

Mapeo sistemático: un acercamiento a la interoperabilidad semántica de objetos inteligentes en el área del internet de las cosas médicas

Systematic mapping: An approach to the semantic interoperability of smart objects in the area of the Internet of Medical Things

Ana María Muñoz Velasco¹  Miguel Ángel Niño Zambrano² 

¹Mg. Computación. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia.

²PhD. Ingeniería Telemática. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca, Colombia.

Resumen

El Internet de las Cosas ha permeado todos los procesos del mundo moderno, uno de ellos es el cuidado de la salud personal. Cada día se incrementa el número de dispositivos vestibles que monitorean diferentes variables de salud de las personas. La posibilidad de incorporar los datos capturados de estos dispositivos al historial médico de las personas es un escenario deseado debido a la posibilidad de tener seguimiento en tiempo real de los pacientes. Sin embargo, esto plantea problemas que deben ser abordados, como la confiabilidad en las mediciones, la integración de estos a la hoja clínica y la interoperabilidad entre sistemas de salud y la seguridad en los datos. Por lo tanto, es importante tener la información actualizada de los avances en el Internet de las Cosas Médicas – (ICM) con el fin de poder orientar a los investigadores y desarrolladores hacia unas mejores prácticas de diseño y desarrollo de estos dispositivos. Los principales resultados encontrados se enfocan en investigaciones que permiten incluir la semántica entre los objetos inteligentes con el fin de facilitar la interoperabilidad, el monitoreo, el seguimiento y la toma de decisiones de forma oportuna en los pacientes.

Abstract

The Internet of Things has permeated all processes of the modern world, one of which is personal healthcare. Every day, the number of wearable devices monitoring different health variables in people is increasing. The possibility of incorporating the data captured by these devices into a person's medical history is a desired scenario due to the potential for real-time patient monitoring. However, this raises issues that need to be addressed, such as the reliability of measurements, the integration of this data into the clinical record, interoperability between healthcare systems, and data security. Therefore, it is important to have up-to-date information on advances in Medical Internet of Things to guide researchers and developers of Medical IoT devices towards best design and development practices. The main findings are directed towards research that allows the inclusion of semantics among intelligent objects to facilitate interoperability, monitoring, tracking, and timely decision-making for patients.

Keywords:

Internet of medical things, semantic interoperability, wearable.

Palabras clave:

Internet de las cosas médicas, interoperabilidad semántica, dispositivos vestibles.

Cómo citar:

Muñoz, A.M., Niño, M.A. Mapeo sistemático: un acercamiento a la interoperabilidad semántica de objetos inteligentes en el área del internet de las cosas médicas. *Ingeniería y Competitividad*, 2023, 25(3); e-21913150. doi: 10.25100/iyc.v25i3.13165

Recibido: 08-17-23

Aceptado 11-01-23

Correspondencia:

anam@unicauca.edu.co
manzamb@unicauca.edu.co

Este trabajo está licenciado bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual4.0.

Conflicto de intereses:

Ninguno declarado



¿Por qué se realizó?

El mapeo sistemático se realizó con el objetivo de recopilar, evaluar y dar un acercamiento a diferentes investigaciones relacionadas con los objetos inteligentes usados en el área de la salud, se realizó para obtener un acercamiento de comprensión global sobre la interoperabilidad semántica de objetos inteligentes, esta información sirve para garantizar que los dispositivos puedan comunicarse y compartir datos de manera más efectiva.

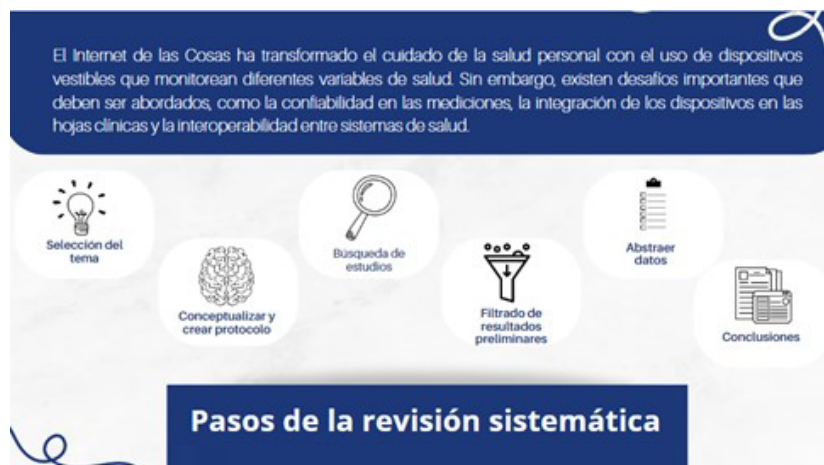
¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

Los resultados mas relevantes sobre el mapeo incluyen una visión general de las tendencias en el área de interoperabilidad semántica usando objetos en el área de las cosas médicas, presentando brechas, estándares más usados donde se usan objetos inteligentes en el área de la salud.

¿Qué aportan estos resultados?

El resultado de este mapeo sistemático proporciona una base para otras investigaciones relacionadas con objetos inteligentes usados en el área de la salud, permitiendo identificar los estándares utilizados y los proyectos ya ejecutados que ofrecen una orientación sobre las temáticas a estudiar.

Graphical Abstract



Introducción

En los últimos años el crecimiento de dispositivos conectados a una red de comunicaciones ha dado paso al surgimiento de una tecnología llamada Internet de las cosas o *Internet of Things* (IoT), que combina la conexión de los dispositivos a la red con sensores y actuadores que interactúan en un entorno determinado, generando y compartiendo información a través de plataformas que conllevan a la toma de decisiones y facilitan el monitoreo, seguimiento y almacenamiento de información en tiempo real (1).

La IoT ha avanzado en diferentes campos como la industria, las telecomunicaciones y el cuidado de la salud, entre otros. No obstante, uno de los desafíos que enfrenta esta tecnología es la interoperabilidad entre los diversos dispositivos y entre sistemas de información existentes, ya que es un elemento crucial para garantizar la entrega de servicios para todos los clientes, independiente de las especificaciones de la plataforma hardware que utilicen (2).

Aplicar la IoT a la medicina y al cuidado personal ha dado lugar a un campo denominado internet de las cosas médicas o *Internet of Medical Things* (IoMT). Este campo persigue diversos objetivos: la interconexión de la infraestructura hospitalaria, y equipos y software médicos con dispositivos portátiles de cuidado personal (dispositivos vestibles). Esto ha generado una alta demanda en el mercado impulsada por varios factores:

Aumento de la población vulnerable a problemas de salud y cuidado personal: Según las naciones Unidas (3) se estima que para el año 2050 aproximadamente el 21% de la población mundial tendrá alrededor de 60 años, lo que llevará a la necesidad de cuidados especiales relacionados con la salud.

Aumento de enfermedades crónicas que requieren monitoreo constante: Según la Organización Mundial de la Salud (4) se ha registrado un aumento del 57% en enfermedades crónicas para el año 2020. Estas enfermedades requieren una supervisión médica continua para prevenir consecuencias críticas.

Desarrollo de aplicaciones de los “dispositivos vestibles” en el ámbito del cuidado personal: Permiten monitorear variables biomédicas y compartirlas con el médico para un seguimiento detallado (5).

Desarrollo de sensores biomédicos adheridos al cuerpo: como tatuajes que cambian de color según los niveles de glucosa, entre otros (6).

Desarrollo de ropa inteligente que mide variables físicas del entorno y el cuerpo (7).

Otros dispositivos inteligentes que pueden capturar información de la salud del paciente, como cámaras inteligentes que detecten caídas, entre otros (8).

El artículo presenta una revisión de literatura que identifica avances y propuestas para la interoperabilidad de datos en la ICM, así como estándares y tecnologías promisorias. Además, se enfoca en las variables biomédicas medidas por los dispositivos vestibles para tener en cuenta al incorporarlos en la hoja de vida médica de los pacientes.

Metodología

Para la realización del mapeo sistemático se utilizó como base la propuesta metodológica realizada por Petersen (10). Se identifican 6 fases resumidas en: diseño de las preguntas de investigación, realizar la búsqueda, extracción de datos, análisis y clasificación, evaluación de validez y presentación de los resultados.

Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación planteadas permitieron orientar la búsqueda de información relevante para la investigación. La cadena de búsqueda representa las preguntas de investigación y las palabras clave utilizadas en los buscadores de las bases de datos bibliográficas. A continuación, se presentan las preguntas que orientaron el presente estudio.

1) ¿Qué investigaciones se han desarrollado en el tema de la interoperabilidad semántica en los dispositivos vestibles que miden variables biomédicas? 2) ¿Qué tecnologías y estándares se han implementado alrededor de la interoperabilidad semántica en el internet de las cosas médicas? 3) ¿Qué investigaciones se han desarrollado alrededor de las variables biomédicas no invasivas y emitidas por el cuerpo humano, que provienen de dispositivos inteligentes de la ICM?

Búsqueda de Investigaciones

En este punto se utiliza la estrategia de PICO (Población, intervención, comparación y resultados) propuesta por (11) para terminar de identificar claramente las palabras clave que representan las preguntas de investigación.

Población: para este trabajo la población son los estudios de mapeos sistemáticos previos y artículos de investigación en el tema de la ICM que buscan la interoperabilidad con variables biomédicas no invasivas.

Intervención: las investigaciones que llevaron a cabo un análisis de los enfoques, técnicas y soluciones propuestas por otros autores, sobre la interoperabilidad semántica en dispositivos vestibles y que miden variables biomédicas.

Comparación: se busca comparar las diferentes alternativas para reutilizar los datos de la ICM (técnicas, variables y algoritmos).

Resultados: los resultados de la búsqueda de artículos presentan investigaciones relacionadas con la interoperabilidad semántica en dispositivos vestibles, mostrando diferentes enfoques, desarrollos, alcances entre otros generando información sobre el estado actual de las investigaciones.

La cadena de búsqueda se construye siguiendo los pasos definidos por Kitchenham y Charters (11), y utiliza tanto el operador lógico AND como OR. Se llevó a cabo la búsqueda de producción científica en los motores Scopus, Science Direct y Google Scholar. Realizando dos tipos de búsqueda:

1. **Búsquedas piloto:** Se realizaron búsquedas piloto en las bases de datos ingresando los términos relacionados y se observaron los tipos de resultados proporcionados por el motor. Inicialmente, se emplearon términos como 'healthcare', 'IoMT', 'Internet of medical things', 'wearable', 'edge devices', 'medical internet of things', 'medical interoperability' y se probaron diversas cadenas de búsqueda combinándolas con conectores lógicos AND, OR y NOT. Estas búsquedas permitieron definir las palabras clave definitivas.

Relación de términos principales y secundarios

Semantic interoperability : Medical interoperability
Wearable: WBSN, wearable for health monitoring, edge devices
Internet of medical things: IoMT
Biomedical variables: Biomedical signals

2. **Búsqueda definitiva:** La búsqueda definitiva se llevó a cabo al ingresar la siguiente cadena de búsqueda en los diferentes motores de búsqueda para realizar el análisis: (TITLE-ABS-KEY ("internet of things") OR ("wearable") OR ("semantic interoperability") AND ("healthcare") AND ("IoMT"))

Criterios de inclusión y exclusión

En la siguiente fase se contribuyó al refinamiento de la búsqueda teniendo en cuenta criterios de inclusión y exclusión. Estos criterios permiten filtrar en primera instancia los artículos más relevantes y relacionados a los objetivos de la revisión bibliográfica.

Los criterios de inclusión fueron: 1) periodo (entre 2019 y 2023). 2) Idioma (todos los idiomas). 3) tipos de documentos (Artículos de investigación, libros, capítulos de libro, memorias de conferencias). 4) Área de conocimiento (Interoperabilidad semántica, Internet de las Cosas, Web de las Cosas, Internet de las Cosa Médicas) 5) (Falta de utilización de tecnologías relacionadas con la Web de las Cosas).

Selección de estudios y evaluación de calidad

En la selección de estudios se realizó un preanálisis que permitió un primer acercamiento a los documentos. Se procedió a leer los títulos y resúmenes de cada artículo con el fin de asignarles un valor de pertinencia en el contexto de la investigación. Esto permitió refinar la selección de documentos relevantes. Durante el preanálisis se llevó a cabo la exclusión de:

- Documentos duplicados.
- Trabajos en los motores de búsqueda no terminados o en proceso de revisión.
- Documentos que estaban orientados en otra área del conocimiento.
- Documentos que utilizaron tecnologías diferentes a las estudiadas.

Del mismo modo, se aplicó un filtro a los estudios que no resultaron relevantes en relación con las preguntas definidas. En este caso, se consideraron como criterios de inclusión los artículos que cumplan con los establecido.

Método de síntesis

Con los artículos o unidades de análisis que pasaron los criterios de selección y de calidad se estructuró la información de los estudios seleccionados adaptando las fichas bibliográficas propuestas por Hoyos Botero (12) y Serrano (13), lo que incluye la identificación (título, año de publicación, autores), resumen, enfoque de solución, enfoque metodológico, conclusiones y brechas.

Ejecución de la Búsqueda

Después de llevar a cabo la búsqueda en los motores definidos se identificaron los siguientes artículos: Science Direct: 274, Scopus: 582 y Google scholar 57, para un total de 913 artículos, de los cuales se excluyeron: 384 documentos que estaban duplicados, 30 que no tenían el resumen disponible, y finalmente, 106 que no eran pertinentes. Para un total de 396 artículos excluidos.

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se descargaron y verificaron 73 investigaciones, de las cuales clasificaron 28 como estudios primarios debido a su relevancia y relación con la temática de estudio.

La cadena de búsqueda arrojó un resultado que, al aplicar criterios de inclusión y exclusión, permitió la generación de un nuevo listado de documentos. Posteriormente, se seleccionaron los documentos y organizaron en una tabla que incluyó sus respectivos datos de referencia, como motor de búsqueda, título, autores, DOI, resumen, año de publicación, país, idioma y valoración de pertinencia.

Resultados y discusión

El análisis de los documentos se llevó a cabo en dos fases. En la primera fase, se examinó la tendencia en la cantidad de artículos publicados sobre el tema de la ICM para comprender la orientación de las investigaciones en términos de años, países, tipo de publicación y enfoque de análisis. En la segunda fase, se llevó a cabo el análisis de la pertinencia de los artículos según su relevancia, siguiendo las preguntas planteadas inicialmente.

Fase 1: Frecuencia de publicación

La primera fase se centró en la investigación sobre el aumento de la producción científica que tuvo lugar entre los años 2019 y 2023. A continuación, se presenta la tendencia en los dos motores de búsqueda utilizados (ver figura 1).

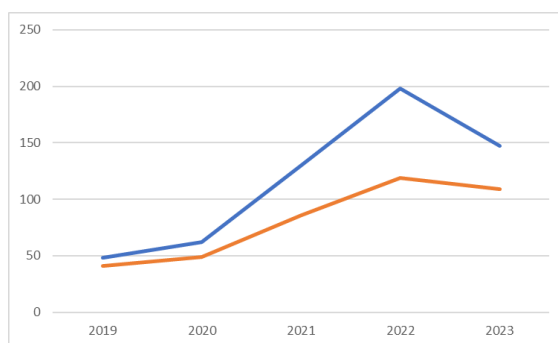


Figura 1 Tendencia en Investigaciones sobre el tema de ICM

La producción científica sobre la interoperabilidad semántica e ICM se orienta más hacia países como India y china, que contribuyen con el 21.88% de la producción total de artículos, lo que representa una producción significativamente mayor en comparación con otros países. (figura 2.)

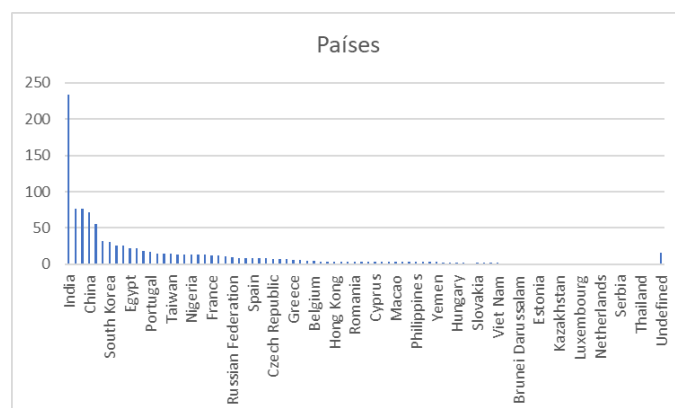


Figura 2. Países producción científica de interoperabilidad semántica y la ICM

El inglés es el idioma predominante en la producción, representando el 86.34% de los documentos investigados. Un 1.64% de los trabajos se publicaron en español y un 5% en francés, lo que muestra una tendencia de publicación.

El 49% de los documentos son artículos completos, mientras que el 30% son artículos de conferencia. Además, el 12% corresponde a capítulos de libros, y podemos observar que existen otros tipos de documentos que representan el 8% del total. Adicionalmente, tras realizar la búsqueda se encontró que el 41% de los documentos generados corresponden a publicaciones en revistas de acceso abierto.

Fase 2: Evaluación de artículos encontrados (Aportes a las Preguntas de Investigación)

Luego de la extracción y análisis de los artículos seleccionados, se procede a responder las preguntas de investigación.

R1: ¿Qué investigaciones se han desarrollado en el tema de la interoperabilidad semántica en los dispositivos vestibles que miden variables biomédicas?

En los 7 artículos encontrados se aplicaron diferentes técnicas semánticas para la interoperabilidad, como el uso de metadatos, ontologías y estándares formales. En cuanto a las ontologías, su función principal es proporcionar una estructura formal para representar el conocimiento en los dominios específicos de estudio, permitiendo definir conceptos, relaciones y propiedades. Además, los estándares como RDF y OWL pueden proporcionar un entendimiento común para describir y compartir datos semánticos en el área de la salud. Sin embargo, como se mencionó con anterioridad, aún existen vacíos en estas soluciones que deben ser abordados para mejorar temas como la precisión y eficiencia de la respuesta de los algoritmos de ontologías y establecer estándares que garanticen una mayor interoperabilidad entre sistemas heterogéneos en el ámbito de la salud. (tabla 1). sig. pág.

Tabla 1. Trabajos relevantes a la interoperabilidad semántica en dispositivos vestibles

Título	Solución propuesta	TSA*	VBM**	
SAREF4health: IoT Standard-Based Ontology-Driven Healthcare Systems	Internet of Things, Ubiquitous Computing, and Cloud Computing	O, M	TC, LC, P	(14)
Ontology-Driven IoT System for Monitoring Hypertension	Ontologías, Sensing móvil multitudinaria, APIs	O, M, E	P	(15)
SemBox: Semantic Interoperability in a Box for Wearable e-Health Devices	Sistema difuso y procesamiento de datos, solución plug and play que facilita el uso.	E	P, TC, LC	(16)
Internet of medical things (IoMT)-integrated biosensors for point-of-care testing of infectious diseases	Sistema de operación inalámbrica y conectividad con dispositivos POCT	M, E	S	(17)
A joint resource-aware and medical data security framework for wearable healthcare systems	Marco de seguridad basado en biometría para el monitoreo del estado de salud usando apoyos portátiles.	E	LC, TC, LC	(18)
Semantic Web Technologies for Sharing Clinical Information in Health Care Systems	Uso de ontologías que generan el cambio de nivel del tipo de sintáctico a semántico	O, E	LC, TC, LC	(19)
Schema Ontology Model to Support Semantic Interoperability in Healthcare Applications: Use Case of Depressive Disorder	Descripción de modelos ontológicos que respaldan la interoperabilidad semántica en aplicaciones médicas relacionadas con trastornos depresivos	O, M	TC	(20)

*TSA: Técnica Semántica Aplicada (O: Ontología, M: metadatos, E: estándares).

**VBM: Variables Biomédicas (LC: Latidos del Corazón, TC: Temperatura Corporal, P: Presión, S: Sangre)

***AC: Algoritmos computacionales (ML: machine learnig, LD: lógica Difusa, etc)

RQ2: ¿Qué tecnologías y estándares se han implementado alrededor de la interoperabilidad semántica en el internet de las cosas médicas?

De acuerdo con las investigaciones realizadas, a continuación, se presentan en la tabla 2. las investigaciones más relevantes que ofrecen una visión panorámica sobre los estándares utilizados en el contexto de las tecnologías en el internet de las cosas en el ámbito de la salud.

En el campo de la salud se utilizan diferentes estándares para facilitar la interoperabilidad y el intercambio de datos entre dispositivos y sistemas. La elección de un estándar depende del contexto y los requisitos de cada investigación, algunas investigaciones encontradas optaron por utilizar estándares establecidos y formalizados como HL7 o



DICOM, otros autores exploraron estándares más actualizados basados en tecnologías web como FHIR que ofrecen mayor flexibilidad y capacidad de integración.

Tabla 2. Trabajos relacionados con estándares de Interoperabilidad Semántica en IoTM

Título	Aporte	Estándar*		
Semantic Metadata Annotation Services in the Biomedical Domain—A Literature Review	Importancia de metadatos que permiten una estructuración semántica de los datos obtenidos.	HL7,	M, E	(21)
Literature Review: Clinical Data Interoperability Models	Revisión de estándares como HL7, FHIR y otros formatos DICOM, CDA.	HL7, FHIR, DICOM, CDA,	M	(22)
Emerging Science Journal Internet of Medical Things (IoMT): Acquiring and Transforming Data into HL7 FHIR through 5G Network Slicing	Requisitos para realizar cálculos en escenarios médicos, y conversión de datos al formato compatible con HL7 FHIR para generar un análisis posterior.	HL7, FHIR	M, E	(23)
Interoperability: A Challenge for IoMT	Desafíos sobre los certificados y estándares gubernamentales	HL7	E	(24)
In support of interoperability: A laboratory perspective	Ley HITECH Act 2009 promueve la adopción y uso significativo de registros médicos electrónicos y tecnologías de la información en la salud.	HL7	E,M	(25)
The 21st Century Cures Act and Multiuser Electronic Health Record Access: Potential Pitfalls of Information Release	La oficina de coordinación nacional de tecnología de la información de la salud (ONC) y la ley Cures Act busca proporcionar acceso gratuito y sin restricción a la información de salud electrónica.	HL7, FHIR	M,E	(26)
Interoperable E-Health System Using Structural and Semantic Interoperability Approaches in CAREPATH	La propuesta se enfoca en el desarrollo de un protocolo de atención para personas de la tercera edad con deterioro de salud o demencia leve. Esta propuesta se basa en la implementación de soluciones de tecnologías de la información y comunicaciones, y proporciona un protocolo de intercambio de datos basado en estándares.	HL7	E	(27)

*Estándar: HL7, FHIR y otros formatos DICOM, CDA y JASON

**Tecnología: (O: Ontología, M: metadatos, E: estándares

¿Qué investigaciones se han desarrollado alrededor de las variables biomédicas no invasivas y emitidas por el cuerpo humano, que provienen de dispositivos inteligentes de la ICM?

Las investigaciones que se centran en el estudio de variables biomédicas no invasivas provenientes de los dispositivos inteligentes de la ICM se pueden observar en la tabla 3, donde se detallan las herramientas utilizadas.

En los últimos años ha habido un creciente número de investigaciones relacionadas con la captura de datos de variables biomédicas de forma no invasiva, centrándose en el uso de dispositivos inteligentes conectados a una red de Internet que permita el monitoreo de estas variables.

A continuación, se presentan estudios realizados en torno a la investigación de monitoreo de signos vitales, detección temprana de enfermedades, seguimiento de pacientes, integración con sistemas de historial clínico y algunos que evidencian los avances y desafíos en cuanto a la privacidad y seguridad de los datos capturados.

Tabla 3. Estudios que identifican Variables Biomédicas de la IoTM

Título	Herramientas usadas		
Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward	Sensores portátiles seguimiento de errores y examinan los diagnostico que generan estos dispositivos.	TC, P,	(28)
A Wearable ECG Monitor for Deep Learning Based Real-Time Cardiovascular Disease Detection	Metodología de captura de datos usando dispositivos vestibles y sensor IREALCARE para analizar os signos ECG	P, LC	(29)
PISIoT: A Machine Learning and IoT-Based Smart Health Platform for Overweight and Obesity Control	Tecnologías IoT y aprendizaje automático para el seguimiento de pacientes con sobre peso o tendencias, usando el API de Weka y l algoritmo de aprendizaje j48	TC, M	(30)
Wearable Accelerometer and sEMG-Based Upper Limb BSN for Tele-Rehabilitation	Estudio de enfermedad de Parkinson mediante uso de acelerómetros y electromiografía de superficie usando técnicas de aprendizaje automático para realizar el seguimiento del comportamiento de la enfermedad.	M, LC	(31)
An ontology-based healthcare monitoring system on the internet of things	Creación de una ontología validada mediante consultas semánticas que muestran la viabilidad y eficiencia de la ontología.	TC,LC ,M	(32)

lastic Stack and GRAPHYP Knowledge Graph of Web Usage: A Win–Win Workflow for Semantic Interoperability in Decision Making	Uso de capacidades de ELK y GRAPHYP para la toma de decisiones, haciendo una combinación de con otras herramientas para que los usuarios puedan personalizar sus consultas cumpliendo con requisitos de seguridad.	(33)
--	--	------

Conclusiones

El mapeo sistemático permitió establecer la importancia de incorporar al sistema de salud estos dispositivos de la ICM. La mayoría de los estudios buscan la interoperabilidad semántica en el área de la salud, haciendo propuestas a través del desarrollo de ontologías que reúnen la información de los dispositivos vestibles y teniendo en cuenta su calidad, procesamiento y mecanismo para relacionarlo al paciente de tal forma que se vuelvan datos útiles para médicos y sistemas de salud, el objetivo es convertir estos datos en información útil tanto para los médicos o profesionales de la salud como para los sistemas de salud. Las ontologías facilitan la definición de conceptos, relaciones y propiedades específicas en el área de la salud, lo que permite una integración e intercambio más efectivo de datos entre los diferentes sistemas y dispositivos vestibles. Es necesario buscar más mecanismos que permitan darle confiabilidad a los datos provenientes de los dispositivos IoT vestibles.

Con respecto al uso de estándares para integrar la información de la IoTM se encontró un conjunto importante de artículos que tienen en cuenta los estándares adoptados por los gobiernos en la unificación y elaboración digital de la hoja de vida médica. Entre los principales estándares se encontró: HL7, FHIR y otros formatos DICOM, CDA y JASON.

Con respecto a las herramientas y variables biomédicas no invasivas se encontraron algunos trabajos que se proponen resolver varios retos como son: la captura sin errores de los datos biomédicos, obtener información médica con dispositivos no invasivos, preprocesar los datos con el fin de aportar a los usuarios información relevante. Para esto, se profundiza en el desarrollo de algoritmos basados en machine learning que permitan apoyar la prevención y el análisis de la información.

Por otra parte, el mapeo genera un panorama general del estado actual de las investigaciones en los últimos años en el avance de la ICM ofreciendo al lector una orientación sobre las investigaciones generadas en años, países e idiomas.

Igualmente se evidencia una falta de investigación y desarrollo de productos en países latinos, encontrando la mayoría de los estudios en países del continente europeo, donde se encuentran mayores desarrollos de tecnología e implementación de estándares que facilitan el manejo de herramientas asociadas al internet de las cosas médicas.

Referencias bibliográficas

1. Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems* [Internet]. 2013;29(7):1645–60. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>

2. Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015;17(4):2347–76.
3. Department of Economic and Social Affairs Population Division World Population Ageing 2013 United Nations • New York, 2013.
4. World Health Organization. The global burden of chronic. WHO. 2007;
5. Singh K, Kaushik K, Ahatsham, Shahare V. Role and impact of wearables in iot healthcare. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer; 2020. p. 735–42.
6. Bandodkar AJ, Jia W, Yardimci C, Wang X, Ramirez J, Wang J. Tattoo-based noninvasive glucose monitoring: A proof-of-concept study. *Anal Chem* [Internet]. 2015 Jan 6 [cited 2020 Nov 12];87(1):394–8. Available from: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>
7. Julian J, Kavitha R, Joy Rakesh Y. An iot based wearable device for healthcare monitoring. In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2021. p. 515–25.
8. Chen Y, Xiao F, Huang H, Sun L. RF-IDH: An intelligent fall detection system for hemodialysis patients via COTS RFID. *Future Generation Computer Systems*. 2020 Dec 1;113:13–24.
9. Rojas-Bolaños M. Sc. (c) LJ, Niño-Zambran Ph. D MÁ, Pabón-Guerrero MSc (c) A, Rojas-Bolaños M. Sc. (c) LJ, Niño-Zambran Ph. D MÁ, Pabón-Guerrero MSc (c) A. Prevención del síndrome de Burnout mediante programación neurolingüística soportada por la Web de las Cosas: Mapeo sistemático. *Revista Facultad de Ingeniería* [Internet]. 2020 [cited 2023 Aug 16];29(54):11758. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-11292020000100035&lng=en&nrm=iso&tlng=es
10. (5) (PDF) Systematic Mapping Studies in Software Engineering [Internet]. [cited 2023 Aug 12]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/228350426_Systematic_Mapping_Studies_in_Software_Engineering
11. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering [Internet]. [cited 2023 Aug 16]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/302924724_Guidelines_for_performing_Systematic_Literature_Reviews_in_Software_Engineering
12. Un Modelo para Investigación Documental. Consuelo Hoyos Botero | PDF | Science | Conocimiento [Internet]. [cited 2023 Aug 16]. Available from: <https://es.scribd.com/document/406768006/Un-Modelo-Para-Investigacion-Documental-Consuelo-Hoyos-Botero#>
13. Serrano Castaño CEnrique. Modelo integral para el profesional en ingeniería. 2005;
14. Moreira J, Ferreira Pires L, Sinderen M van, Daniele L. SAREF4health: IoT standard-based ontology-driven healthcare systems. *Frontiers in Artificial Intelligence and*



Applications. 2018;306:239–52.

15. de Souza PL, de Souza WL, Pires LF, Moreira JLR, da Silva Rodrigues RJ, Ciferri RR. Ontology-Driven IoT System for Monitoring Hypertension. *International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS - Proceedings*. 2023;1:757–67.
16. Pathak N, Mukherjee A, Misra S. SemBox: Semantic Interoperability in a Box for Wearable e-Health Devices. *IEEE J Biomed Health Inform* [Internet]. 2023 May 1 [cited 2023 Aug 11];27(5):2306–13. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35439151/>
17. Jain S, Nehra M, Kumar R, Dilbaghi N, Hu T, Kumar S, et al. Internet of medical things (IoMT)-integrated biosensors for point-of-care testing of infectious diseases. *Biosens Bioelectron* [Internet]. 2021 [cited 2023 Aug 12];179:113074. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.113074>
18. Pirbhulal S, Samuel OW, Wu W, Sangaiah AK, Li G. A joint resource-aware and medical data security framework for wearable healthcare systems. *Future Generation Computer Systems*. 2019 Jun 1;95:382–91.
19. Semantic Web Technologies for Sharing Clinical Information in Health Care Systems. 2019 [cited 2023 Aug 12]; Available from: <https://orcid.org/0000-0002-1262-7084>
20. Chong I, Ali S. Schema Ontology Model to Support Semantic Interoperability in Healthcare Applications: Use Case of Depressive Disorder. *International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN*. 2021 Aug 17;2021-August:409–12.
21. Sasse J, Darms J, Fluck J. Semantic Metadata Annotation Services in the Biomedical Domain—A Literature Review. *Applied Sciences* 2022, Vol 12, Page 796 [Internet]. 2022 Jan 13 [cited 2023 Aug 11];12(2):796. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/2/796/htm>
22. Abdelouahid RA, Debauche O, Mahmoudi S, Marzak A. Literature Review: Clinical Data Interoperability Models. *Information* 2023, Vol 14, Page 364 [Internet]. 2023 Jun 27 [cited 2023 Aug 12];14(7):364. Available from: <https://www.mdpi.com/2078-2489/14/7/364/htm>
23. Mavrogiorgou A, Kiourtis A, Touloupou M, Kapassa E, Kyriazis D. Emerging Science Journal Internet of Medical Things (IoMT): Acquiring and Transforming Data into HL7 FHIR through 5G Network Slicing. 2019 [cited 2023 Aug 12];3(2). Available from: www.IJournalSE.org
24. Yasmeen G, Javed N, Ahmed T. Interoperability: A Challenge for IoMT. *ECS Trans* [Internet]. 2022 Apr 24 [cited 2023 Aug 12];107(1):4459–67. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/10701.4459ecst>
25. Rychert J. In support of interoperability: A laboratory perspective. *Int J Lab Hematol*. 2023 Aug 1;
26. Arvisais-Anhalt S, Lau M, Lehmann CU, Holmgren AJ, Medford RJ, Ramirez CM, et al. The 21st Century Cures Act and Multiuser Electronic Health Record Access: Potential Pitfalls of Information Release. *J Med Internet Res* [Internet]. 2022 [cited 2023 Aug 12];24(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35175207/>

27. Pournik O, Ahmad B, Lim SN, Keung C, Peake A, Rafid S, et al. Interoperable E-Health System Using Structural and Semantic Interoperability Approaches in CAREPATH. 2023 Jun 30 [cited 2023 Aug 12];608–11. Available from: <https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/SHTI230571>
28. Bayoumy K, Gaber M, Elshafeey A, Mhaimed O, Dineen EH, Marvel FA, et al. Smart wearable devices in cardiovascular care: where we are and how to move forward. *Nat Rev Cardiol*. 2021 Aug 1;18(8):581–99.
29. Wang P, Lin Z, Yan X, Chen Z, Ding M, Song Y, et al. A Wearable ECG Monitor for Deep Learning Based Real-Time Cardiovascular Disease Detection. 2022 Jan 24 [cited 2023 Aug 12]; Available from: <http://arxiv.org/abs/2201.10083>
30. Machorro-Cano I, Alor-Hernández G, Andrés Paredes-Valverde M, Ramos-Deonati U, Luis Sánchez-Cervantes J, Rodríguez-Mazahua L. PISIoT: A Machine Learning and IoT-Based Smart Health Platform for Overweight and Obesity Control. [cited 2023 Aug 12]; Available from: www.mdpi.com/journal/applsci
31. Baraka A, Shaban H, Abou El-Nasr M, Attallah O. Wearable Accelerometer and sEMG-Based Upper Limb BSN for Tele-Rehabilitation. [cited 2023 Aug 12]; Available from: www.mdpi.com/journal/applsci
32. Titi S, Elhadj H Ben, Chaari L. An ontology-based healthcare monitoring system in the internet of things. 2019 15th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, IWCMC 2019. 2019 Jun 1;319–24.
33. Podda S, Azeroual O, Fabre R, Störl U, Qi R. Elastic Stack and GRAPHYP Knowledge Graph of Web Usage: A Win–Win Workflow for Semantic Interoperability in Decision Making. *Future Internet* 2023, Vol 15, Page 190 [Internet]. 2023 May 25 [cited 2023 Aug 12];15(6):190. Available from: <https://www.mdpi.com/1999-5903/15/6/190/htm>