



TELEMEDICINA Y EL INTERNET DE LAS COSAS MÉDICAS (IOMT): SUPERACIÓN DE LOS DESAFÍOS Y VISUALIZACIÓN DE LAS OPORTUNIDADES PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA Y LA ACCESIBILIDAD EN EL SECTOR SALUD

Recibido: 11 Octubre, 2023 • Revisado: 13 Noviembre, 2023 • Aceptado: 06 Diciembre, 2023

José Vega Baudrit, Rebeca Corrales,
Luis Castillo Henríquez y Melissa Camacho

RESUMEN

Este estudio explora el impacto del Internet de las Cosas Médicas (IoMT) en la atención médica en Costa Rica, un país con un sistema de atención médica universal y una población en crecimiento. Se discuten los posibles beneficios del IoMT, como el acceso mejorado a la atención médica en áreas remotas, la gestión eficiente de recursos médicos, la prevención de enfermedades crónicas, el envejecimiento activo, la creación de empleo y el desarrollo económico. Se presentan ejemplos de iniciativas en América Latina, específicamente en Costa Rica, que incluyen proyectos gubernamentales y soluciones de telemedicina privada. Sin embargo, se destacan desafíos clave, como la interoperabilidad, la seguridad de los datos y la aceptación por parte de los usuarios. A pesar de estos desafíos, se espera que el IoMT transforme la atención médica costarricense, haciéndola más accesible y eficiente, y mejora la calidad de vida de sus ciudadanos.

Palabras clave: Internet de las cosas, IoT, regulaciones, IoMT, nanotecnología, nanomedicina.

ABSTRACT

This study explores the impact of the Internet of Medical Things (IoMT) on healthcare in Costa Rica, a country with a universal healthcare system and an increasing population. The potential benefits of the IoMT are discussed, such as enhanced accessibility to healthcare in remote areas, efficient management of medical resources, chronic disease prevention, active aging, job creation, and economic development. Examples of initiatives in Latin America, specifically Costa Rica, encompass governmental projects and private telemedicine solutions. However, key challenges include interoperability, data security, and user acceptance. Despite these challenges, the IoMT is expected to transform Costa Rican healthcare, making it more accessible and efficient and improving the quality of life of its citizens.

Keywords: Internet of Things, IoT, regulations, IoMT, nanotechnology, nanomedicine.

José Vega Baudrit es Director del Laboratorio Nacional de Nanotecnología LANOTEC CENAT. Es profesor de LEAD University y LEAD University y de la Universidad Nacional, Escuela de Química; jvegab@gmail.com

Rebeca Corrales es Ingeniera en materiales, responsable del FABLAB del Laboratorio Nacional de Nanotecnología LANOTEC CENAT, San José, Costa Rica.

Luis Castillo Henríquez es Profesor investigador en Farmacia, invitado en el Laboratorio Nacional de Nanotecnología LANOTEC CENAT, San José, Costa Rica.

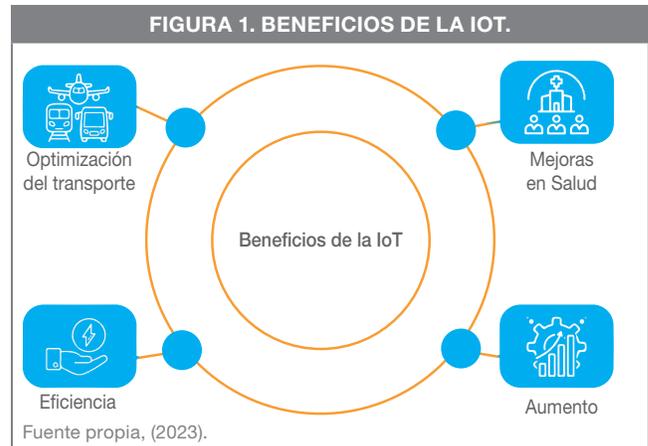
Melissa Camacho es química, Coordinadora del Área de Gestión de la Calidad del Laboratorio Nacional de Nanotecnología, LANOTEC CENAT, San José, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas (IoT) es un paradigma que se refiere a la interconexión de objetos cotidianos a través de Internet, lo que permite que estos dispositivos interactúen y compartan información entre sí para mejorar la calidad de vida de las personas y optimizar procesos en diversas industrias (Ashton, 2009; Papatsimouli *et al.*, 2022). La idea subyacente del IoT es sencilla: conectar todo tipo de dispositivos y objetos a Internet, lo que permite la comunicación entre ellos y con los usuarios, y les ofrece así un amplio espectro de posibilidades y aplicaciones. El IoT promete transformar nuestras vidas y trabajos, desde electrodomésticos, vehículos y dispositivos médicos hasta infraestructuras urbanas y sistemas industriales (Hartwein *et al.*, 2022).

Uno de los impulsores principales del crecimiento del IoT es la proliferación de sensores y dispositivos conectados a redes. Para 2025, habrá más de 75 mil millones de dispositivos conectados en todo el mundo (Statista, 2020). Además, la expansión de la red 5G y los avances en capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos también están catalizando el desarrollo del IoT. El IoT ofrece numerosos beneficios tanto para los usuarios individuales como para las empresas en diversas industrias. Estos beneficios incluyen (Figura 1):

- **Eficiencia Energética:** Con dispositivos conectados a la red que pueden monitorear y regular el uso de energía, es posible reducir el gasto energético y disminuir la huella de carbono (Aazam *et al.*, 2018).
- **Mejoras en la Atención Médica:** El IoT permite el monitoreo remoto de pacientes y la recopilación de datos en tiempo real, facilitando la prevención y el tratamiento de enfermedades (Islam *et al.*, 2015).
- **Optimización del Transporte:** Conectar vehículos y sistemas de transporte a través del IoT puede mejorar la movilidad urbana, reducir la congestión del tráfico y aumentar la seguridad en las carreteras (Dorsemaine *et al.*, 2016).
- **Aumento de la Productividad:** En el ámbito industrial, el IoT permite la automatización de procesos, la optimización de la cadena de suministro y la mejora de la toma de decisiones (Lueth, 2020).



Sin embargo, el IoT también plantea desafíos significativos en términos de privacidad y seguridad. Los enormes datos generados por los dispositivos conectados pueden ser explotados con fines maliciosos si no se implementan medidas adecuadas de protección y cifrado (Roman *et al.*, 2013; Cuteanu *et al.*, 2021).

El Internet de las Cosas es una tendencia tecnológica en constante evolución con el potencial de transformar significativamente cómo vivimos y trabajamos. A medida que el número de dispositivos conectados continúa aumentando, es imperativo abordar los desafíos relacionados con la privacidad y la seguridad para asegurar un futuro sostenible y seguro para el IoT.

INTERNET DE LAS COSAS Y NANOTECNOLOGÍA

La nanotecnología, centrada en el diseño y la manipulación de materiales a escala nanométrica (un nanómetro es una milmillonésima parte de un metro), ha experimentado un rápido avance en las últimas décadas. Esta tecnología puede potencialmente revolucionar diversos campos, incluido el Internet de las Cosas (IoT). La convergencia del IoT y la nanotecnología puede llevar a la creación de dispositivos más pequeños, eficientes y avanzados, lo que permite impulsar aún más las capacidades y aplicaciones del IoT (Chaurasia, 2022; Gebrehiyot *et al.*, 2012).

Aplicaciones de la Nanotecnología en el IoT

Algunas de las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) relacionadas con la nanotecnología pueden ser (Figura 2):



- **Sensores:** Los nanosensores son dispositivos extremadamente pequeños y sensibles capaces de detectar y medir un amplio espectro de variables físicas, químicas y biológicas. Estos sensores pueden integrarse en dispositivos del IoT para mejorar su precisión y eficiencia, lo que permite una detección más rápida y precisa de cambios ambientales (Luo *et al.*, 2015).
- **Baterías y almacenamiento de energía:** La nanotecnología puede utilizarse para desarrollar baterías más pequeñas y eficientes, lo que se traduce en dispositivos del IoT con mayor autonomía y menor consumo de energía (Indira *et al.*, 2019).
- **Comunicaciones:** Las nanoantenas y nanotransmisores actuales pueden mejorar la velocidad y eficiencia de las comunicaciones inalámbricas en los dispositivos del IoT, lo que posibilita una transferencia de datos más rápida y confiable (Niu y Ren, 2022; Ruchi *et al.*, 2022).
- **Materiales inteligentes:** La nanotecnología puede crear materiales con propiedades únicas, como la capacidad de autorreparación o la adaptabilidad a cambios ambientales. Estos materiales podrían incorporarse en dispositivos del IoT para mejorar su durabilidad y funcionalidad (Chen *et al.*, 2016). La integración de materiales inteligentes basados en nanotecnología en dispositivos y sistemas del IoMT podría mejorar su durabilidad, funcionalidad y eficacia en el ámbito de la atención médica. Del mismo modo, los materiales inteligentes pueden utilizarse en dispositivos del IoMT, como sensores de salud portátiles, implantes médicos y sistemas de administración de medicamentos. Además, se

puede explorar el potencial de estos materiales para mejorar la detección y el seguimiento de enfermedades y proporcionar tratamientos más precisos y personalizados (Chen *et al.*, 2016).

Desafíos y consideraciones

A pesar de las prometedoras aplicaciones de la nanotecnología en el IoT, también existen desafíos significativos y consideraciones importantes.

La producción de dispositivos y componentes a escala nanométrica para su integración en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT) plantea desafíos técnicos y económicos significativos que deben abordarse para lograr avances exitosos en la atención médica (Roco, 2011; Ngoepe y Ngwenya, 2022; Higashisaka, 2022). Desde una perspectiva técnica, la fabricación a escala nanométrica requiere una alta precisión y control en los procesos de producción. Lograr esto puede ser difícil debido a factores como las fluctuaciones en las condiciones ambientales, la estabilidad de los materiales utilizados y la complejidad inherente de trabajar con estructuras extremadamente pequeñas (Mitchell *et al.*, 2020). Además, garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los dispositivos y componentes a escala nanométrica es crucial para su adopción en aplicaciones médicas, lo que plantea otro desafío técnico en el desarrollo e implementación de soluciones de IoMT basadas en nanotecnología (Chen *et al.*, 2016).

En cuanto a los desafíos económicos, la fabricación a escala nanométrica puede ser costosa debido a la necesidad de equipos especializados y técnicas de producción avanzadas (Ngoepe y Ngwenya, 2022; Higashisaka, 2022). Estos altos costos pueden obstaculizar la adopción e implementación de dispositivos y componentes a escala nanométrica en el IoMT, especialmente en países en desarrollo y entornos con recursos limitados (Srivastava *et al.*, 2022). También, es importante tener en cuenta los costos asociados con la investigación y el desarrollo de nuevos materiales y tecnologías, así como los desafíos regulatorios y de propiedad intelectual que pueden surgir al incorporar la nanotecnología en el campo médico (Mitchell *et al.*, 2020).

Para superar estos desafíos técnicos y económicos, es crucial la colaboración entre investigadores, fabricantes, profesionales médicos y responsables de políticas (Ngoepe y Ngwenya, 2022; Higashisaka, 2022). Esto permitirá el desarrollo de estrategias efectivas

para optimizar los procesos de fabricación, reducir costos y garantizar la seguridad y eficacia de los dispositivos y componentes a escala nanométrica en el IoMT. Superar estos obstáculos es fundamental para aprovechar plenamente el potencial de la nanotecnología para transformar la atención médica y mejorar la calidad de vida de los pacientes (Srivastava *et al.*, 2022).

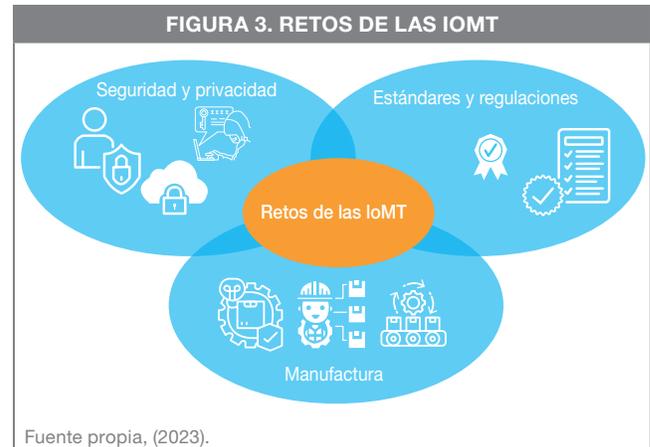
Asimismo, la falta de normativas y regulaciones específicas en la nanotecnología puede obstaculizar la adopción y el desarrollo de tecnologías y aplicaciones en el IoT y el IoMT (Koepsell, 2011; Mitchell *et al.*, 2020; Johnson *et al.*, 2017; Ngoepe y Ngwenya, 2022; Higashisaka, 2022). La falta de uniformidad en las normas de nanotecnología puede llevar a inconsistencias en la calidad y seguridad de los dispositivos y componentes a escala nanométrica, lo que potencialmente obstaculiza su aplicación en soluciones de IoT (Mitchell *et al.*, 2020). Además, la ausencia de regulaciones específicas puede dar lugar a preocupaciones sobre la privacidad y la protección de datos, así como a problemas legales y de responsabilidad ética (Srivastava *et al.* 2022).

Para abordar estos desafíos, es fundamental establecer un marco regulador sólido que garantice la seguridad, eficacia y compatibilidad de las tecnologías y aplicaciones basadas en nanotecnología en el IoT (Ngoepe y Ngwenya, 2022; Higashisaka, 2022). Esto implica la colaboración entre organismos reguladores, investigadores, fabricantes y otros actores clave en el desarrollo e implementación de normas y directrices específicas para la nanotecnología en el IoT (Mitchell *et al.*, 2020). En este contexto, la Organización Internacional de Normalización (ISO) desempeña un papel vital en la creación de normas y directrices que pueden ayudar a abordar estos desafíos (ISO, *s.f.*).

La ISO cuenta con un comité técnico dedicado, el ISO/TC 229, centrado específicamente en la normalización en el campo de la nanotecnología (ISO, *s.f.*). Este comité trabaja en la formulación de normas internacionales que aborden la terminología, la metrología, la caracterización y la seguridad de la nanotecnología y sus aplicaciones, incluida su integración en el IoT. Costa Rica y varios países de América Latina forman parte de este comité técnico, y algunos participan con voz y voto en la formulación de futuras normas que se establecerán (ISO, *s.f.*).

Establecer regulaciones y normas específicas para la nanotecnología en el IoT ayudará a garantizar la

calidad y seguridad de los dispositivos y componentes a escala nanométrica, lo que facilita su adopción y promueve el desarrollo de aplicaciones innovadoras en el IoMT y otros campos relacionados con el IoT (Srivastava *et al.*, 2022).



Seguridad y Privacidad

En el ámbito del IoT en general, la seguridad y la privacidad son preocupaciones clave al integrar la nanotecnología en dispositivos conectados (Chaurasia, 2022; Gebrehiyot *et al.*, 2012; Mitchell *et al.*, 2020). Según un estudio realizado por Symantec, se encontraron vulnerabilidades en más del 50% de los dispositivos IoT analizados en 2017 (Symantec, 2017). Estas vulnerabilidades pueden ser aún más críticas cuando se trata de dispositivos médicos basados en nanotecnología, ya que podrían poner en riesgo la salud y la vida de los pacientes (Ngoepe y Ngwenya, 2022; Higashisaka, 2022).

Un caso notable es el de un marcapasos fabricado por Abbott Laboratories, que tuvo que realizar actualizaciones de firmware para abordar vulnerabilidades de seguridad (FDA, 2017). Si bien no era un dispositivo basado en nanotecnología, destaca la importancia de garantizar la seguridad en los dispositivos médicos conectados. La implementación de la nanotecnología en dispositivos de IoT requiere una atención especial a la seguridad de la información y la protección de la privacidad del usuario. Un estudio realizado por Srivastava *et al.*, (2022), destacó la necesidad de desarrollar sistemas de sensores portátiles seguros y eficientes para monitorear los movimientos corporales de los recién nacidos. Esto implica adoptar medidas adecuadas de

seguridad y privacidad para proteger los datos sensibles de los pacientes.

La nanotecnología tiene el potencial de impulsar el desarrollo y las capacidades del Internet de las Cosas, permitiendo la creación de dispositivos más pequeños, avanzados y eficientes. Sin embargo, también es importante abordar los desafíos y consideraciones de aplicar la nanotecnología en el IoMT para garantizar un futuro sostenible y seguro.

APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA Y EL INTERNET DE LAS COSAS EN MEDICINA IOMT

La combinación de la nanotecnología y el Internet de las Cosas (IoT) puede transformar significativamente la medicina y la atención médica. A través de dispositivos más pequeños, avanzados y eficientes, el denominado "Internet de las Cosas Médicas" (IoMT) puede mejorar la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, así como optimizar la atención al paciente y la gestión hospitalaria (Joyia *et al.*, 2017).

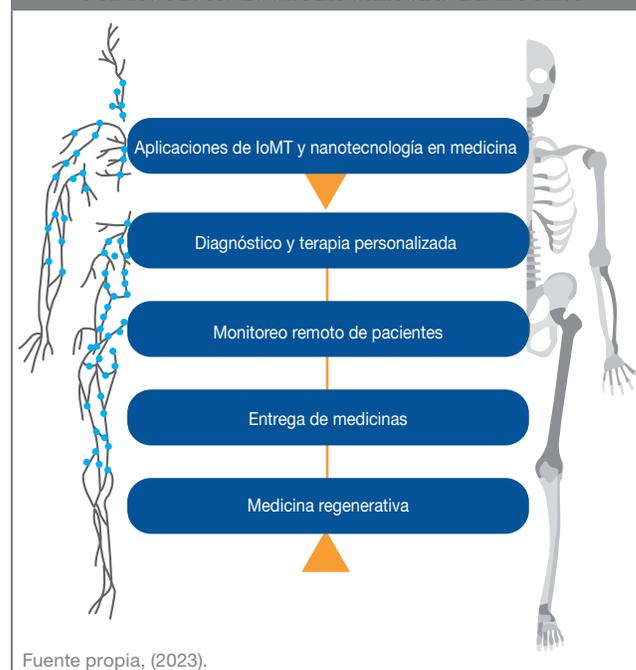
Aplicaciones de IoMT y Nanotecnología en Medicina Monitoreo remoto de pacientes

El monitoreo remoto de pacientes mediante nanosensores se ha convertido en un enfoque prometedor para mejorar la atención médica y la calidad de vida de los pacientes (Srivastava *et al.*, 2022; Pantelopoulos y Bourbakis, 2010). Los nanosensores pueden monitorear constantemente los signos vitales de los pacientes y otros indicadores de salud, transmitiendo esta información en tiempo real a médicos y profesionales de la salud a través del IoMT (Pantelopoulos y Bourbakis, 2010; Islam *et al.*, 2015). Un estudio realizado en 2021 mostró que los avances en tecnologías digitales han permitido que el monitoreo remoto y los sistemas de alerta digital ganen popularidad. A pesar de esto, hay evidencia limitada que respalde las afirmaciones de que las alertas digitales pueden mejorar los resultados clínicos (Iqbal *et al.*, 2021). Aunque este estudio no se centró específicamente en nanosensores, ilustra el impacto potencial en la atención médica a través del monitoreo remoto (Figura 4).

En otro caso, investigadores de la Universidad de Stanford desarrollaron un nanosensor basado en

grafeno que puede detectar la presencia de biomarcadores en la sangre, como la proteína troponina, que indica daño cardíaco (Lee *et al.*, 2016). Este dispositivo podría permitir un diagnóstico rápido y preciso de ataques cardíacos y otras afecciones médicas.

FIGURA 4. ALGUNAS APLICACIONES DE LAS IOMT Y NANOTECNOLOGÍA EN CIENCIAS DE LA VIDA



La atención médica personalizada también puede beneficiarse del uso de nanosensores. Por ejemplo, un estudio publicado en *Science Translational Medicine* demostró que los nanosensores podrían monitorear la glucosa en tiempo real y administrar automáticamente insulina a pacientes diabéticos, lo que permite ajustarse a las necesidades de cada paciente (Gough *et al.*, 2010).

A pesar del potencial prometedor de los nanosensores en el monitoreo remoto de pacientes, todavía existen desafíos relacionados con la seguridad, la privacidad y la estandarización que deben abordarse antes de que estas tecnologías puedan implementarse ampliamente (Selvaraj y Sundaravaradhan, 2020).

Diagnóstico y terapia personalizada

El monitoreo remoto de pacientes utilizando nanotecnología y IoMT ofrece un gran potencial para el diagnóstico y la terapia personalizada. La nanotecnología permite el desarrollo de dispositivos y sistemas de diagnóstico altamente precisos y sensibles que detectan

biomarcadores específicos en muestras biológicas (Indira *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2018). Combinados con IoMT, estos dispositivos pueden ayudar en el diagnóstico temprano y preciso de enfermedades y en la selección de tratamientos personalizados basados en el perfil genético y molecular del paciente (Indira *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2018).

Por ejemplo, los nanosensores basados en grafeno se han utilizado para detectar biomarcadores de cáncer en etapa temprana. Investigadores de la Universidad de Swansea desarrollaron un dispositivo que utiliza nanosensores de grafeno para detectar cambios en los niveles de ácido desoxirribonucleico (ADN) en la sangre, lo que podría indicar la presencia de células cancerosas (Swansea University, 2017). Esta tecnología podría permitir un diagnóstico temprano y preciso del cáncer, y facilita los tratamientos más efectivos y personalizados. En otro estudio, investigadores del MIT desarrollaron un sistema de administración de medicamentos basado en nanopartículas que puede controlarse a través de un teléfono inteligente y una aplicación (Mitchell *et al.*, 2020). Este sistema podría permitir a los médicos ajustar las dosis de medicamentos en tiempo real según las necesidades de cada paciente, y mejora la eficacia del tratamiento y se reducen los efectos secundarios.

Además, la nanotecnología ha facilitado el desarrollo de dispositivos de terapia génica personalizada, como el sistema CRISPR-Cas9. Este sistema permite la edición precisa del genoma y puede tratar enfermedades genéticas específicas basadas en el perfil genético del paciente (Doudna y Charpentier, 2014). A pesar de estos avances prometedores, persisten dificultades en la implementación de dispositivos de diagnóstico y terapia basados en nanotecnología e IoMT, incluidas preocupaciones sobre seguridad, privacidad y estandarización (Selvaraj y Sundaravaradhan, 2020).

Medicina regenerativa

La medicina regenerativa es un campo en rápido crecimiento que busca desarrollar terapias y tecnologías para reparar, reemplazar o regenerar tejidos y órganos dañados (Mason y Dunnill, 2008). La nanotecnología ha demostrado ser valiosa en la medicina regenerativa, ya que puede desarrollar materiales y sistemas que promueven la regeneración de tejidos y órganos dañados (Shin *et al.*, 2016). La integración de estos avances con IoMT permite monitorear y ajustar

con precisión los tratamientos regenerativos en tiempo real, lo que mejora los resultados y reduce los riesgos asociados (Mihai *et al.*, 2019).

Un ejemplo es el uso de nanofibras electrohiladas en combinación con células madre para la ingeniería de tejidos y la regeneración ósea (Xue *et al.*, 2019). Estas nanofibras pueden proporcionar soporte tridimensional para el crecimiento y la diferenciación celular, facilitando la formación de nuevo tejido. Al integrar dispositivos de comunicación inalámbrica y sensores, los médicos pueden monitorear el proceso de regeneración en tiempo real y ajustar las condiciones de crecimiento según sea necesario (Pantelopoulos y Bourbakis, 2010).

Otro ejemplo es el desarrollo de hidrogeles nanocompuestos que pueden liberar factores de crecimiento y otras moléculas bioactivas de manera controlada para estimular la regeneración del tejido cardíaco después de un infarto de miocardio (Paul *et al.*, 2014). Los sensores y dispositivos de IoMT podrían permitir el monitoreo preciso de la liberación de estas moléculas y ajustar la terapia según las necesidades específicas del paciente. La nanotecnología también se ha utilizado para desarrollar implantes cocleares para tratar la pérdida de audición neurosensorial (Dindelegan *et al.*, 2022). Estos implantes pueden monitorearse y controlarse a través de IoMT, lo que permite a los médicos ajustar los parámetros del dispositivo y mejorar la audición del paciente de manera personalizada.

Administración de medicamentos

La nanotecnología ha desarrollado nanoestructuras y nanovehículos para la administración de medicamentos controlada y específica, lo que mejora la eficacia y minimiza los efectos secundarios (Ventola, 2017). El IoMT puede utilizarse para monitorear la eficacia de estos tratamientos y ajustar las dosis en tiempo real (Peer *et al.*, 2007).

Un ejemplo son las nanopartículas lipídicas sólidas (SLNs) para la entrega de medicamentos antitumorales. En un estudio publicado en 2021, los investigadores desarrollaron SLNs cargadas con ácido oleanólico, un compuesto natural con propiedades anticancerígenas, para tratar el cáncer de mama triple negativo (Tenchov *et al.*, 2021). La integración de IoMT en este enfoque permitiría el monitoreo en tiempo real de la concentración del medicamento y el ajuste de la dosis según sea necesario, lo que mejora la eficacia del tratamiento y

reduce los efectos secundarios. En otro caso, los investigadores han utilizado nanogranos poliméricos biodegradables para la entrega controlada y prolongada de medicamentos antipsicóticos, como la risperidona (Xu *et al.*, 2017). Al combinar esta tecnología con IoMT, se podría lograr el monitoreo en tiempo real de la liberación de medicamentos y el ajuste de la dosis según las necesidades del paciente, se mejora la adherencia al tratamiento, y disminuye la probabilidad de efectos secundarios.

Además, se ha desarrollado un sistema de administración de insulina basado en hidrogeles inteligentes que libera insulina en respuesta a los niveles de glucosa en sangre (Gu *et al.*, 2013). La integración de este sistema con IoMT permitiría a médicos y pacientes monitorear y ajustar la liberación de insulina en tiempo real, se mejora el control glucémico y la calidad de vida de las personas con diabetes.

También, la terapia fototérmica utiliza nanopartículas de oro para convertir la luz en calor, lo que puede destruir selectivamente las células cancerosas (Song *et al.*, 2015). Al integrar esta terapia con IoMT, los cambios de temperatura y la concentración de nanopartículas podrían monitorearse en tiempo real, lo que permitiría un control preciso del tratamiento y una reducción del daño a los tejidos sanos circundantes. Además, se ha determinado el uso de nanopartículas magnéticas para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, recubiertas con polímeros que pueden atravesar la barrera

FUTUROS DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES

A pesar de las prometedoras aplicaciones de IoMT y nanotecnología en medicina, también existen desafíos y consideraciones significativos:

- Seguridad y privacidad de los datos: Proteger la información médica y personal de los pacientes es crucial en cualquier aplicación médica de IoMT y nanotecnología. Para garantizar la confidencialidad de los datos, se deben implementar medidas rigurosas de seguridad y cifrado (Roman *et al.*, 2013).
- Interoperabilidad y estandarización: Para facilitar la adopción y el uso de tecnologías médicas basadas en IoMT y nanotecnología, es necesario establecer estándares y protocolos

comunes que permitan la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas de diferentes fabricantes (Joyia *et al.*, 2017).

- Regulaciones y aprobaciones: El desarrollo e implementación de aplicaciones médicas basadas en IoMT y nanotecnología deben cumplir con las regulaciones y obtener las aprobaciones necesarias de los organismos reguladores de salud, lo que puede representar un proceso largo y costoso (Etheridge *et al.*, 2013).

La combinación de nanotecnología y el Internet de las Cosas Médicas tiene un gran potencial para mejorar la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, y optimizar la atención al paciente y la gestión hospitalaria. Sin embargo, abordar los desafíos y consideraciones asociados con estas tecnologías es crucial para garantizar un futuro sostenible y seguro en la medicina.

El monitoreo remoto de pacientes a través del Internet de las Cosas Médicas (IoMT) está ganando cada vez más atención en la atención médica moderna debido a su capacidad para mejorar la calidad, accesibilidad y eficiencia de los servicios de salud. A través de dispositivos conectados y sistemas inteligentes, el monitoreo remoto permite a los profesionales de la salud supervisar a los pacientes fuera del entorno hospitalario, lo que resulta en una atención más personalizada y oportuna (Bashshur *et al.*, 2020).

BENEFICIOS DEL MONITOREO REMOTO DE PACIENTES CON IOMT

El monitoreo remoto de pacientes utilizando dispositivos IoMT puede ayudar a detectar y controlar enfermedades crónicas como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y las enfermedades respiratorias. Estos dispositivos permiten a los médicos ajustar tratamientos y guiar a los pacientes antes de que ocurran complicaciones graves al proporcionar información en tiempo real sobre signos vitales y otros indicadores de salud (Marques *et al.*, 2019).

El monitoreo remoto de pacientes a través de IoMT facilita la atención en el hogar y reduce la necesidad de visitas frecuentes al hospital, lo que puede ser especialmente beneficioso para las personas mayores, los pacientes con movilidad reducida y aquellos que viven en áreas rurales o remotas (Chouvarda *et al.*, 2015).

La adopción de tecnologías IoMT en el monitoreo remoto de pacientes ha impulsado el crecimiento de la telemedicina, lo que permite consultas virtuales y seguimiento entre médicos y pacientes a través de videoconferencias y aplicaciones de mensajería. Esto puede mejorar la accesibilidad y conveniencia para los pacientes, al tiempo que reduce los costos y la carga de trabajo para los profesionales de la salud (Kruse *et al.*, 2017).

EJEMPLOS ESPECÍFICOS DE DIAGNÓSTICO Y TERAPIA PERSONALIZADA UTILIZANDO IOMT

- **Detección de cáncer:** Los dispositivos IoMT que utilizan nanosensores pueden detectar biomarcadores específicos del cáncer con alta sensibilidad y especificidad en muestras biológicas, como sangre o tejidos. Estos dispositivos pueden ayudar en el diagnóstico temprano y preciso del cáncer y en la selección de tratamientos personalizados basados en el perfil genético y molecular del tumor (Siravegna *et al.*, 2017).
- **Manejo de la diabetes:** El IoMT ha permitido el desarrollo de dispositivos, como monitores continuos de glucosa y bombas de insulina inteligentes, que pueden ajustar automáticamente la administración de insulina según las necesidades del paciente. Estos dispositivos pueden mejorar significativamente el control glucémico y reducir las complicaciones asociadas con la diabetes (Heinemann y DeVries, 2016).
- **Terapia génica y celular:** La terapia génica y celular está revolucionando el tratamiento de enfermedades genéticas y trastornos inmunológicos. El IoMT se puede utilizar para monitorear la eficacia de estas terapias y ajustar las dosis en tiempo real, mejorando la eficacia y minimizando los efectos secundarios (Touchot y Flume, 2015).
- **Salud mental y trastornos del sueño:** Los dispositivos IoMT, como los dispositivos vestibles y las aplicaciones móviles, pueden monitorear indicadores de salud mental y trastornos del sueño, como el estado de ánimo, la actividad física y los patrones de sueño. Esta información puede personalizar intervenciones y tratamientos, como la terapia cognitivo-conductual, la estimulación cerebral profunda y la fototerapia (Bauer *et al.*, 2018).

DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES EN EL DIAGNÓSTICO Y LA TERAPIA PERSONALIZADA CON IOMT

- **Validación clínica:** Para garantizar la seguridad y eficacia de los dispositivos y terapias basados en IoMT, es fundamental realizar estudios clínicos rigurosos y obtener la aprobación de los organismos reguladores de salud (Mosa *et al.*, 2017).
- **Integración y análisis de datos:** El diagnóstico y la terapia personalizada a través de IoMT generan una gran cantidad de datos, lo que requiere sistemas adecuados de almacenamiento y análisis para extraer información útil y tomar decisiones clínicas informadas (Dutta *et al.*, 2023; Pradhan *et al.*, 2020).
- **Adopción y aceptación por parte de los usuarios:** Tanto los pacientes como los profesionales de la salud deben estar dispuestos a adoptar y utilizar dispositivos y terapias basados en IoMT. La educación, la capacitación y el apoyo continuo pueden ser cruciales para garantizar una adopción exitosa (Gagnon *et al.*, 2016).

IOMT EN AMÉRICA LATINA

En América Latina, varios avances y desarrollos en el Internet de las Cosas Médicas (IoMT) tienen como objetivo mejorar la atención médica y la calidad de vida de sus ciudadanos. Algunos ejemplos destacados incluyen:

- **Telemedicina en Colombia:** El programa "Telemedicina" en Colombia es una iniciativa gubernamental que busca utilizar tecnologías de la información y la comunicación para mejorar el acceso a los servicios de salud en áreas rurales y remotas del país. Este programa incluye la implementación de soluciones de IoMT, como teleconsultas y telemonitorización, para facilitar la atención médica remota y reducir las brechas en la provisión de atención médica (Ministerio de Salud y Protección Social, 2017).
- **Plataforma de telemedicina mexicana "MediQo":** MediQo es una plataforma de telemedicina en México que utiliza dispositivos IoMT, como dispositivos portátiles y monitores de salud, para

conectar a los pacientes con profesionales médicos de forma remota. Esta plataforma permite a los usuarios recibir diagnósticos, tratamientos y seguimiento médico desde la comodidad de sus hogares, mejorando el acceso a los servicios de salud (MediQo, *s.f.*).

- Proyecto peruano "TITA": TITA (Tecnología e Innovación para Telemedicina y Atención) es un proyecto peruano que busca desarrollar y validar tecnologías de IoMT para el monitoreo y tratamiento de enfermedades crónicas como la diabetes y la hipertensión. El proyecto combina dispositivos de monitoreo de la salud con aplicaciones móviles y plataformas de telemedicina para mejorar la atención médica y la calidad de vida de los pacientes (TITA, *s.f.*).
- Plataforma brasileña "Laura": Laura es una plataforma de inteligencia artificial en Brasil que utiliza datos de dispositivos IoMT para identificar y prevenir riesgos en la atención médica, como infecciones hospitalarias y eventos adversos. Esta plataforma ayuda a los profesionales de la salud a tomar decisiones más informadas y mejorar la eficiencia y la seguridad de los servicios de salud (Laura, *s.f.*).

Estos ejemplos demuestran el potencial del IoMT para transformar la atención médica en América Latina y abordar algunos de los desafíos clave de la región en términos de accesibilidad, calidad y eficiencia de los servicios de salud.

IoMT en Costa Rica

En un país como Costa Rica, que cuenta con un sistema de atención médica universal y una población en crecimiento, el avance del Internet de las Cosas Médicas (IoMT) puede ofrecer numerosas ventajas para mejorar la atención médica y la calidad de vida de sus ciudadanos. Estas ventajas incluyen:

- Mejora en la accesibilidad a la atención médica: Costa Rica tiene áreas rurales y remotas con acceso limitado a servicios médicos. El IoMT puede facilitar la implementación de soluciones de telemedicina, lo que permite a los pacientes recibir consultas y seguimiento médico de forma remota y elimina la necesidad de viajar a centros de atención médica (Kruse *et al.*, 2017).

- Gestión eficiente de recursos: Los dispositivos y sistemas de IoMT pueden ayudar a optimizar la utilización de recursos médicos y reducir los costos de atención médica. Por ejemplo, el monitoreo remoto de pacientes puede reducir la necesidad de hospitalizaciones y visitas frecuentes al médico, aliviando la carga del sistema de atención médica (Chouvarda *et al.*, 2015).
- Prevención y control de enfermedades crónicas: El IoMT se puede emplear para desarrollar programas de prevención y manejo de enfermedades crónicas, como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. La detección temprana y el monitoreo continuo de los pacientes pueden mejorar los resultados de salud y minimizar las complicaciones asociadas con estas enfermedades (Marques *et al.*, 2019).
- Envejecimiento activo y cuidado de personas mayores: Con una población en envejecimiento, Costa Rica puede beneficiarse del uso de dispositivos IoMT para monitorear la salud y el bienestar de las personas mayores en sus hogares, lo que permite una vida más independiente y una atención médica más personalizada (Mantas *et al.*, 2010).
- Desarrollo económico y creación de empleo: La inversión en el área de IoMT puede impulsar el desarrollo económico y la creación de empleo en Costa Rica. El país podría convertirse en un centro de innovación para tecnologías médicas, atrayendo empresas y talentos en el sector y fomentando la creación de nuevas empresas locales en el campo de la salud digital (Lasierra *et al.*, 2013).
- Mejora de la calidad de vida: En general, la adopción de IoMT en Costa Rica puede mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos al facilitar una atención médica más accesible, personalizada y eficiente. Esto puede hacer que una población más saludable esté más satisfecha con los servicios de salud disponibles (Islam *et al.*, 2015).

Para aprovechar estas ventajas, Costa Rica debe abordar desafíos asociados con la implementación de IoMT, como la interoperabilidad, la seguridad de los datos y la privacidad, y la adopción y aceptación por parte de los usuarios (Joyia *et al.*, 2017).

En Costa Rica, también se están realizando esfuerzos para implementar y desarrollar soluciones de IoMT para mejorar la atención médica y la calidad de vida de sus ciudadanos. Algunos ejemplos destacados incluyen:

- Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicación (CITIC): CITIC, perteneciente a la Universidad de Costa Rica, trabaja en la investigación y desarrollo de tecnologías de la información y la comunicación en áreas como la telemedicina y la salud digital. Esto incluye el estudio y la implementación de dispositivos y sistemas de IoMT para mejorar la atención médica en el país (CITIC, *s.f.*).
- Iniciativas privadas: En Costa Rica, varias empresas privadas y organizaciones también están trabajando en la implementación de soluciones de telemedicina y IoMT. Por ejemplo, el Hospital Clínica Bíblica, a través de sus programas de apoyo a la innovación como el Centro de Innovación en Ciencias de la Vida, respalda diversas iniciativas relacionadas con estas tecnologías para mejorar la atención médica en el país (Centro de Innovación en Ciencias de la Vida, *s.f.*).
- Huli es una empresa de tecnología médica con sede en Costa Rica que ha desarrollado una plataforma HuliVida (Huli, *s.f.*). HuliVida es una aplicación de registros médicos electrónicos y gestión de citas que permite a los pacientes registrar su historia médica y programar citas con profesionales de la salud. Aunque la plataforma no se enfoca específicamente en IoMT, representa un paso significativo hacia la adopción de tecnologías digitales en el sistema de salud costarricense. Medismart es otra empresa costarricense que ofrece servicios de telemedicina y soluciones de software para la gestión de clínicas y hospitales (Medismart, *s.f.*). La plataforma de Medismart permite a los médicos brindar atención remota y gestionar sus consultas de

manera eficiente. Al igual que las otras iniciativas mencionadas, Medismart no se enfoca exclusivamente en IoMT, pero sienta las bases para la adopción de tecnologías médicas conectadas en Costa Rica.

Estos ejemplos muestran que Costa Rica está trabajando activamente en la adopción y desarrollo de soluciones de IoMT para mejorar la atención médica y abordar los desafíos clave que enfrenta su sistema de atención médica.

CONCLUSIONES

El IoMT presenta un gran potencial para transformar la atención médica, ofreciendo soluciones que mejoran la accesibilidad y la calidad de la atención. Estas mejoras son particularmente notables en regiones como Costa Rica, donde el IoMT puede ayudar a superar desafíos como el acceso a la atención médica en áreas rurales y la prevención de enfermedades crónicas. La combinación de IoT con nanotecnología puede dar lugar a la creación de dispositivos más pequeños, eficientes y avanzados, lo que impulsa aún más las capacidades y aplicaciones de IoT. Sin embargo, los desafíos relacionados con la seguridad de los datos, la interoperabilidad y la aceptación por parte de los usuarios siguen siendo consideraciones críticas.

Los avances en sensores digitales y sistemas de alerta han demostrado beneficios en la atención médica, como la reducción de hospitalizaciones y costos de atención médica. Sin embargo, la evidencia que respalda estas afirmaciones sigue siendo limitada, y se necesita más investigación para validar y ampliar estos hallazgos.

Finalmente, para garantizar la seguridad, eficacia y compatibilidad de las tecnologías basadas en nanotecnología en IoT, es esencial establecer un marco regulador sólido. Este enfoque integral permitirá superar los desafíos actuales y maximizar el potencial de la nanotecnología y el IoMT para transformar la atención médica y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aazam, M., Zeadally, S., y Harras, K. A. (2018). Deploying Fog Computing in Industrial Internet of Things and Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(10), 4674-4682. <http://dx.doi.org/10.1109/TII.2018.2855198>
- Ashton, K (2009). That “Internet of Things” Thing: In the Real World Things Matter More than Ideas. *RFID Journal*. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Bashshur, R., Doarn, C. R., Frenk, J. M., Kvedar, J. C., y Woolliscroft, J. O. (2020). Telemedicine and the COVID-19 Pandemic, Lessons for the Future. *Telemedicine and e-Health*, 26(5), 571-573. <https://doi.org/10.1089/tmj.2020.29040.rb>
- Bauer, M., Glenn, T., Monteith, S., Bauer, R., Whybrow, P. C., y Geddes, J. (2018). Ethical perspectives on recommending digital technology for patients with mental illness. *International Journal of Bipolar Disorders*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40345-017-0073-9>
- Chaurasia, D.N. (2022). Nanotechnology and Nanomaterials in Everyday Life. *Journal of Research in Science and Engineering*. <https://doi.org/10.53469/jrse.2022.04%2807%29.03>
- Chen, C., Xue, G., Mei, Z., Bambang Oetomo, S., y Chen, L. (2016). A review of wearable sensor systems for monitoring body movements of neonates. *Sensors*, 16(12), 2134. <https://doi.org/10.3390/s16122134>
- Chouvarda, I., Goulis, D. G., Lambrinouadaki, I., y Maglaveras, N. (2015). Connected Health and Integrated Care: Toward New Models for Chronic Disease Management. *Maturitas*, 82, 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2015.03.015>
- CITIC (s.f.). *Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicación*. Universidad de Costa Rica. <https://www.citic.ucr.ac.cr/>
- Cuteanu, A., Seguin, M., Ziebland, S., Pope, C., Leydon, G., Barnes, R., Murray, E., Atherton, H., y Stevenson, F. (2021). Qualitative study: patients’ enduring concerns about discussing internet use in general practice consultations *BMJ Open*, 11: e047508. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-047508>
- Dindelegan, M. G., Blebea, C., Perde-Schrepler, M., Buzoianu, A. D., y Maniu, A. A. (2022). *Recent Advances and Future Research Directions for Hearing Loss Treatment Based on Nanoparticles*. <https://doi.org/10.1155/2022/7794384>
- Dorsemaine, B., Gaulier, J., Wary, J., Kheir, N., y Urien, P. (2015). *Internet of Things: A Definition & Taxonomy*. 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies, 72-77. <https://doi.org/10.1109/NGMAST.2015.71>
- Doudna, J. A., y Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. *Science*, 346(6213), 1258096. <https://doi.org/10.1126/science.1258096>
- Dutta, A., Kovid, R., Thatha, M. y Gupta, J. (2023). Adoption of IoT-based healthcare devices: An empirical study of end consumers in an emerging economy. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 14(1), 20220106. <https://doi.org/10.1515/pjbr-2022-0106>
- e-Telemed (s.f.). *Telemedicina en Costa Rica*. <https://etelemed.co.cr/>
- Etheridge, M. L., Campbell, S. A., Erdman, A. G., Haynes, C. L., Wolf, S. M., y McCullough, J. (2013). The big picture on nanomedicine: the state of investigational and approved nanomedicine products. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2012.05.013>
- FDA. (2017). *Firmware Update to Address Cybersecurity Vulnerabilities Identified in Abbott's (formerly St. Jude Medical's) Implantable Cardiac Pacemakers: FDA Safety Communication*. <https://www.fda.gov/medical-devices/safety-communications/firmware-update-address-cybersecurity-vulnerabilities-identified-abbotts-formerly-st-jude-medicals>
- Gagnon, M. P., Ngangue, P., Payne-Gagnon, J., y Desmartis, M. (2016). m-Health adoption by healthcare professionals: a systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 23(1), 212-220. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocv052>
- Gebrehiyot, S., Madijagan, M., Pattanaik, B., Balamurugan, E., Selvakannani, S., y Vijayarangam, S. (2022). High Sensitive IoT Nanotechnology Sensors for Improved Data Acquisition and Processing. En *International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)* (pp. 617-621). Tuticorin, India. <https://doi.org/10.1109/ICEARS53579.2022.9752333>
- Gough, D. A., Kumosa, L. S., Routh, T. L., Lin, J. T., y Lucisano, J. Y. (2010). Function of an implanted tissue glucose sensor for more than 1 year in animals. *Science Translational Medicine*, 2(42), 42ra53. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3001148>
- Gu, Z., Aimetti, A. A., Wang, Q., Dang, T. T., Zhang, Y., Veiseh, O., Cheng, H., Langer, R. S., y Anderson, D. G. (2013). Injectable nano-network for glucose-mediated insulin delivery. *ACS nano*, 7(5), 4194-4201. <https://doi.org/10.1021/nn400630x>

- Hartwein, C., Rimbeck, M., Reil, H., Stumpf-Wollersheim, J., y Leyer, M. (2022). Scenario-based Solutions for Implementing an Internet of Things System at the Organizational Level in Small- and Medium-sized Enterprises. *Special Section: Future of Work in Germany*, 72(4), 1611-1627. <http://dx.doi.org/10.3233/WOR-211242>
- Heinemann, L., y DeVries, J. H. (2016). Reimbursement for continuous glucose monitoring. *Diabetes Technology & Therapeutics*, 18(S2), S248-S252. <https://doi.org/10.1089/dia.2015.0296>
- Higashisaka, K. (2022). Health Effects and Safety Assurance of Nanoparticles in Vulnerable Generations. *Biological & pharmaceutical bulletin*. <https://doi.org/10.1248/bpb.b22-00277>
- Huang, Q., Wang, Y., Chen, X., Wang, Y., Li, Z., Du, S., Wang, L., y Chen, S. (2018). Nanotechnology-Based Strategies for Early Cancer Diagnosis Using Circulating Tumor Cells as a Liquid Biopsy. *Nanotheranostics*, 2(1), 21-41. <https://doi.org/10.7150/ntno.22091>
- Huli. (s.f). *HuliVida*. <https://www.hulivida.com>
- Indira, S. S., Vaithilingam, C. A., Prakash Oruganti, K. S., Mohd, F., y Rahman, S. (2019). Nanogenerators as a Sustainable Power Source: State of Art, Applications, and Challenges. *Nanomaterials*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/nano9050773>
- Iqbal, F. M., Lam, K., Joshi, M., et al. (2021). Clinical outcomes of digital sensor alerting systems in remote monitoring: a systematic review and meta-analysis. *NPJ Digital Medicine*, 4(7). <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00378-0>
- Islam, S. M. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., y Kwak, K. S. (2015). The Internet of Things for Health Care: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, 3: 678-708. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2015.2437951>
- ISO. (s.f). *ISO/TC 229 - Nanotechnologies*. <https://www.iso.org/committee/381983.html>
- ISO/IEC. (2011). *ISO/IEC 80001-1:2011 - Application of risk management for IT networks incorporating medical devices*. <https://www.iso.org/standard/44863.html>
- Johnson, M. E., Montoro Bustos, A. R., Murphy, K. E., Winchester, M. R., y Vega Baudrit, J. R. (2017). Silver Nanoparticles: Technological Advances, Societal Impacts, and Metrological Challenges. *Frontiers in Chemistry*, 5, 250277. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00006>
- Joyia, G. J., Liaqat, R. M., Farooq, A., y Rehman, S. (2017). Internet of Medical Things (IOMT): Applications, Benefits and Future Challenges in Healthcare Domain. *Journal of Communications*, 12(4), 240-247. <https://doi.org/10.12720/jcm.12.4.240-247>
- Karimi, M., Ghasemi, A.H., Sahandi Zangabad, P., Rahighi, R., Moosavi Basri, S.M., Mirshekari, H., Amiri, M.A., Shafaei Pishabad, Z., Aslani, A., Bozorgomid, M., Ghosh, D., Beyzavi, A., Vaseghi, A., Aref, A.R., Haghani, L., Bahrami, S., y Hamblin, M.R. (2016). Smart micro/nanoparticles in stimulus-responsive drug/gene delivery systems. *Chemical Society reviews*, 45 5, 1457-501. <https://doi.org/10.1039/c5cs00798d>
- Khan, M. A., y Salah, K. (2018). IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges. *Future Generation Computer Systems*, 82, 395-411. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.11.022>
- Koepsell, D. (2011). *Innovation and Nanotechnology: Converging Technologies and the End of Intellectual Property*. Bloomsbury Publishing.
- Kruse, C. S., Krowski, N., Rodriguez, B., Tran, L., Vela, J., y Brooks, M. (2017). Telehealth and patient satisfaction: a systematic review and narrative analysis. *BMJ Open*, 7(8), e016242. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016242>
- Lasierra, N., Alesanco, Á., Guillén, S., y García, J. (2013). A three-stage ontology-driven solution to provide personalized care to chronic patients at home. *Journal of Biomedical Informatics*, 46(3), 516-529. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2013.03.006>
- Laura (s.f). *Hospital 4.0: The digital transformation of healthcare*. <https://laura-br.com/>
- Lee, H., Choi, T. K., Lee, Y. B., Cho, H. R., Ghaffari, R., Wang, L., Choi, H. J., Chung, T. D., Lu, N., Hyeon, T., Choi, S. H., y Kim, D. (2016). A graphene-based electrochemical device with thermoresponsive microneedles for diabetes monitoring and therapy. *Nature Nanotechnology*, 11(6), 566-572. <https://doi.org/10.1038/nnano.2016.38>
- Life Science Center for Innovation. (s.f). <https://www.clinicabiblica.com/es/lscfi>
- Lueth, K. L. (2020). *State of the IoT 2020: 12 billion IoT connections, surpassing non-IoT for the first time*. <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-2020-12-billion-iot-connections-surpassing-non-iot-for-the-first-time/>
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., y Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137(C), 511-536. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>

- Mantas, G., Lymberopoulos, D., y Komninos, N. (2010). Security in Smart Home Environment. In *Wireless Technologies for Ambient Assisted Living and Healthcare: Systems and Applications*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-805-0.ch010>
- Marques, G., Pitarma, R., y Pombo, N. (2019). Internet of Things Architectures, Technologies, Applications, Challenges, and Future Directions for Enhanced Living Environments and Healthcare Systems: A Review. *Electronics*, 8(10), 1081. <https://doi.org/10.3390/electronics8101081>
- Mason, C., y Dunnill, P. (2008). A brief definition of regenerative medicine. *Regenerative Medicine*, 3(1), 1-5. <https://doi.org/10.2217/17460751.3.1.1>
- MediQo (s.f.). *Consultas médicas en línea*. <https://mediqo.com/>
- Medismart. (s.f.). *Tecnología de salud en Costa Rica*. <https://www.medismart.tech>
- Mihai, M. M., Dima, M. B., Dima, B., y Holban, A. M. (2019). Nanomaterials for Wound Healing and Infection Control. *Materials*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/ma12132176>
- Ministerio de Salud y Protección Social (2017). *Lineamientos para la Implementación de la Telesalud en Colombia*. Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/lineamientos-implementacion-telesalud-colombia.pdf>
- Mitchell, M. J., Billingsley, M. M., Haley, R. M., Wechsler, M. E., Peppas, N. A., y Langer, R. (2020). Engineering precision nanoparticles for drug delivery. *Nature Reviews. Drug Discovery*, 20(2), 101-124. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-0090-8>
- Mosa, A. S. M., Yoo, I., y Sheets, L. (2017). A Systematic Review of Healthcare Applications for Smartphones. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 12(1), 67. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-12-67>
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2021). *Nanotechnology standards and measurements*. <https://www.nist.gov/topics/nanotechnology/standards-and-measurements>
- Ngoepe, M. y Ngwenya, M. (2022). Personal Data and the Assemblage Security in Consumer Internet of Things. *International Journal of Information Security and Privacy (IJISP)*, 16(1), 1-20. <http://doi.org/10.4018/IJISP.2022010108>
- Niu, Y., y Ren, H. (2022). Transceiving Signals by Mechanical Resonance: A Miniaturized Standalone Low Frequency (LF) Magnetolectric Mechanical Antenna Pair With Integrated DC Magnetic Bias. *IEEE Sensors Journal*. <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3183012>
- Pantelopoulos, A., y Bourbakis, N. G. (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. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2009.2032660>
- Papatsimouli, M., Lazaridis, L., Ziouzios, D., Dasygenis, M., y Fragulis, G. (2022). Internet of Things (IoT) awareness in Greece. *SHS Web of Conferences*, 139, 03013. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202213903013>
- Paul, A., Hasan, A., Kindi, H. A., Gaharwar, A. K., Rao, V. T., Nikkhah, M., Shin, S. R., Krafft, D., Dokmeci, M. R., Shum-Tim, D., y Khademhosseini, A. (2014). Injectable graphene oxide/hydrogel-based angiogenic gene delivery system for vasculogenesis and cardiac repair. *ACS nano*, 8(8), 8050-8062. <https://doi.org/10.1021/nn5020787>
- Peer, D., Karp, J. M., Hong, S., Farokhzad, O. C., Margalit, R., y Langer, R. (2007). Nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy. *Nature Nanotechnology*, 2(12), 751-760. <https://doi.org/10.1038/nnano.2007.387>
- Pei, Q., Jiang, B., Hao, D., y Xie, Z. (2023). Self-assembled nanoformulations of paclitaxel for enhanced cancer theranostics. *Acta Pharmaceutica Sinica B*. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2023.02.021>
- Personal Connected Health Alliance (PCHA). (2021). *Continua Design Guidelines*. <https://www.pchalliance.org/continua-design-guidelines>
- Pradhan, B., Bhattacharyya, S., y Pal, K. (2020). IoT-Based Applications in Healthcare Devices. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6632599>
- Roco, M. C. (2011). The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at 10 Years. *Journal of Nanoparticle Research*, 13(2), 427-445. <https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z>
- Roman, R., Zhou, J., y Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks*, 57(10), 2266-2279. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.12.018>
- Ruchi, N., Naik, N., Kumar, N., Kundu, D., y Kartikeyan, M. (2022). A Rectenna for RF Energy Harvesting for Application in Powering IoT Devices. *IEEE Wireless Antenna and Microwave Symposium (WAMS)*. <https://doi.org/10.1109/WAMS54719.2022.9848409>

- Selvaraj, S. y Sundaravaradhan, S. (2020). Challenges and opportunities in IoT healthcare systems: a systematic review. *SN Appl. Sci.* 2, 139. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1925-y>
- Shin, S. R., Jung, S. M., Zalabany, M., Kim, K., Zorlutuna, P., Kim, S. B., Nikkhah, M., Khabiry, M., Azize, M., Kong, J., Wan, K. T., Palacios, T., Dokmeci, M. R., Bae, H., Tang, X. S., y Khademhosseini, A. (2013). Carbon-nanotube-embedded hydrogel sheets for engineering cardiac constructs and bioactuators. *ACS nano*, 7(3), 2369-2380. <https://doi.org/10.1021/nn305559j>
- Siravegna, G., Marsoni, S., Siena, S., y Bardelli, A. (2017). Integrating liquid biopsies into the management of cancer. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 14(9), 531-548. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.14>
- Song, J., Yang, X., Jacobson, O., Lin, L., Huang, P., Niu, G., Ma, Q., y Chen, X. (2015). Sequential drug release and enhanced photothermal and photoacoustic effect of hybrid reduced graphene oxide-loaded ultrasmall gold nanorod vesicles for cancer therapy. *ACS Nano*, 9(9), 9199-9209. <https://doi.org/10.1021/acs.nano.5b03804>
- Song, Y., Luo, Y., Zhu, C., Li, H., Du, D., y Lin, Y. (2016). Recent advances in electrochemical biosensors based on graphene two-dimensional nanomaterials. *Biosensors & bioelectronics*, 76, 195-212. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.07.002>
- Srivastava, J., Routray, S., Ahmad, S., y Waris, M. M. (2022). Internet of Medical Things (IoMT)-Based Smart Healthcare System: Trends and Progress. *Computational Intelligence and Neuroscience*: 1-17. <https://doi.org/10.1155/2022/7218113>
- Statista. (2020). *Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025*.
- Swansea University. (2017, July 26). *Breakthrough in early cancer detection*. <https://www.swansea.ac.uk/press-office/news-archive/2017/breakthroughinearlycancerdetection.php>
- Symantec. (2017). *Insecurity in the Internet of Things*. <https://www.symantec.com/content/dam/symantec/docs/white-papers/insecurity-in-the-internet-of-things-en.pdf>
- Tenchov, R., Bird, R., Curtze, A. E., y Zhou, Q. (2021). Lipid Nanoparticles—From Liposomes to mRNA Vaccine Delivery, a Landscape of Research Diversity and Advancement. *ACS Nano*, 15(11), 16982-17015. <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c04996>
- TITA (s.f). *Proyecto TITA*. <http://www.tita.io/>
- Touchot, N. y Flume, M. (2015). The payers' perspective on gene therapies. *Nature biotechnology*, 33(9), 902-904. <https://doi.org/10.1038/nbt.3332>
- Ventola, C. L. (2017). Progress in nanomedicine: approved and investigational nano-drugs. *Pharmacy and Therapeutics*, 42(12), 742-755.
- Wu, J. H., Shen, W. S., Lin, L. M., Greenes, R. A., y Bates, D. W. (2008). Testing the technology acceptance model for evaluating healthcare professionals' intention to use an adverse event reporting system. *International journal for quality in health care*. *Journal of the International Society for Quality in Health Care*, 20(2), 123-129. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzm074>
- Xu, X., Wu, J., Liu, Y., Saw, P. E., Tao, W., Yu, M., Zope, H., Si, M., Victorious, A., Rasmussen, J., Ayyash, D., Farokhzad, O. C., y Shi, J. (2017). Multifunctional Envelope-Type siRNA Delivery Nanoparticle Platform for Prostate Cancer Therapy. *ACS nano*, 11(3), 2618. <https://doi.org/10.1021/acsnano.6b07195>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., y Xia, Y. (2019). Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chemical reviews*, 119(8), 5298-5415. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>