

Internet of Things en el cuidado de la salud

Ignacio Sánchez Zeledón

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática
Universidad de Costa Rica*

San José, Costa Rica

jose.sanchezzeledon@ucr.ac.cr

Marcelo Delgado Mora

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática
Universidad de Costa Rica*

San José, Costa Rica

marcelo.delgadomora@ucr.ac.cr

Jose Antonio Mora Monge

*Escuela de Ciencias de la Computación e Informática
Universidad de Costa Rica*

San José, Costa Rica

jose.moramonge21@ucr.ac.cr

Abstract—El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado diversos sectores, y uno de los más beneficiados es el de la salud, especialmente a través del Internet de las Cosas Médicas (IoMT). Este documento explora el papel de IoMT en la monitorización en tiempo real de parámetros de salud, como la presión arterial y la frecuencia cardíaca, a través de dispositivos conectados entre sí. Se realiza una exploración de los orígenes y aplicaciones actuales del Internet de las Cosas en la Salud. Se analiza los desafíos asociados a la IoMT y las tecnologías emergentes en el monitoreo remoto de pacientes. Igualmente, se discute acerca de las posibles propuestas actuales para la solución de las problemáticas presentes. Este análisis pretende ofrecer una visión comprensiva de las tendencias actuales y los futuros desarrollos de IoMT en la mejora de la atención médica.

Palabras claves—Internet de las Cosas, IoMT, IoHT, monitoreo de salud, tecnologías médicas

I. INTRODUCCIÓN

A. Importancia del Internet de las Cosas en la Transformación del Cuidado de la Salud

La Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) ha redefinido cómo los objetos físicos interactúan en el entorno cotidiano, integrando sensores y software en dispositivos que recopilan y comparten datos a través de redes sin necesidad de intervención humana continua. Este ecosistema IoT incluye desde teléfonos inteligentes y electrodomésticos hasta sistemas complejos en ciudades inteligentes, todos conectados a internet o a redes inalámbricas, lo que permite la automatización de tareas y una optimización que supera las capacidades humanas en numerosos ámbitos [5], [10].

En la actualidad, los dispositivos inteligentes simplifican actividades cotidianas, como el monitoreo de salud a través de relojes inteligentes o la gestión de iluminación mediante asistentes de voz, y su influencia no se limita al hogar; se extiende a sectores estratégicos como el transporte, la agricultura y, especialmente, la salud.

En el campo de la salud, la IoT ha dado lugar a un concepto cada vez más relevante: la Internet de las Cosas Médicas (IoMT, por sus siglas en inglés). Este enfoque permite integrar dispositivos médicos con redes de datos para monitorear y diagnosticar a los pacientes de manera continua, mejorando

la eficiencia en los tratamientos y en la administración de servicios de salud.

El uso de IoMT no solo facilita la automatización de ciertos procesos médicos, sino que también permite una atención más personalizada y ajustada a las necesidades de cada paciente. Durante la pandemia de COVID-19, se aceleró la adopción de tecnologías IoMT debido a la necesidad de brindar atención a distancia, lo que subrayó su utilidad en el monitoreo remoto de pacientes y en la reducción de visitas presenciales a centros de salud [6].

En países como Costa Rica, la adopción de IoMT ha comenzado a implementarse en instituciones públicas de salud como la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), que emplea sistemas como EDUS para centralizar y gestionar información de pacientes en una plataforma digital. Estos avances muestran el potencial de la IoT para mejorar el acceso y la calidad de los servicios de salud, aunque aún enfrentan desafíos significativos, especialmente en cuanto a inversión en infraestructura, personal capacitado y políticas que garanticen la seguridad y privacidad de los datos médicos [1], [7].

La IoT también tiene un impacto considerable en la asistencia a personas con discapacidades, facilitando su autonomía e inclusión mediante la creación de entornos inteligentes y accesibles. A través de tecnologías como la Computación Ubicua y la Inteligencia Ambiental, es posible diseñar sistemas de soporte que integren dispositivos de monitoreo para personas con discapacidades motoras, auditivas, visuales o que necesiten ayuda en actividades cotidianas. Este enfoque pretende eliminar barreras, permitiendo que los usuarios interactúen de manera natural y sin complicaciones con sus entornos, incrementando su independencia y calidad de vida [2].

En términos de seguridad y eficiencia, la integración de la IoT en sistemas de salud también se beneficia de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA), Blockchain y las Redes Definidas por Software (SDN). La IA, por ejemplo, permite procesar grandes cantidades de datos clínicos, facilitando la identificación de patrones en la salud de los pacientes y prediciendo posibles complicaciones.

Por otro lado, el Blockchain asegura que los datos médicos

se mantengan inmutables y transparentes, mejorando la confiabilidad del flujo de información. Adicionalmente, las SDN permiten gestionar de manera dinámica la conectividad en infraestructuras de salud, optimizando el uso de recursos y reduciendo la latencia en la transmisión de datos críticos [6].

Este artículo examina las tendencias, oportunidades y desafíos de la IoT en el ámbito de la salud, con énfasis en las arquitecturas de implementación, los mecanismos de seguridad necesarios y las herramientas que permiten apoyar la toma de decisiones clínicas. El objetivo es ofrecer una revisión comprensiva sobre cómo la IoT está transformando los modelos de atención médica y destacar su potencial para mejorar la accesibilidad, seguridad y calidad de los servicios de salud en el futuro cercano [1], [7], [10].

II. HISTORIA

A. Orígenes y Desarrollo Histórico del Internet de las Cosas en la Medicina y el Cuidado de la Salud

La disciplina de Internet of the Things (IoT) se puede observar desde tan temprano como los inicios del siglo 19 con la invención del telégrafo ya que se puede considerar un objeto que apoya la actividad cotidiana de la comunicación al transmitir información en la distancia. Sin embargo, el concepto de Internet de las cosas en sí nace a finales de la década de los sesenta en la que un grupo de investigadores se une para investigar sobre las posibilidades de conectar diferentes computadoras y sistemas, de este grupo de investigadores nacen los inicios del internet como lo conocemos ahora, el cual se fue formando durante los siguientes años hasta mitades de los noventa donde un internet completamente establecido y de alcance global, lleva a investigadores a explorar más a fondo las capacidades y beneficios de la interconexión entre las máquinas y los seres humanos y sus vidas. El 1997 el tecnólogo británico Kevin Ashton, comienza a experimentar por medio de diferentes tecnologías, la conexión de dispositivos físicos por medio de microchips y señales inalámbricas y es el primero en utilizar la frase “Internet de las cosas” [10].

El concepto de Internet of Things (IoT) ha evolucionado a lo largo del tiempo. Los avances significativos en las áreas de electrónica, software y tecnología de sensores permiten que la disciplina se expanda y diversifique a lo largo de las diferentes áreas de la vida cotidiana de las personas. En el área de la salud por ejemplo, la introducción del IoT se dio por medio de dispositivos utilizables por los pacientes con el objetivo de la recolección y transmisión de datos médicos en tiempo real, entre estos latencia del corazón y datos relacionados con actividad física con el fin de apoyar el monitoreo y diagnóstico de los pacientes [1].

Las aplicaciones del Internet de las Cosas en el área de la salud cumplen y se resguardan ante una demanda por un cuidado médico accesible y eficiente, en especial en el trato de condiciones médicas crónicas. Con el tiempo se logró integrar esta tecnología poco a poco y cada vez más sutilmente con el objetivo de crear ambientes de cuidado de salud adaptables a las condiciones de las personas [2].

El impacto económico encontrado en las primeras etapas de la implementación del Internet de las cosas en la sociedad general, acompañado de la necesidad y demanda por accesos inmediato a datos importantes, impulsó la investigación en el área para ampliar estos beneficios y aplicarlos al área de la salud lo que llevó a la aparición del área de IoHT o Internet of Healthcare Things, la cual nació con el objetivo de la creación de ambientes médicos inteligentes por medio de la conexión de sensores y herramientas de monitoreo para mejorar la calidad y eficiencia de los servicios médicos [3].

La aparición del Internet de las Cosas en contraste a otras tecnologías aplicadas a lo cotidiano, no apareció para generar pánico y preocupación de las personas en relación a su rol en la sociedad ni como una amenaza a la profesión médica, al contrario trajo con ella un apoyo secundario a los médicos permitiendo que sigan prestando sus servicios mientras que el paciente es capaz de monitorear su salud desde casa y acudir a ellos en caso de emergencia.

III. ESTADO ACTUAL Y SUS DESAFÍOS

A. Aplicaciones Actuales del Internet de las Cosas en la Salud: Ventajas, Limitaciones y Retos

Hoy en día, la disciplina del internet de las cosas se encuentra implementada ampliamente en el cuidado de la salud con el fin de apoyar varias áreas de la misma. El monitoreo de pacientes, por ejemplo, se ve beneficiado por dispositivos como relojes inteligentes y monitores de ejercicio los cuales por medio de sensores son capaces de medir datos relacionados a la salud de una persona como lo pueden ser la latencia del corazón, niveles de oxígeno en sangre y la actividad física [1].

Otra aplicación que ha surgido en los últimos años es el caso de lo llamado telemedicina, la cual se encarga de proveer facilidades para los doctores de obtener información o reunirse con los pacientes con el objetivo del diagnóstico, monitoreo sin la necesidad de citas presenciales. Un área que se ve beneficiada por la telemedicina es el control de enfermedades crónicas, para estas se ha utilizado el IoT para la creación de aplicaciones móviles que le permiten al paciente llevar el control propio del estado de su enfermedad y el progreso ha pasado y a futuro de la misma por medio de modelado predictivo [2].

Las aplicaciones en el área de IoHT se han organizado en cuatro categorías principales, dos de ellas se mencionaron anteriormente como lo son los dispositivos portátiles de medición y el cuidado de salud basado en dispositivos móviles inteligentes. Las dos áreas restantes, se dividen en asistencia en el entorno de vida y el monitoreo remoto. En cuanto a la asistencia en el entorno de vida se ha enfocado a proveer herramientas para el cuidado de adultos mayores como lo pueden ser sistemas detectores de caída y en general la modificación del entorno en el que viven con el fin de asegurar la seguridad y la autonomía. Por último, en el caso de los sistemas de monitoreo remoto se encuentran biosensores capaces de recolectar datos internos del paciente y transmitirlos a servidores clínicos para su análisis [3].

Las categorías anteriormente mencionadas, cuentan con varios ejemplos de dispositivos desarrollados recientemente en cada una. En cuanto al monitoreo de pacientes, en el caso de la enfermedad de parkinson, se desarrolló un dispositivo basado en un acelerómetro inalámbrico capaz de monitorear el temblor de la mano del paciente. En el área de los dispositivos portables, se propone un dispositivo que mide la frecuencia cardiaca y la regula por medio de diferentes melodías musicales comprobadas en la capacidad de disminuir o aumentar la frecuencia de los latidos. Por último, en el área de asistencia en el entorno de vida, se presenta una caja de medicamentos la cual cuenta con capacidades de apoyar al usuario en la manipulación de los medicamentos y el monitoreo del doctor con el fin de verificar el cumplimiento de la receta [7].

En general, en la actualidad, se ha llegado a un consenso general en relación a la arquitectura seguida por los dispositivos de IoHT. Esta arquitectura consiste de 3 capas, la capa de las cosas la cual consiste en los dispositivos directamente en contacto con los usuarios y son los encargados de la recopilación de datos del paciente por medio de estos dispositivos. La conexión entre esta capa y la siguiente llamada capa de niebla se da por medio de routers locales de la ubicación del usuario. La capa de niebla se conforma de servidores locales y dispositivo gateway, en este caso los servidores se encargan de la seguridad e integridad del sistema. La última capa, llamada la capa de nube recibe los datos de la capa de niebla para procesamiento, en esta capa se encuentra el almacenamiento del sistema y sistemas encargados de la toma de decisiones de acuerdo a los datos obtenidos. Como su nombre lo dice los recursos de esta capa se encuentran ubicados en la nube con la escalabilidad en mente [6].

Las aplicaciones de tecnología vienen de la mano siempre con limitaciones que afectan su correcta implementación y desarrollo y en el caso de IoTH no es la excepción. En primer lugar se encuentra la limitación de presupuesto de diferentes instituciones en especial cuando se tiene diferentes localidades que requieren la tecnología lo que lo hace no solo más costoso si no que añade una complejidad en relación a la coordinación de implementación en los diferentes consultorios. Por otro lado, un obstáculo presente es el de el entrenamiento de empleados de las instituciones médicas para el uso correcto y efectivo de los dispositivos de IoHT. Regulaciones gubernamentales también limitan la implementación y aplicación de IoHT, esto se debe a que todo sistema de salud, en relación a la seriedad del caso, debe atenerse a ciertos estándares estrictos impuestos por el ente regulador de la salud en cada país [1].

La adopción de la tecnología de IoHT cuenta con un desafío importante el cual se basa en la necesidad de una seguridad robusta y fiable. Esta necesidad se debe a la naturaleza de los sistemas de IoHT de trabajar principalmente con datos, y debido a que se trata de datos médicos, se convierten en datos sensibles que se deben tratar con el mayor cuidado posible [3]. Además, los dispositivos no tienden a ser desarrollados con la capacidad de ser actualizados como lo podría ser un dispositivo móvil por ejemplo, esto lleva a una preocupación de ciberseguridad debido a que no se pueden crear actualiza-

ciones de seguridad con el fin de combatir nuevas formas de ataques cibernéticos [9].

Por último un desafío encontrado desde los principios de la disciplina es aquel de lograr la integración o modificación de dispositivos preexistentes con el fin de añadir las características que incluyen dispositivos de IoHT. Este desafío es encontrado a lo largo de toda la tecnología pero en el caso del área de salud se vuelve aún más complicado debido a lo intrincado y específico de los dispositivos médicos [4].

IV. TENDENCIAS HACIA EL FUTURO

A. Avances Tecnológicos y Proyecciones Futuras del Internet de las Cosas en el Cuidado de la Salud

El futuro del Internet de las Cosas (IoT) en el sector salud se perfila como una evolución hacia sistemas de salud interconectados, autónomos y altamente sofisticados que impactarán de manera directa en la calidad de la atención médica y en la experiencia del paciente. A medida que la tecnología IoT continúa avanzando, se espera que los dispositivos médicos y sistemas de monitoreo en tiempo real se integren aún más en la infraestructura de atención sanitaria, permitiendo una gestión de la salud cada vez más precisa y adaptada a las necesidades tanto individuales como poblacionales [7], [9]. Esta integración se verá reforzada por tendencias emergentes clave, como la automatización de procesos, la interoperabilidad de sistemas y el uso de tecnologías disruptivas como la Inteligencia Artificial (IA) y el Blockchain, que en conjunto están redefiniendo los modelos de atención y prevención en el sector [10].

Un avance importante en esta evolución es la creación de plataformas de salud conectadas que no solo integren dispositivos portátiles o wearables y monitores biométricos, sino también sistemas avanzados de diagnóstico remoto. Estas plataformas permiten una supervisión continua en tiempo real del estado de salud de los pacientes, haciendo posible una intervención temprana y efectiva en situaciones críticas, además de una optimización en el tratamiento médico [6], [9]. Gracias a la IA, estas plataformas podrán analizar grandes volúmenes de datos de salud en poco tiempo y con una precisión sin precedentes. Mediante algoritmos que identifican patrones y tendencias en los datos, los médicos contarán con diagnósticos más rápidos y personalizados, y se podrán generar predicciones sobre posibles complicaciones de salud, lo que refuerza la capacidad de los profesionales para tomar decisiones informadas y a la vez mejora la experiencia del paciente [9], [10].

La interoperabilidad también se destaca como una tendencia fundamental en la evolución del IoT en el sector de la salud. Conforme aumenta el número de dispositivos conectados, se hace esencial que los sistemas de salud puedan integrarse y compartir información de manera fluida y segura entre plataformas, dispositivos y registros médicos electrónicos. Esta capacidad de integración no solo contribuirá a mejorar la experiencia del paciente al garantizar una atención más coordinada y continua, sino que también optimizará los recursos en los centros médicos, incrementando la eficiencia en los procesos

de atención. Esta conectividad permitirá a los profesionales de la salud acceder a datos relevantes en tiempo real y desde cualquier ubicación, lo que potenciará la telemedicina y la atención a distancia, especialmente en regiones con difícil acceso a servicios de salud tradicionales [9], [10].

Dada la creciente cantidad de datos médicos recolectados por los dispositivos IoT, la seguridad y privacidad de esta información se convierten en temas prioritarios. El manejo de datos sensibles requiere medidas avanzadas para evitar riesgos de violación de privacidad y garantizar la confidencialidad. En este sentido, el Blockchain surge como una tecnología crucial, ya que ofrece una estructura descentralizada y segura para el almacenamiento de registros médicos. Al registrar los datos de salud en bloques encriptados, el Blockchain garantiza la integridad y autenticidad de la información, previniendo alteraciones y accesos no autorizados, lo que genera una mayor confianza en la seguridad de los sistemas de salud conectados [6], [9]. Además, el Blockchain puede permitir a los pacientes controlar sus propios datos, concediendo permisos de acceso a los proveedores de salud cuando sea necesario y mejorando la transparencia en la relación entre el paciente y el sistema sanitario.

Otro aspecto relevante del futuro de la IoT en la salud es su capacidad para ofrecer una atención cada vez más personalizada, especialmente para personas con enfermedades crónicas o discapacidades. La IoT brinda la posibilidad de un monitoreo constante del estado de salud de los pacientes, promoviendo la autonomía y mejorando su calidad de vida. Los dispositivos serán cada vez más pequeños, accesibles y fáciles de usar, lo cual facilitará su adopción entre diversos perfiles de pacientes. Asimismo, la inteligencia ambiental o computación ubicua permitirá crear entornos de salud inteligentes en los hogares y centros médicos, donde los pacientes puedan recibir asistencia en actividades cotidianas, además de monitorear su salud en tiempo real. Este tipo de tecnología no solo tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de los pacientes, sino también de ofrecer soluciones de soporte en la atención domiciliaria, reduciendo la carga en los sistemas de salud convencionales [1], [2], [9].

Finalmente, las proyecciones indican que el IoT en el sector de la salud no solo contribuirá a mejorar la calidad del servicio, sino que también tendrá un impacto positivo en la sostenibilidad de los sistemas de salud. La capacidad de los dispositivos IoT para monitorear y gestionar la salud de manera remota permitirá reducir visitas innecesarias a los hospitales, optimizando el uso de recursos y generando ahorros significativos en los costos de atención tanto en los sistemas de salud públicos como privados. Se prevé que la IoT sea una herramienta indispensable para ampliar el acceso a servicios de salud de calidad, especialmente en regiones con limitaciones de recursos médicos [7], [9].

El Internet de las Cosas en el ámbito de la salud se perfila como un motor clave de innovación que transformará la manera en que se brinda y gestiona la atención médica. A través de avances tecnológicos como la IA, Blockchain y la interoperabilidad de sistemas, la IoT tiene el potencial de

revolucionar el cuidado de la salud, haciéndolo más accesible, eficiente y personalizado. Estos desarrollos no solo mejorarán la calidad de vida de millones de personas, sino que también promoverán una gestión de la salud más sostenible y equitativa en el ámbito global, llevando la atención médica a un nuevo nivel de eficiencia y eficacia en el siglo XXI.

V. DISCUSIÓN

A. *Solución de desafíos presentes en el uso del Internet de las Cosas en el Cuidado de la Salud*

En secciones anteriores se ha mencionado la relevancia que han ganado las IoHT en el sector de la medicina, además del papel importante que tomarán estas tecnologías en el futuro del cuidado de la salud. Es por esto mismo que es necesario que en vez de presentar resistencia u oponerse al cambio, se vean estas tecnologías emergentes como una ayuda o apoyo al personal e instituciones de salud para generar mejores diagnósticos, presentar mejores tratamientos y en general mejorar la calidad de vida de las personas. Es por esto mismo que la sociedad debe enfocarse en solucionar los principales desafíos y problemáticas que existen actualmente en el ámbito, para no quedar rezagados en la incorporación de un sistema de salud más automatizado, controlado y novedoso. La propia sociedad y sistemas de salud deben buscar ser los protagonistas del desarrollo e incorporación de estas tecnologías, y enfocarse en los factores sociales, económicos, políticos y educativos que impiden que esto suceda de manera fluida. A continuación se presentará un análisis de las posibles soluciones a las problemáticas y desafíos presentes actualmente en el área.

Debido a que los dispositivos de IoHT funcionan a partir de la recolección y análisis en tiempo real de múltiples datos, se necesita de un método de almacenamiento y acceso universal que sirva para este fin. En la mayoría de aplicaciones actuales de IoHT, se utiliza la computación en la nube, para compartir, almacenar y acceder a estos datos de manera remota, y aunque este sistema presenta grandes ventajas, también posee desventajas que limitan el potencial de la tecnología, como lo son la alta latencia de comunicación, elevado consumo de ancho de banda, problemas de complejidad y escalabilidad y riesgos de privacidad e integridad de los datos. Una solución propuesta para este desafío es la utilización de paradigmas derivados de la computación en la nube, como la computación en la niebla y el "edge computing", que poseen una reducción en el ancho de banda utilizado, una menor latencia y mayor consistencia y confiabilidad en la transmisión y almacenamiento de datos [7], [9].

Relacionado a las redes y comunicación, existen desafíos que perjudican el correcto funcionamiento de los dispositivos IoHT. Entre ellos, se encuentra la problemática de la latencia y la comunicación en tiempo real, debido a que estos dispositivos necesitan de bajas latencias y comunicación casi instantánea para generar correctos diagnósticos y tomar decisiones acertadas. Para esto, se propone la utilización de arquitecturas de red compuestas, utilización de procesamiento local y uso de redes inalámbricas de nueva generación como lo pueden ser la 5G. Otra problemática relacionada es la

disponibilidad y escalabilidad de las redes de comunicación. Se necesita cada vez de redes más grandes, que soporten mayor cantidad de dispositivos y que tengan tiempo inactivo mínimo. Para esto se propone el uso de arquitecturas de red híbridas, además de sistemas de respaldo. Además, surge la problemática de la seguridad de las redes, que son vulnerables a ataques y a accesos indebidos. Para esto, las redes deben de estar fuertemente encriptadas y preparadas para neutralizar ataques cibernéticos e intentos de acceso a información clasificada, respaldadas por expertos que sepan darles mantenimiento y seguridad adecuados [8], [9].

Otra problemática latente en la disciplina es que los sistemas tradicionales de monitoreo son insuficientes para el correcto funcionamiento de los dispositivos IoHT, por lo que se propone como solución la utilización de técnicas y algoritmos de aprendizaje automático y aprendizaje profundo para el apoyo al diagnóstico médico, ya que estas técnicas son capaces de analizar grandes cantidades de datos médicos para interpretar y extraer información valiosa que es crucial para el diagnóstico, tratamiento y predicción de condiciones y enfermedades. Este proceso involucra la obtención de datos, el preprocesamiento de datos, manejo de datos imbalanceados, utilización de un algoritmo de aprendizaje automático o aprendizaje profundo para la clasificación de datos, y el análisis de rendimiento y precisión del modelo propuesto. [7]–[9].

Otra problemática presente en el ámbito de las IoHT, es en el almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de datos. Debido a que los dispositivos IoHT funcionan por medio de información recolectada, se necesita de muchos datos que ocupan ser preprocesados, analizados y almacenados. Debido al auge de la recolección y análisis de información en los últimos años, van existiendo soluciones a la problemática relacionados con el análisis, almacenamiento y manejo de grandes cantidades de datos en las disciplinas relacionadas a "Big Data". En esta se debe preprocesar grandes cantidades de datos, eliminar ruido, identificar patrones y valores atípicos para quedar con los datos esenciales para el sector médico. [8], [9].

Uno de los desafíos más importantes y que genera la mayor cantidad de preocupación es la seguridad, privacidad e integridad de los datos almacenados y procesados por dispositivos IoHT, especialmente en datos tan sensibles como información médica, que generan un sentimiento de desconfianza e incertidumbre en las personas usuarias. Es necesario brindar la mayor seguridad a los datos personales de las personas usuarias, además de garantizar el acceso a los mismos sólo por las personas autorizadas, evitando el robo o acceso indebido a datos personales producto de ciberataques. Es necesario el entrenamiento y educación de los usuarios y el personal de salud de la importancia y estado crítico de esta información para garantizar el correcto funcionamiento de los protocolos de seguridad implementados. Aunque actualmente se utilizan métodos de seguridad y criptografía tradicionales para crear sesiones seguras y resguardar los datos, que cada vez son más livianos y pequeños por lo que caben sin problema en los dispositivos IoHT, suelen introducir latencia y procesamiento

adicional que termina ralentizando el funcionamiento de los dispositivos. En los últimos años, se ha visto las tecnologías de blockchain y descentralizadas como candidatos ideales para la solución de la problemática, debido a que brinda seguridad, confiabilidad, transparencia y privacidad sin generar latencia ni procesamiento adicional. Otros candidatos a solución son infraestructuras que necesiten autenticación constante, y que verifiquen constantemente el estado de seguridad del dispositivo. Por otra parte, una solución novedosa incluye la anonimización de datos personales para que los datos almacenados sean completamente anónimos y sin relación con un paciente en específico [7]–[9].

Otros desafíos latentes en el área son los presentes en las IoT tradicionales, que son heredados al campo de las IoHT. Dentro de estos se encuentran: el problema de interoperabilidad, determinado por la gran heterogeneidad encontrada en los ambientes de IoT, debido a las grandes cantidades de compañías que generan este tipo de dispositivos con sus propios protocolos y arquitecturas privadas, y la falta de estándares aceptados que además mantengan un nivel de seguridad fuerte entre dispositivos. La solución propuesta es el uso de plataformas de "middleware", junto a la estandarización de protocolos, datos y arquitecturas, para poder utilizarse en diferentes dispositivos. El costo de los dispositivos IoT, debido a que en muchos lugares alrededor del mundo estos dispositivos están restringidos a las personas con menor poder adquisitivo. Una solución para este problema es el desarrollo e investigación de dispositivos de bajo costo para uso médico. El último de los problemas de IoT tradicionales tiene que ver con la personalización y calibración de dispositivos, especialmente en el área de la salud. Una propuesta de solución se basa en el desarrollo de dispositivos altamente personalizables y calibrables para poder personalizar el dispositivo a las necesidades y condiciones de cada usuario [8], [9].

En relación a los dispositivos IoHT en sí, existen problemáticas relacionadas a su usabilidad, aceptación e interacción con los usuarios. Dentro de estas se encuentran el consumo de energía de los dispositivos IoHT, que deben de estar encendidos y funcionando la mayor parte del tiempo, por lo que surge el problema de las baterías y el consumo de los mismos. Como solución se propone el desarrollo de protocolos de bajo consumo de energía y de manejo de energía inteligente para desarrollar dispositivos con baterías duraderas y que no necesiten de mucha interacción con el usuario. Otra problemática se basa en el poder de procesamiento de los dispositivos IoHT, debido a que deben de tener un tamaño adecuado para no molestar al usuario, pero poseer suficiente poder y funcionalidad para cumplir con tareas sumamente complejas. Como solución se plantea el desarrollo de dispositivos y microcomputadoras cada vez más potentes, además del uso de la nube y la transferencia de datos para realizar los cálculos pesados fuera del dispositivo. Otra problemática presente se trata de la actualización y mantenimiento de estos dispositivos, ya que existen dispositivos que no se pueden actualizar o mantener a largo plazo. Una solución se trata del desarrollo de dispositivos que tengan largos plazos de actualizaciones

y servicio de mantenimiento, especialmente en el área de la salud donde el reemplazo de los mismos puede resultar más costoso que su mantenimiento. Otro desafío importante es el de la aceptación y usabilidad del usuario, debido a que estos mismos pueden generar inicialmente un sentimiento de rechazo y desconfianza, especialmente en la población mayor, demográfica que utiliza mayoritariamente este tipo de dispositivos. Como solución se propone el desarrollo de dispositivos cada vez más pequeños y menos invasivos que ayuden a las personas a adaptarse y sentirse más cómodos con la incorporación de los IoHT [8], [9].

VI. CONCLUSIONES

A. Conclusiones sobre el Rol del Internet de las Cosas en la Evolución del Cuidado de la Salud

El desarrollo de los dispositivos IoT en los últimos años, junto a tecnologías asociadas, ha permitido el auge e implementación de las mismas en diferentes ámbitos de la vida cotidiana actual, una de las más importantes siendo el área de la salud, que se ha visto grandemente beneficiada por la adopción de estas tecnologías, terminando en la creación de una nueva subárea denominada Internet of Healthcare Things o Internet of Medical Things (IoHT o IoMT). La implementación de estos dispositivos en el área de la salud está transformando como se percibe y practica la medicina moderna, con numerosos beneficios observados en el diagnóstico, tratamiento y prevención de condiciones médicas, además de que sirve como una herramienta de apoyo del personal médico para reducir errores y ser más eficientes y acertados a la hora de tomar decisiones médicas de importancia, que en conjunto sirve para mejorar la calidad de vida de las personas siendo tratadas.

El área de IoT ha sido desarrollada de manera rápida y ha capturado el interés tanto de investigadores como usuarios. Desde que se demostró interés en la creación de dispositivos pequeños capaces de comunicarse entre sí se ha ido expandiendo a demás ámbitos de la vida, y se observó el potencial en el ámbito médico desde temprano. Dentro de la medicina, los IoHT también han tenido su evolución acelerada, desde sensores que recolectaban datos básicos de pacientes hasta ambientes de cuidado de salud adaptados a las necesidades de cada persona.

Varias áreas dentro de la medicina han cambiado gracias a la aplicación de los IoHT, como puede ser el monitoreo en tiempo real de pacientes, la telemedicina, la detección y prevención temprana y el control remoto de condiciones médicas. Estos dispositivos han favorecido grandemente el ámbito y han permitido el desarrollo de nuevas perspectivas y posibilidades a la hora de tratar a pacientes.

La adopción de los sistemas IoHT no ha sido del todo fluido, debido a que existen una serie de limitaciones y desafíos sociales, políticos, económicos y educativos relacionados con los dispositivos que se deben de trabajar e investigar para no quedar rezagados con las nuevas tecnologías y poder ser protagonistas en el desarrollo de nuevas maneras de practicar medicina.

Aún así, se proyecta que en el futuro las IoHT seguirán desarrollándose, superando desafíos y limitaciones, volviéndose cada vez más accesibles, sofisticadas, precisas, interoperables y personalizables a las necesidades de cada persona, con mayor cantidad de tecnologías implementadas, ofreciendo una seguridad y monitoreo en tiempo real a los pacientes en todo momento, lo que resulta altamente beneficioso para el sector salud y sus profesionales, debido a que se reduce la carga de trabajo al automatizarse muchos procesos y diagnósticos, para establecer su funcionalidad como una herramienta confiable para que los profesionales de salud puedan diagnosticar y tratar condiciones médicas de manera acertada y oportuna.

Esto no significa que en la actualidad no existan soluciones para los desafíos presentes en la disciplina, debido a que en los últimos años gracias al interés generado en el área por su potencial en la medicina, ha causado que se investigue y propongan recursos para la solución y remedio de las problemáticas actuales que retrasan el avance y adopción de los IoHT en los servicios de salud.

REFERENCIAS

- [1] D. Granados Durán, J. Joseph, and C. Castillo, "Internet de las cosas (IoT) como estrategia para impulsar la eficiencia de los procesos médicos en Costa Rica / Internet of things (IoT) as a strategy to improve the efficiency of medical processes in Costa Rica". Disponible en: <http://44.209.83.190/bitstream/handle/20.500.14230/10407/REF-1653841663-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [2] A. Montoto, G. Chavira, and S. Martínez, "Hacia el paradigma de las Tecnologías emergentes en el cuidado de la salud." Disponible en: <http://reibci.org/publicados/2017/dic/2600555.pdf>.
- [3] J. J. P. C. Rodrigues et al., "Enabling Technologies for the Internet of Health Things," IEEE Access, vol. 6, pp. 13129–13141, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2789329>.
- [4] M. Mamdouh, A. I. Awad, A. A. M. Khalaf, and H. F. A. Hamed, "Authentication and Identity Management of IoHT Devices: Achievements, Challenges, and Future Directions, Computers and Security", vol. 111, p. 102491, 2021. doi: 10.1016/j.cose.2021.102491.
- [5] S. Ketu and P. K. Mishra, "Internet of Healthcare Things: A contemporary survey," Journal of Network and Computer Applications, vol. 192, p. 103179, 2021. doi: 10.1016/j.jnca.2021.103179.
- [6] S. Razdan y S. Sharma, "Internet of Medical Things (IoMT): Overview, Emerging Technologies, and Case Studies", IETE Technical Review, vol. 39, n.o 4, pp. 775-788, may 2021, doi: 10.1080/02564602.2021.1927863.
- [7] A. A. Pedro y G. G. Yadira, "Internet de las cosas en el ámbito de la atención médica: tendencias y desafíos". http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18592022000100014.
- [8] P. Oliveira, R. Andrade, P. Neto, y B. Oliveira, "Internet of Health Things for Quality of Life: Open Challenges based on a Systematic Literature Mapping", Proceedings Of The 15th International Joint Conference On Biomedical Engineering Systems And Technologies, ene. 2022, doi: 10.5220/0010812400003123.
- [9] G. R. Pradyumna, R. B. Hegde, K. B. Bommegowda, T. Jan, y G. R. Naik, "Empowering Healthcare with IoMT: Evolution, Machine Learning Integration, Security, and Interoperability Challenges", IEEE Access, vol. 12, pp. 20603-20623, ene. 2024, doi: 10.1109/access.2024.3362239.
- [10] S. Greengard, "Internet of Things — Definition, History, Examples, & Privacy Concerns," Encyclopedia Britannica, Nov. 05, 2024. <https://www.britannica.com/science/Internet-of-Things>