiones

Aunque la tecnología no puede detener el envejecimiento de la población ni erradicar las enfermedades crónicas, al menos puede hacer que la asistencia sanitaria sea más sencilla, accesible y eficaz. Un nuevo paradigma, conocido como Internet de las cosas, tiene una

amplia aplicabilidad en numerosos ámbitos, incluida la sanidad. Con el uso de este paradigma se obtienen beneficios que pueden mejorar la salud de las personas.

En concreto, esta tesis doctoral ha estado centrada en el uso de dispositivos vestibles con sensores que llevan las personas, los cuales pueden ser conectados a Internet para realizar una monitorización continua de un indicador relevante de salud. Dichos dispositivos con sensores pueden capturar datos de interés y enviarlos a través de redes de comunicación inalámbricas para que, finalmente, sean procesados de manera inteligente. El objetivo del procesamiento de información inteligente es ofrecer información relevante que sea integrada en un sistema inteligente para realizar un seguimiento continuo en cuestiones de salud, alineándose este hecho con el tercer Objetivo de Desarrollo Sostenible propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para ser alcanzados en 2030 (Organización de las Naciones Unidas, 2015): Salud y Bienestar.

Como primer resultado de la investigación, alineado con el objetivo específico 1 de investigación de esta tesis doctoral, se ha realizado una revisión técnica del paradigma de Internet de las cosas. Dentro de dicho paradigma, se ha puesto el foco de atención en el uso de dispositivos vestibles en el ámbito sanitario.

Además, en este primer resultado de investigación se ha evidenciado que el gran potencial de los dispositivos vestibles es que sean integrados en sistemas inteligentes para monitorizar indicadores relevantes de salud, siendo crucial el análisis de los datos.

Dentro de las herramientas de análisis de datos destaca la aplicación del enfoque basado en lógica difusa o computación suave, el cual permite modelar correctamente información imprecisa. En el caso de los datos generados por los sensores de los dispositivos vestibles se encuentra información de dicha naturaleza al presentar imprecisión por factores como la calibración, la falta de batería y a errores de transmisión en la red. Así, en los dos objetivos específicos restantes que completan la investigación de esta tesis doctoral, centrados en sistemas inteligentes, se han integrado técnicas de computación suave para obtener, por un lado, un estimador de comportamiento hiperactivo y, por otro lado, la localización de una persona en interiores. En ambos casos, los datos son generados por un dispositivo vestible.

Una vez alcanzado el primer objetivo de esta tesis doctoral, en el Capítulo 3 se ha abordado el segundo de los objetivos específicos marcados, el cual está centrado en la propuesta y evaluación de un sistema inteligente para la monitorización de comportamiento hiperactivo en adolescentes en edad escolar a través de pulseras de actividad. El comportamiento hiperactivo es presentado cuando una persona realiza más movimientos de los esperados para su edad y desarrollo, actuando de forma impulsiva y distrayéndose con facilidad.

Para ello, se ha propuesto un sistema inteligente que, mediante el uso de una pulsera de actividad, se capturan flujos de datos procedentes de unidades de medición inercial (aceleración y giro) y sensores ópticos de frecuencia cardíaca.

Los datos recabados por la pulsera de actividad han sido procesados a través de una metodología basada en computación suave para obtener una descripción lingüística (protoforma difusa) como estimador del comportamiento hiperactivo. En la computación suave se han integrado ventanas temporales difusas, diferentes operadores de agregación y términos lingüísticos relevantes para definir la protoforma difusa.

La metodología propuesta se ha desarrollado en un sistema inteligente que ha sido denominado “Smart HyBeDe”, que integra la pulsera de actividad. Los datos generados por dicha pulsera se han sincronizado con un dispositivo móvil que alberga el sistema inteligente para procesar la información e informar a los familiares y profesionales. De este modo, se ofrece una herramienta útil y fiable para fomentar la detección temprana.

Además, se han presentado tres conjuntos de datos generados por la pulsera de actividad en tres escenarios diferentes donde intervienen cuatro personas. Estos conjuntos de datos se han utilizado para evaluar el sistema inteligente en diferentes términos, arrojando como resultados que ubicar el dispositivo vestible en la mano no dominante de la persona aporta información más útil para obtener el estimador.

En lo que se refiere a la computación suave, en la evaluación realizada se destaca que la ventana temporal difusa adecuada para procesar los resultados es de 5 segundos para las variaciones de aceleración y giro. No se considera relevante el tamaño de la ventana temporal para los datos de la frecuencia cardíaca, ya que dicha señal es

más estable. Respecto al operador de agregación para los datos de aceleración y giro, la suma de las diferencias de los valores es el más adecuado debido a que muestra las variaciones adecuadamente. Para la frecuencia cardíaca, se ha considerado la media como operador de agregación óptimo.

Para concluir el segundo de los objetivos específicos de esta investigación, se ha definido el término *Relevante* para cada tipo de dato, considerando la siguiente protoforma difusa como más apropiada para estimar el comportamiento hiperactivo: “Alrededor de 5 segundos la aceleración y el giro es relevante, siendo la frecuencia cardíaca también relevante”.

El tercer y último objetivo específico ha sido culminado en el Capítulo 4 centrado en la propuesta y evaluación de un sistema inteligente para monitorizar la localización de personas mayores en interiores a través de dispositivos vestibles/móviles.

La localización de las personas dentro de su hogar o en una residencia de personas mayores es un indicador de salud clave ya que puede indicar comportamientos clave como son las rutinas de sueño, el número de deposiciones, hábitos alimenticios o comportamientos sedentarios, entre otros.

Para ello, se ha propuesto un sistema inteligente que, mediante el uso de un dispositivo vestible/móvil, se capturan flujos de datos de proximidad relativos a balizas BLE ubicadas en el ambiente.

Los datos recabados por los dispositivos vestibles/móviles han sido procesados a través de una metodología basada en computación

suave para obtener la proximidad a cada una de las balizas y estimar el área o zona donde se encuentra la persona. En la computación suave, al igual que en el primer sistema inteligente propuesto, se han integrado ventanas temporales difusas y operadores de agregación.

La metodología propuesta se ha desarrollado en un sistema inteligente que ha sido denominado “UJAmI Location”, que integra los dispositivos vestibles/móviles de las personas y un sistema web alojado en un servidor. Los datos generados por los dispositivos móviles se han sincronizado con el servidor que alberga el sistema inteligente para procesar la información e informar a los familiares o cuidadores de la ubicación de las personas mayores. De este modo, se ofrece una herramienta útil para localizar a la persona en tiempo real y realizar un seguimiento de los comportamientos de interés.

Además, para validar la propuesta de metodología de localización y del sistema inteligente se ha utilizado el conjunto de datos denominado UCAmI Cup, el cual fue generado en el apartamento de inteligencia ambiental de la Universidad de Jaén denominado UJAmI Smart Lab. Estos conjuntos de datos se han utilizado para evaluar la metodología que integra técnicas de computación suave, frente a otra metodología que no utiliza técnicas de computación suave.

De la experimentación realizada, se ha puesto de manifiesto que la metodología con computación suave arroja un 91.63 % de precisión. Frente a la metodología sin computación suave, la metodología propuesta en esta tesis doctoral obtiene una precisión mayor en 10 puntos, ya que la metodología sin técnicas difusas ofrece una precisión

de un 81.12 %.

Para concluir el tercer y último de los objetivos específicos de esta investigación, se ha presentado la funcionalidad completa del sistema “UJAmI Location”, el cual asienta las bases para ser una herramienta clave en el contexto del envejecimiento.

Finalmente, es digno de mención que en ambos sistemas inteligentes se parte de la premisa que las personas que portan el dispositivo vestible dan su consentimiento para que, exclusivamente, sean recabados los datos explícitamente mencionados en cada sistema inteligente. En concreto, en el primer sistema inteligente de comportamiento hiperactivo, los datos de aceleración, giro y frecuencia cardíaca y, en el segundo sistema de localización, los datos RSSI de las balizas ubicadas en el ambiente recibidos por el dispositivo vestible/móvil.

Además, los datos procesados en los sistemas inteligentes son filtrados de manera que solamente las personas de interés puedan visualizar los datos de las personas asociadas.

5.3. Trabajos futuros

Una vez que esta tesis doctoral ha demostrado y evaluado la gran utilidad de los dispositivos vestibles para proponer sistemas inteligentes en el contexto de detección de comportamiento hiperactivo y de localización en interiores, los trabajos futuros que derivan de esta tesis doctoral están centrados en dos ejes.

El primer eje, está centrado en la evaluación desde un punto de vista social de los dos sistemas inteligentes propuestos, ya que ambos sistemas han sido evaluados con conjuntos de datos reales, lo cual ha permitido probar la eficacia de los sistemas. El siguiente paso, por tanto, es evaluar el desempeño de los sistemas en el dominio de aplicación concreto.

En el primer sistema se evaluará, por un lado, el punto de vista de un profesional en comportamiento hiperactivo y cómo la herramienta le permite realizar un mejor seguimiento del paciente. Por otro lado, es necesario evaluar el punto de vista del adolescente y su satisfacción al llevar la pulsera de actividad para monitorizar el comportamiento hiperactivo.

En el segundo sistema se valorará, por un lado, el punto de vista del profesional o cuidador de la persona mayor y cómo la herramienta le permite realizar un mejor seguimiento de ella. Asimismo, es necesario evaluar a la persona mayor y su seguridad al llevar el dispositivo vestible/móvil.

El segundo eje, común a ambos sistemas, está centrado en estudiar las inquietudes relacionadas con la ética y la privacidad de los datos que son capturados y procesados en los sistemas inteligentes. En este sentido se debería de trabajar en los principios de finalidad y minimización del dato.

La inquietud de ética y privacidad de los datos no es nueva, es un común denominador tanto de nuevas tecnologías emergentes, como Big Data o Blockchain, las cuales se están adentrando en nuestro

día a día, como de tecnologías consolidadas desde hace años como el dispositivo móvil. Por tanto, es necesario trabajar en este eje, revisando la nueva regulación futura, la cual podrá arrojar luz a las inquietudes planteadas.

5.4. Publicaciones

Para finalizar este capítulo, se muestra la lista de publicaciones científicas realizadas por el doctorando durante su periodo doctoral en relación a la tesis doctoral presentada.

- **Revistas Internacionales Indexadas.**

- Albín-Rodríguez, Antonio-Pedro, Adrián-Jesús Ricoy-Cano, Yolanda-María de-la-Fuente-Robles, and Macarena Espinilla-Estévez. 2020. "Fuzzy Protoform for Hyperactive Behaviour Detection Based on Commercial Devices" **International Journal of Environmental Research and Public Health** 17, no. 18: 6752. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186752>. Q1.
- Albín-Rodríguez, Antonio-Pedro, Yolanda-María De-La-Fuente-Robles, José-Luis López-Ruiz, Ángeles Verdejo-Espinosa, and Macarena Espinilla-Estévez. 2021. "UJAmI Location: A Fuzzy Indoor Location System for the Elderly" **International Journal of Environmental Research and Public Health** 18, no. 16: 8326. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168326>. Q1.

Lista de Abreviaciones

BLE	B luetooth L ow E nergy
DSM	D iagnostic and S tatistical M anual of Mental Disorders
EPOC	E nfermedad P ulmonar O bstructiva C rónica
FFD	F ull F unction D evice
HyBeDe	H yperactive B ehaviour D etection
IMU	I ntertial M easurement U nit
IoMT	I nternet of M edical T hings
IoT	I nternet of T hings
IoWT	I nternet of W earable T hings
JCR	J ournal C itation R eports
LoRa	L ong R ange
NB-IoT	N arrow B and- I o T
ODS	O bjtivos de D esarrollo S ostenible
OHR	O ptical H eart R ate
OMS	O rganización M undial de la S alud
PAN	P ersonal A rea N etwork
RFD	R educed F unction D evice
RSSI	R eceived S ignal S trength I ndicator
SOA	S ervice- O riented A rchitecture
SPI	S istemas de P osicionamiento en I nteriores
TIC	T ecnologías de la I nformación y la C omunicación
WBAN	W ireless B ody A rea N etwork
WBSN	W ireless B ody S ensor N etwork

Bibliografía

- Aguilera, T., Aranda, F., Parralejo, F., Gutiérrez, J., Moreno, J. & Álvarez, F. (2021). Noise-resilient acoustic low energy beacon for proximity-based indoor positioning systems. *Sensors*, 21(5), 1-23.
- Ahmed, N., Rahman, H. & Hussain, M. (2016). A Comparison of 802.11ah and 802.15.4 for IoT. *ICT Express*, 2(3), 100-102.
- Ahsan, K., Hanifa, S. & Kingston, P. (2010). RFID Applications: An Introductory and Exploratory Study. *International Journal of Computer Science Issues*, 7.
- Akshat, A., Gaurav, G., Zahid, Z., Bhupendra, B., Aditi, A., Kumar, S., Maneesha, M. & Pandey, P. (2019). A Smart Healthcare Monitoring System Using Smartphone Interface. *Proceedings of the 4th International Conference on Devices, Circuits and Systems, ICDCS 2018*, 228-231.
- AL-Madani, B., Orujov, F., Maskeliunas, R., Damasevicius, R. & Venckauskas, A. (2019). Fuzzy Logic Type-2 Based Wireless Indoor Localization System for Navigation of Visually Impaired People in Buildings. *Sensors*, 19(9).
- Alonso, S., de la Torre Díez, I. & Zapiraín, B. (2019). Predictive, Personalized, Preventive and Participatory (4P) Medicine

- Applied to Telemedicine and eHealth in the Literature. *Journal of Medical Systems*, 43(5).
- Al-Turjman, F., Nawaz, M. & Ulusar, U. (2020). Intelligence in the Internet of Medical Things Era: A Systematic Review of Current and Future Trends. *Computer Communications*, 150, 644-660.
- Amado, P. (2019). *Ayuda al Diagnóstico del TDAH en la Infancia mediante Técnicas de Procesado de Señal y Aprendizaje*. Universidad de Valladolid.
- Asghari, P., Rahmani, A. & Javadi, H. (2019). Internet of Things Applications: A Systematic Review. *Computer Networks*, 148, 241-261.
- Bajaber, F. & Awan, I. (2010). Energy Efficient Clustering Protocol to Enhance Lifetime of Wireless Sensor Network. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1(4), 239-248.
- Bandodkar, A. & Wang, J. (2014). Non-Invasive Wearable Electrochemical Sensors: A Review. *Trends in Biotechnology*, 32(7), 363-371.
- Banerjee, S., Hemphill, T. & Longstreet, P. (2017). Wearable Devices and Healthcare: Data Sharing and Privacy. *Inf. Soc*, 34, 1-9.
- Bendre, M., Thool, R. & Thool, V. (2016). Big Data in Precision Agriculture: Weather Forecasting for Future Farming. *Proceedings on 2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies, NGCT 2015*, 744-750.
- Beyene, Y., Jantti, R., Tirkkonen, O., Ruttik, K., Iraj, S., Larmo, A., Tirronen, T. & Torsner, J. (2017). NB-IoT Technology

- Overview and Experience from Cloud-RAN Implementation. *IEEE Wireless Communications*, 24(3), 26-32.
- Bhattacharya, S., Sridevi, S. & Pitchiah, R. (2012). Indoor Air Quality Monitoring Using Wireless Sensor Network. *Proceedings of the International Conference on Sensing Technology, ICST*, 422-427.
- Blasio, G., Quesada, A., Garcia, C. & Rodriguez, J. (2020). Bluetooth Low Energy Technology Applied to Indoor Positioning Systems: An Overview. Springer.
- Bostic, J., Prince, J. & Buxton, D. (2015). *Child and Adolescent Psychiatric Disorders*, 741-754.
- Brena, R., Garcia, J., Galvan, C., Muñoz, D., Vargas, C. & Fangmeyer, J. (2017). Evolution of Indoor Positioning Technologies: A Survey. *Journal of Sensors*, 2017.
- Brewster, C., Roussaki, I., Kalatzis, N., Doolin, K. & Ellis, K. (2017). IoT in Agriculture: Designing a Europe-Wide Large-Scale Pilot. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 26-33.
- Burwinkel, J., Xu, B. & Crukley, J. (2020). Preliminary Examination of the Accuracy of a Fall Detection Device Embedded into Hearing Instruments. *Journal of the American Academy of Audiology*, 31(6), 393-403.
- Cabral, E., Gonzalez, V. & Guevara, J. (2008). Resure: Wireless Sensor Network for Health-Care Monitoring. *BIODEVICES 2008 - Proceedings of the 1st International Conference on Biomedical Electronics and Devices*, 1, 101-106.
- Caudal, F. (2011). New Marker Using Bioimpedance Technology in Screening for Attention Deficit/Hyperactivity Disorder

- (ADHD) in Children as an Adjunct to Conventional Diagnostic Methods. *Psychology Research and Behavior Management*, 4, 113-117.
- Ceipidor, U., Medaglia, C., Serbanati, A., Azzalin, G., Barboni, M., Rizzo, F. & Sironi, M. (2009). SeSaMoNet: An RFID-based Economically Viable Navigation System for the Visually Impaired. *International Journal of RF Technologies: Research and Applications*, 1, 214-224.
- Chacko, A. & Hayajneh, T. (2018). Security and Privacy Issues with IoT in Healthcare. *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, 4(14).
- Chapron, K., Bouchard, K. & Gaboury, S. (2021). Real-time gait speed evaluation at home in a multi residents context. *Multimedia Tools and Applications*, 80(9), 12931-12949.
- Chashchin, V., Siurin, S., Gudkov, A., Popova, O. & Voronin, A. (2014). Influence of Industrial Pollution of Ambient Air on Health of Workers Engaged into Open Air Activities in Cold Conditions. *Meditcina Truda i Promyshlennaia Ekologiia*, (9), 20-26.
- Chen, C., Driggs, K., Negi, I., Iglesias, R., Owens, P., Tao, N., Tsow, F. & Forzani, E. (2012). A New Sensor for the Assessment of Personal Exposure to Volatile Organic Compounds. *Atmospheric Environment*, 54, 679-687.
- Chen, X., Shi, Q., Yang, L. & Xu, J. (2018). ThriftyEdge: Resource-Efficient Edge Computing for Intelligent IoT Applications. *IEEE Network*, 32(1), 61-65.

- Cornacchia, M., Ozcan, K., Zheng, Y. & Velipasalar, S. (2017). A Survey on Activity Detection and Classification Using Wearable Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 17(2), 386-403.
- Della, V. (2001). What is e-Health (2): The Death of Telemedicine? *Journal of Medical Internet Research*, 3(2), 6-7.
- Delrobaei, M., Memar, S., Pieterman, M., Stratton, T., McIsaac, K. & Jog, M. (2018). Towards Remote Monitoring of Parkinson's Disease Tremor Using Wearable Motion Capture Systems. *Journal of the Neurological Sciences*, 384, 38-45.
- Deserno, T. (2020). Transforming Smart Vehicles and Smart Homes into Private Diagnostic Spaces. *ACM International Conference Proceeding Series*, 165-171.
- Diamond, D., Coyle, S., Scarmagnani, S. & Hayes, J. (2008). Wireless Sensor Networks and Chemo/Biosensing. *Chemical Reviews*, 108(2), 652-679.
- Díaz, U., García, C., Crespo, N., Sánchez, R., Climent, G. & Narbona, J. (2014). AULA Virtual Reality Test as an Attention Measure: Convergent Validity with Conners Continuous Performance Test. *Child Neuropsychology*, 20(3), 328-342.
- Dimitrov, D. (2016). Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare. *Healthcare Informatics Research*, 22(3), 156-163.
- Domaradzki, J., Koziel, S., Ignasiak, Z., Slawinska, T., Skrzek, A. & Kolodziej, M. (2017). The Risk for Fall and Functional Dependence in Polish Adults 60–87 Years Old. *Collegium Antropologicum*, 41, 81-7.

- Donzia, S., Kim, H.-K. & Shin, B. (2019). Study on Cloud Computing and Emergence of the Internet of the Thing in Industry. *NICS 2018 - Proceedings of 2018 5th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science*, 334-337.
- Dosic, S., Stojanovic, I., Jovanovic, M., Nikolic, T. & Djordjevic, G. (2020). Fingerprinting-Assisted UWB-based Localization Technique for Complex Indoor Environments. *Expert Systems with Applications*, 167.
- Escobar, I., Guanoluisa, P., Montaluisa, J., Pruna, E. & Duque, C. (2019). Virtual Tool with the Use of a Haptic Device for Concentration Therapy in Children with Attention Deficit [Herramienta Virtual Usando Dispositivo Háptico para Terapias de Concentración en Niños con Déficit Atencional]. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, (E17), 513-525.
- Espinilla, M., Medina, J. & Nugent, C. (2018). UCAmI Cup. Analyzing the UJA Human Activity Recognition Dataset of Activities of Daily Living. *Proceedings*, 2(19).
- Fan, Y., Yin, Y., Xu, L., Zeng, Y. & Wu, F. (2014). IoT-based Smart Rehabilitation System. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1568-1577.
- Faragher, R. & Harle, R. (2015). Location Fingerprinting With Bluetooth Low Energy Beacons. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 33(11), 2418-2428.
- Feldmann, S., Kyamakya, K., Zapater, A. & Lue, Z. (2003). An Indoor Bluetooth-Based Positioning System: Concept,

Implementation and Experimental Evaluation. *International Conference on Wireless Networks*, 109-113.

Fernandes, P. & Werebe, E. (2010). Electronic Medical Files for Patients: Some Steps towards the Future. *São Paulo Medical Journal*, 15(4), 159-161.

Fortino, G., Parisi, D., Pirrone, V. & Di Fatta, G. (2014). BodyCloud: A SaaS Approach for Community Body Sensor Networks. *Future Generation Computer Systems*, 35, 62-79.

Gaur, B., Shukla, V. & Verma, A. (2019). Strengthening People Analytics through Wearable IOT Device for Real-Time Data Collection. *2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management, ICACTM 2019*, 555-560.

Glowinski, S., Łosiński, K., Kowiański, P., Waśkow, M., Bryndal, A. & Grochulska, A. (2020). Inertial Sensors as a Tool for Diagnosing Discopathy Lumbosacral Pathologic Gait: A Preliminary Research. *Diagnostics*, 10(6).

Guillemin, F., Bombardier, C. & Beaton, D. (1993). Cross-Cultural Adaptation of Health-Related Quality of Life Measures: Literature Review and Proposed Guidelines. *Journal of Clinical Epidemiology*, 46(12), 1417-1432.

Haghi, M., Neubert, S., Geissler, A., Fleischer, H., Stoll, N., Stoll, R. & Thurow, K. (2020). A Flexible and Pervasive IoT-based Healthcare Platform for Physiological and Environmental Parameters Monitoring. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(6), 5628-5647.

- Hood, L. & Flores, M. (2012). A Personal View on Systems Medicine and the Emergence of Proactive P4 Medicine: Predictive, Preventive, Personalized and Participatory. *New Biotechnology*, 29(6), 613-624.
- Hornig, G. & Chen, K. (2021). The Smart Fall Detection Mechanism for Healthcare Under Free-Living Conditions. *Wireless Personal Communications*, 118(1), 715-753.
- Husni, E., Hertantyo, G., Wicaksono, D., Hasibuan, F., Rahayu, A. & Triawan, M. (2017). Applied Internet of Things (IoT): Car monitoring system using IBM BlueMix. *Proceeding - 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, ISITIA 2016: Recent Trends in Intelligent Computational Technologies for Sustainable Energy*, 417-422.
- Imeraj, L., Antrop, I., Roeyers, H., Deschepper, E., Bal, S. & Deboutte, D. (2011). Diurnal Variations in Arousal: A Naturalistic Heart Rate Study in Children with ADHD. *European Child and Adolescent Psychiatry*, 20(8), 381-382.
- Inomata, T., Sung, J., Nakamura, M., Fujisawa, K., Muto, K., Ebihara, N., Iwagami, M., Fujio, K., Okumura, Y., Okano, M. & Murakami, A. (2020). New Medical Big Data for P4 Medicine on Allergic Conjunctivitis. *Allergology International*, 69(4), 510-518.
- Irawan, H. & Juhana, T. (2018). Heart Rate Monitoring Using IoT Wearable for Ambulatory Patient. *Proceeding of 2017 11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications, TSSA 2017, 2018-January*, 1-4.

- Islam, S., Kwak, D., Kabir, M., Hossain, M. & Kwak, K. (2015). The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, 3, 678-708.
- Jiang, M., Gia, T., Anzanpour, A., Rahmani, A.-M., Westerlund, T., Salantera, S., Liljeberg, P. & Tenhunen, H. (2016). IoT-based Remote Facial Expression Monitoring System with sEMG Signal. *SAS 2016 - Sensors Applications Symposium, Proceedings*, 211-216.
- Jiang, X., Xing, Y., Zhang, T., Huang, W., Gao, C. & Chen, Y. (2019). Poster Abstract: A Wearable Diagnostic Assessment System for Attention Deficit Hyperactivity Disorder. *Proceedings - 4th IEEE/ACM Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies, CHASE 2019*, 13-14.
- Jiménez, A., Seco, F., Peltola, P. & Espinilla, M. (2018). Location of Persons Using Binary Sensors and BLE Beacons for Ambient Assitive Living. *2018 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, 206-212.
- John, F., Vahidnia, R. & Rahmati, A. (2020). Wearables and the Internet of Things (IoT), Applications, Opportunities, and Challenges: A Survey. *IEEE Access*, 8, 69200-69211.
- Jovanov, E. (2008). A survey of Power Efficient Technologies for Wireless Body Area Networks. *Proceedings of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS'08 - "Personalized Healthcare through Technology"*, 3628.

- Jovanov, E. (2019). Wearables Meet IoT: Synergistic Personal Area Networks (SPANs). *Sensors (Switzerland)*, 19(19).
- Kacprzyk, J. & Zadrozny, S. (2005). Linguistic Database Summaries and their Protoforms: Towards Natural Language Based Knowledge Discovery Tools. *Information Sciences*, 173(4), 281-304.
- Kacprzyk, J. & Zadrozny, S. (2010). Computing with Words Is an Implementable Paradigm: Fuzzy Queries, Linguistic Data Summaries, and Natural-Language Generation. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 18(3), 461-472.
- Kacprzyk, J. & Zadrozny, S. (2013). Comprehensiveness of Linguistic Data Summaries: A Crucial Role of Protoforms. *Studies in Computational Intelligence*, 445, 207-221.
- Kadhim, K., Alsahlany, A., Wadi, S. & Kadhum, H. (2020). An Overview of Patient's Health Status Monitoring System Based on Internet of Things (IoT). *Wireless Personal Communications*, 114(3), 2235-2262.
- Kam, H., Shin, Y., Cho, S., Kim, S., Kim, K. & Park, R. (2010). Development of a Decision Support Model for Screening Attention-Deficit Hyperactivity Disorder with Actigraphbased Measurements of Classroom Activity. *Applied Clinical Informatics*, 1(4), 377-393.
- Karimian, N., Tehranipoor, M., Woodard, D. & Forte, D. (2019). Unlock Your Heart: Next Generation Biometric in Resource-Constrained Healthcare Systems and IoT. *IEEE Access*, 7, 49135-49149.

- Kaur, G. & Kaur, N. (2017). Penetration Testing-Reconnaissance with Nmap Tool. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(3).
- Kok, M., Hol, J. D. & Schon, T. B. (2015). Indoor Positioning Using Ultrawideband and Inertial Measurements. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(4), 1293-1303.
- Kyriakou, K., Resch, B., Sagl, G., Petutschnig, A., Werner, C., Niederseer, D., Liedlgruber, M., Wilhelm, F., Osborne, T. & Pykett, J. (2019). Detecting Moments of Stress from Measurements of Wearable Physiological Sensors. *Sensors (Switzerland)*, 19(17).
- Lara, Ó. & Labrador, M. (2013). A Survey on Human Activity Recognition Using Wearable Sensors. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(3), 1192-1209.
- Latr  , B., Braem, B., Moerman, I., Blondia, C. & Demeester, P. (2011). A Survey on Wireless Body Area Networks. *Wireless Networks*, 17(1), 1-18.
- Lee, J., Kim, D., Ryoo, H.-Y. & Shin, B.-S. (2016). Sustainable Wearables: Wearable Technology for Enhancing the Quality of Human Life. *Sustainability (Switzerland)*, 8(5).
- Lee, M., Youm, C., Jeon, J., Cheon, S.-M. & Park, H. (2018). Validity of Shoe-type Inertial Measurement Units for Parkinson's Disease Patients During Treadmill Walking. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1).
- Lee, T., Lee, M., Youm, C., Noh, B. & Park, H. (2020). Association Between Gait Variability and Gaitability Decline in Elderly

- Women with Subthreshold Insomnia Stage. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 1-15.
- Li, L. (2011). Application of the Internet of Thing in Green Agricultural Products Supply Chain Management. *Proceedings - 4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2011*, 1, 1022-1025.
- Li, M. (2019). Soft Frequency Reuse-Based Resource Allocation for D2D Communications Using Both Licensed and Unlicensed Bands. *International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN, 2019-July*, 384-386.
- López, M., Espinilla, M., Cleland, I., Nugent, C. & Medina, J. (2020). Fuzzy Cloud-Fog Computing Approach Application for Human Activity Recognition in Smart Homes. *Journal of Intelligent Fuzzy Systems*, 38, 709-721.
- Lozano, J., Suárez, J., Arroyo, P., Ordiales, J. & Álvarez, F. (2012). Wireless Sensor Network for Indoor Air Quality Monitoring. *Chemical Engineering Transactions*, 30, 319-324.
- Lymberis, A. & Dittmar, A. (2007). Advanced Wearable Health Systems and Applications - Research and Development Efforts in the European Union. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 26(3), 29-33.
- Mair, F., May, C., O'Donnell, C., Finch, T., Sullivand, F. & Murray, E. (2012). Factors that Promote or Inhibit the Implementation of e-Health Systems: An Explanatory Systematic Review [Factores que Promueven o Dificultan la Implementación de los Sistemas de Telemedicina: Revisión Sistemática

Explicativa]. *Bulletin of the World Health Organization*, 90(5), 357-364.

Majumder, S., Mondal, T. & Deen, M. (2017). Wearable sensors for remote health monitoring. *Sensors (Switzerland)*, 17(1).

Malhotra, A., Som, S. & Khatri, S. (2019). IoT Based Predictive Model for Cloud Seeding. *Proceedings - 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence, AICAI 2019*, 769-773.

McMillan, D., Brown, B., Lampinen, A., McGregor, M., Hoggan, E. & Pizza, S. (2017). Situating Wearables: Smartwatch Use in Context. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2017-May*, 3582-3594.

Mohebbi, P., Stroulia, E. & Nikolaidis, I. (2017). Sensor-Data Fusion for Multi-Person Indoor Location Estimation. *Sensors*, 17(10).

Montoliu, R., Sansano, E., Gasco, A., Belmonte, O. & Caballer, A. (2020). Indoor Positioning for Monitoring Older Adults at Home: Wi-Fi and BLE Technologies in Real Scenarios. *Electronics*, 9(5).

Nanayakkara, N., Halgamuge, M. & Syed, A. (2019). Security and Privacy of Internet of Medical Things (IoMT) Based Healthcare Applications: A Review. *International Conference on Advances in Business Management and Information Technology*.

Nazir, S., Ali, Y., Ullah, N. & García, I. (2019). Internet of Things for Healthcare Using Effects of Mobile Computing: A Systematic Literature Review. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019.

- Neophytou, K. & Webber, R. (2005). Attention Deficit Hyperactivity Disorder: The Family and Social Context. *Australian Social Work*, 58(3), 313-325.
- Ngu, A., Gutiérrez, M., Metsis, V., Nepal, S. & Sheng, Q. (2017). IoT Middleware: A Survey on Issues and Enabling Technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 1-20.
- Ni, L., Liu, Y., Lau, Y. & Patil, A. (2003). Landmarc: Indoor Location Sensing Using Active RFID. *Wireless Networks. Special Issue on Pervasive Computing and Communications*, 10, 407-415.
- Nugraha, A., Wibowo, R., Suryanegara, M. & Hayati, N. (2018). An IoT-LoRa System for Tracking a Patient with a Mental Disorder: Correlation between Battery Capacity and Speed of Movement. *Proceedings of the 2018 7th International Conference on Computer and Communication Engineering, ICCCE 2018*, 198-201.
- Ometov, A., Kozyrev, D., Rykov, V., Andreev, S., Gaidamaka, Y. & Koucheryavy, Y. (2017). Reliability-Centric Analysis of Offloaded Computation in Cooperative Wearable Applications. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible> [Accedido el 10 de agosto de 2021].
- Pace, P., Aloï, G., Gravina, R., Caliciuri, G., Fortino, G. & Liotta, A. (2019). An Edge-Based Architecture to Support Efficient

- Applications for Healthcare Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(1), 481-489.
- Pan, Z. & Wei, C. (2021). Human Activity Monitoring Based on Indoor Map Positioning. *Microsystem Technologies*, 27(8), 2919-2923.
- Pantelopoulous, A. & Bourbakis, N. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 40(1), 1-12.
- Park, E., Cho, Y., Han, J. & Kwon, S. (2017). Comprehensive Approaches to User Acceptance of Internet of Things in a Smart Home Environment. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), 2342-2350.
- Perera, B., Courtenay, K., Solomou, S., Borakati, A. & Strydom, A. (2020). Diagnosis of Attention Deficit Hyperactivity Disorder in Intellectual Disability: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorder V versus clinical impression. *Journal of Intellectual Disability Research*, 64(3), 251-257.
- Piwek, L., Ellis, D., Andrews, S. & Joinson, A. (2016). The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers. *PLoS Medicine*, 13(2).
- Ponomarenko, A., Ometov, A. & Galinina, O. (2019). Ray-Based Modeling of Unlicensed-Band mmWave Propagation Inside a City Bus. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11660 LNCS, 269-281.

- PremSankar, G., Di-Francesco, M. & Taleb, T. (2018). Edge Computing for the Internet of Things: A Case Study. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 1275-1284.
- Prousni, G., Jafari, M. & Zarrabi, H. (2017). Internet of Things in Eye Diseases, Introducing a New Smart Eyeglasses Designed for Probable Dangerous Pressure Changes in Human Eyes. *2017 International Conference on Computer and Applications (ICCA)*, 364-368.
- Pulkkis, G., Karlsson, J., Westerlund, M. & Tana, J. (2017). Secure and Reliable Internet of Things Systems for Healthcare. *Proceedings - 2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud, FiCloud 2017, 2017-January*, 169-176.
- Rajanna, V., Lara, R., Behera, D., Madanagopal, K., Goldberg, D. & Hammond, T. (2014). Step Up Life: A Context Aware Health Assistant. *Proceedings of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on the Use of GIS in Public Health, HealthGIS 2014 - In Conjunction with the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems, ACM GIS 2014*, 21-30.
- Raza, U., Kulkarni, P. & Sooriyabandara, M. (2017). Low Power Wide Area Networks: An Overview. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(2), 855-873.
- Rodrigues, J., De-Rezende, D., Junqueira, H., Sabino, M., Prince, R., Al-Muhtadi, J. & De-Albuquerque, V. (2018). Enabling Technologies for the Internet of Health Things. *IEEE Access*, 6, 13129-13141.

- Roetenberg, D., Höller, C., Mattmüller, K., Degen, M. & Allum, J. (2019). Comparison of a Low-Cost Miniature Inertial Sensor Module and a Fiber-Optic Gyroscope for Clinical Balance and Gait Assessments. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019.
- Roumen, T., Perrault, S. & Zhao, S. (2015). NotiRing: A Comparative Study of Notification Channels for Wearable Interactive Rings. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2015-April*, 2497-2500.
- Sanchez, L., Muñoz, L., Galache, J., Sotres, P., Santana, J., Gutierrez, V., Ramdhany, R., Gluhak, A., Krco, S., Theodoridis, E. & Pfisterer, D. (2014). SmartSantander: IoT Experimentation over a Smart City Testbed. *Computer Networks*, 61, 217-238.
- Sans, A. (2008). *¿Por Qué Me Cuesta Tanto Aprender? Trastornos del Aprendizaje*. Grupo EDEBÉ.
- Sastra, N. & Wiharta, D. (2017). Environmental Monitoring as an IoT Application in Building Smart Campus of Universitas Udayana. *2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems: Advancing Smart and Green Technology to Build Smart Society, ICSGTEIS 2016 - Proceedings*, 85-88.
- Selvakanmani, S. & Sumathi, M. (2021). Fuzzy Assisted Fog and Cloud Computing with MIoT System for Performance Analysis of Health Surveillance System. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(3), 3423-3436.

- Selvaraj, S. & Sundaravaradhan, S. (2020). Challenges and Opportunities in IoT Healthcare Systems: A Systematic Review. *SN Applied Sciences*, 2(1).
- Seneviratne, S., Hu, Y., Nguyen, T., Lan, G., Khalifa, S., Thilakarathna, K., Hassan, M. & Seneviratne, A. (2017). A Survey of Wearable Devices and Challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(4), 2573-2620.
- Serrano, M., Barnaghi, P., Carrez, F., Cousin, P., Vermesan, O. & Friess, P. (2015). *Internet of Things IoT Semantic Interoperability: Research Challenges, Best Practices, Recommendations and Next Steps EUROPEAN RESEARCH CLUSTER on the INTERNET of THINGS*, 450-500.
- Sheltami, T., Bala, A. & Shakshuki, E. (2016). Wireless Sensor Networks for Leak Detection in Pipelines: A Survey. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 7(3), 347-356.
- Shobowale, Y. & Hamdi, K. (2009). A Unified Model for Interference Analysis in Unlicensed Frequency Bands. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 8(8), 4004-4013.
- Silva, B., Rodrigues, J., de la Torre Díez, I., López-Coronado, M. & Saleem, K. (2015). Mobile-Health: A Review of Current State in 2015. *Journal of Biomedical Informatics*, 56, 265-272.
- Sinha, R., Wei, Y. & Hwang, S.-H. (2017). A Survey on LPWA Technology: LoRa and NB-IoT. *ICT Express*, 3(1), 14-21.
- Sonuga, E., Koerting, J., Smith, E., Mccann, D. & Thompson, M. (2011). Early Detection and Intervention for

- Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 11(4), 557-563.
- Thombre, S., Ul-Islam, R., Andersson, K. & Hossain, M. (2016). Performance Analysis of an IP Based Protocol Stack for WSNs. *Proceedings - IEEE INFOCOM, 2016-September*, 360-365.
- TongKe, F. (2013). Smart Agriculture Based on Cloud Computing and IoT. *J. Convergence Inform. Technol*, 8(2), 210-216.
- Ul-Islam, R., Hossain, M. & Andersson, K. (2018). A Novel Anomaly Detection Algorithm for Sensor Data under Uncertainty. *Soft Computing*, 22(5), 1623-1639.
- Vijay, G., Bharadwaja, A. & Nikhil, N. (2018). Temperature and Heart Beat Monitoring System Using IoT. *Proceedings - International Conference on Trends in Electronics and Informatics, ICEI 2017, 2018-January*, 692-695.
- Vishwakarma, S., Upadhyaya, P., Kumari, B. & Mishra, A. (2019). Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT. *Proceedings - 2019 4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages, IoT-SIU 2019*.
- Wang, Y., Millet, B. & Smith, J. (2016). Designing Wearable Vibrotactile Notifications for Information Communication. *International Journal of Human Computer Studies*, 89, 24-34.
- Weinstein, R. (2005). RFID: a technical overview and its application to the enterprise. *IT Professional*, 7, 27-33.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C. & Bogaardt, M. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

- Wolraich, M., Hagan, J., J.F., Allan, C., Chan, E., Davison, D., Earls, M., Evans, S., Flinn, S., Froehlich, T., Frost, J., Holbrook, J., Lehmann, C., Lessin, H., Okechukwu, K., Pierce, K., Winner, J. & Zurhellen, W. (2019). Clinical Practice Guideline for the Diagnosis, Evaluation, and Treatment of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder in Children and Adolescents. *Pediatrics*, 144(4).
- The World Health Organization quality of life assessment (WHOQOL): Position paper from the World Health Organization. (1995). *Social Science and Medicine*, 41(10), 1403-1409.
- Wu, R., Liaqat, D., De-Lara, E., Son, T., Rudzicz, F., Alshaer, H., Abed-Esfahani, P. & Gershon, A. (2018). Feasibility of Using a Smartwatch to Intensively Monitor Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Prospective Cohort Study. *JMIR mHealth and uHealth*, 6(6).
- Xiaochun, L., Jianan, C., Guangcai, L., Feilong, C. & Longshen, W. A Design and Implementation of an Intelligent Care System for the Elderly Based on Internet of Things. En: 2019, 234-238.
- Xu, L., Zhang, J., Tsai, P., Wu, W. & Wang, D. (2017). Uncertain Random Spectra: A New Metric for Assessing the Survivability of Mobile Wireless Sensor Networks. *Soft Computing*, 21(10), 2619-2629.
- Xu, L., He, W. & Li, S. (2014). Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243.

- Yager, R. (1991). On Linguistic Summaries of Data. *Knowledge Discovery in Databases*, 347-363.
- Yan-E, D. (2011). Design of intelligent agriculture management information system based on IoT. *Proceedings - 4th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2011, 1*, 1045-1049.
- Yi, W., Lo, K., Mak, T., Leung, K., Leung, Y. & Meng, M. (2015). A Survey of Wireless Sensor Network Based Air Pollution Monitoring Systems. *Sensors*, 15(12), 31392-31427.
- Yin, Y., Zeng, Y., Chen, X. & Fan, Y. (2016). The Internet of Things in Healthcare: An Overview. *Journal of Industrial Information Integration*, 1, 3-13.
- Zadeh, L. (1975). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I. *Information Sciences*, 8(3), 199-249.
- Zadeh, L. (2002). A Prototype-Centered Approach to Adding Deduction Capability to Search Engines - The Concept of Protoform. *Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS, 2002-January*, 523-525.
- Zadeh, L. (2006). Generalized Theory of Uncertainty (GTU)-Principal Concepts and Ideas. *Computational Statistics and Data Analysis*, 51(1), 15-46.
- Zago, M., Sforza, C., Pacifici, I., Cimolin, V., Camerota, F., Celletti, C., Condoluci, C., De Pandis, M. & Galli, M. (2018). Gait Evaluation Using Inertial Measurement Units in Subjects

- with Parkinson's Disease. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 42, 44-48.
- Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L. & Zorzi, M. (2014). Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22-32.
- Zendarski, N., Haebich, K., Bhide, S., Quek, J., Nicholson, J., Jacobs, K., Efron, D. & Sciberras, E. (2020). Student-Teacher Relationship Quality in Children with and without ADHD: A Cross-Sectional Community Based Study. *Early Childhood Research Quarterly*, 51, 275-284.
- Zou, Y., Wang, D., Hong, S., Ruby, R., Zhang, D. & Wu, K. (2020). A Low-Cost Smart Glove System for Real-Time Fitness Coaching. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8), 7377-7391.
- Zulueta, A., Díaz, U., Crespo, N. & Torrano, F. (2019). Virtual Reality-Based Assessment and Rating Scales in ADHD Diagnosis. *Psicología Educativa*, 25(1), 13-22.