

Una revisión sistemática del Internet de las cosas aplicadas al sector salud con énfasis en el Monitoreo de la Oxigenación

Stefanie Rubí Mendo Hernández, José Alberto Hernández Aguilar, Rosalinda Morales Hernández, Edgar Antonio Pecero Martínez

Resumen:

En este capítulo presentamos una revisión sistemática de diversas aplicaciones del Internet de las cosas en el sector salud. El crecimiento de la población mayor en todo el mundo y particularmente en México, la carencia de recursos y la necesidad de monitoreo remoto evidenciado por el COVID 19, así como el incremento de los costos de los medicamentos y los tratamientos, y el deseo por implementar la telemedicina, hacen del IOT un interesante tema para el sector salud. Con el propósito de identificar, comparar y clasificar las diferentes técnicas y aplicaciones de IOT en el sector salud, y particularmente las relacionadas con el monitoreo de la oxigenación, que permitan mejorar los servicios de salud y las condiciones de vida de los pacientes, se llevó a cabo esta investigación. Para ello se utilizó la metodología PRISMA–Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis, la cual fue creada por una red internacional de colaboradores del sector salud, y provee un marco para que la revisión sistemática de la literatura asegure su calidad y rigor científico. Los resultados de esta investigación revelan diversas áreas de oportunidad que se plasman como potenciales trabajos futuros.

Palabras clave:

internet de las cosas; salud; aplicaciones informáticas; revisión literatura; metodología PRISMA.

Mendo Hernández, S. R., Hernández Aguilar, J. A., Morales Hernández, R., Pecero Martínez, E. A. (2024). Una revisión sistemática del Internet de las cosas aplicadas al sector salud con énfasis en el Monitoreo de la Oxigenación. En N. Roque Nieto, A. R. Pérez Mayo, B. L. Rodríguez Bahena y C. Rodríguez Leana (Eds). *Estudios de salud desde la perspectiva transdisciplinar*. (pp. 178-197). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.156.c196>



Introducción

Los sistemas de atención médica basados en el Internet de las cosas (IoT) están transformando la forma en que cuidamos nuestra salud, estas tecnologías tienen diversas aplicaciones que mejoran la vida de las personas de múltiples maneras. En primer lugar, permiten la atención médica remota al recopilar datos de pacientes de forma segura mediante sensores IoT y analizarlos con algoritmos antes de compartirlos con profesionales de la salud, lo que lleva la atención médica a los pacientes en lugar de que los pacientes se desplacen hacia la atención médica.

El monitoreo en tiempo real se realiza a través de sensores no invasivos impulsados por IoT, recopilando información psicológica completa y almacenando los datos en la nube para su análisis. Estos sistemas también enfatizan la atención preventiva al utilizar datos de sensores para la detección temprana de emergencias, alertando a los miembros de la familia y aplicando el aprendizaje automático para el seguimiento de tendencias de salud, así como la detección temprana de anomalías.

Los beneficios del uso de IoT en la atención médica son significativos, ya que automatiza los procedimientos que antes requerían mucho tiempo y reduce los errores humanos, facilita la eliminación de limitaciones geográficas, reduce la burocracia y el papeleo, y permite la detección temprana de enfermedades crónicas; también mejora la gestión de medicamentos, la atención médica de mayor calidad y eficiencia. En resumen, el IoT está transformando la atención médica, brindando beneficios que van desde la reducción de costos hasta la mejora de los resultados de salud.

Problema de investigación

Dado el avance vertiginoso del Internet de las cosas aplicado al sector salud, y del desarrollo de nuevas tecnologías de información y comunicación, se desea conocer cuáles son las principales temáticas y tendencias que están en discusión, para su posterior planteamiento como trabajos futuros.

Hipótesis

Ho. El Internet de las cosas aplicado al sector salud es un tema de discusión actual que está aplicando muchas de las tecnologías de Información y Comunicación de vanguardia.

H1. El Internet de las cosas aplicado al sector salud NO es un tema de discusión actual que está aplicando muchas de las tecnologías de Información y Comunicación de vanguardia.

Alcances y limitaciones

La base de datos que se utilizará en esta investigación es la de Google Académico.

Para asegurarnos que los contenidos son actuales se buscara analizar investigaciones recientes, del periodo 2022-2023 preferentemente.

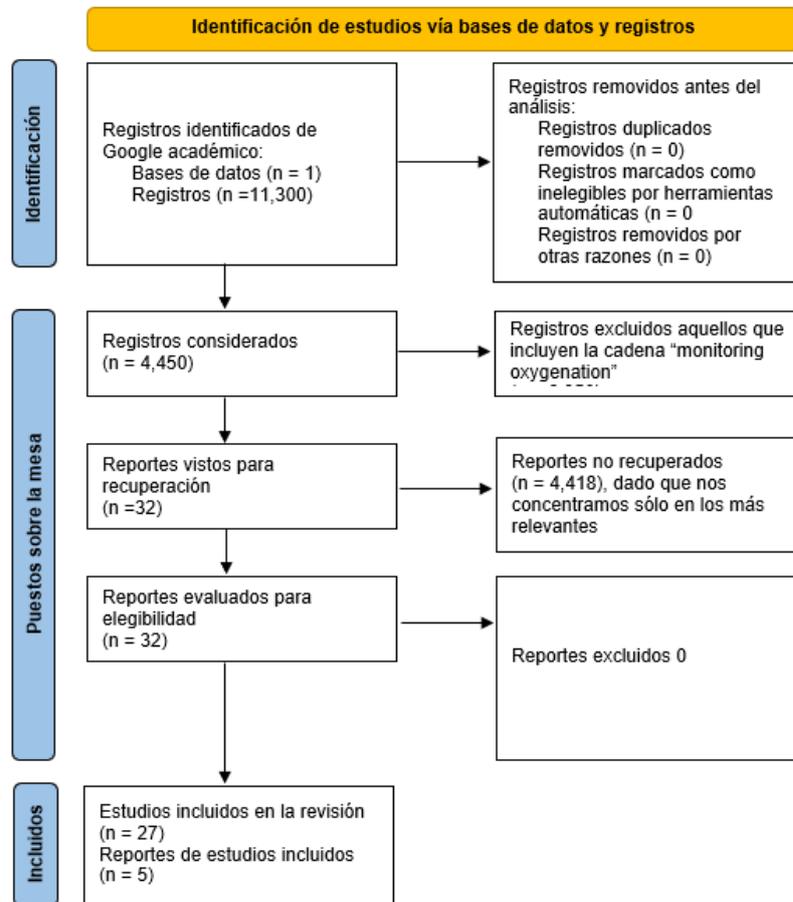
Estructura del documento

En la primera sección se definen el problema de investigación y la hipótesis, así como los alcances y limitaciones; en la segunda sección se presenta la metodología PRISMA y cómo es utilizada para esta investigación, en la tercera sección se presentan los resultados obtenidos, para ello, en primer lugar se listan las temáticas encontradas, así como un breve resumen de las investigaciones relacionadas para cada una de ellas, posteriormente, se presentan los resultados encontrados en forma de tabla y gráfica. En la quinta sección se presentan las conclusiones y trabajos futuros. Finalmente, se muestran las referencias utilizadas.

Metodología

Para este trabajo de investigación se utilizó la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), declaración 2020 (Page et al., 2021). La metodología PRISMA es muy utilizada para la realización de revisiones sistemáticas de la literatura en el sector salud. El diagrama de flujo que se siguió para la presente investigación se puede observar en la Figura 1. La base de datos que se eligió para esta investigación fue la de Google Académico, las palabras clave que se eligieron están en Inglés: *iot + "healthcare applications"* (Internet de las cosas + aplicaciones del cuidado de la salud), lo que nos dió un resultado de 11,300 registros; posteriormente se agregaron las palabras clave *" + monitoring oxygenation"* (+monitoreo de la oxigenación) y los siguientes filtros para asegurarnos de considerar las investigaciones más recientes: período de tiempo 2022-2023, lo que nos dio un resultado de 4,450 registros, y posteriormente los ordenamos por relevancia (los más citados). Se decidió tomar los primeros treinta y dos estudios más relevantes. Los estudios se clasificaron por temáticas, para cada temática se generó un resumen de las tecnologías y temas más relevantes que se encontraron. Posteriormente, estas temáticas se tabulan y grafican en Excel.

Figura 1. Metodología PRISMA



Nota: aplicada a la consulta: iot + "healthcare applications" + monitoring oxygenation, Adaptado de Prisma-statement.org (2023). PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews included searches of databases and registers only. Consultado en: <http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/Flow-Diagram.aspx>

Resultados

De los artículos que se revisaron utilizando la metodología PRISMA, se identificaron las siguientes grandes temáticas:

Sistemas IoT para monitoreo de salud en tiempo real

Morello et al. (2022) discuten una arquitectura Basada en IoT que permite compartir datos y diagnóstico con un cardiólogo remoto en tiempo real o almacenar datos en un folder FTP, como un monitor Holter, para su posterior análisis. El sistema que presentan tiene dos etapas, una digital basada en MyRIO de National Instruments que permite digitalizar la señal y hacer un diagnóstico de las posibles patologías cardiacas, y la etapa analógica que ejecuta la adquisición, amplificación y filtrado preliminar de la señal

electrocardiográfica. Se menciona como las contracciones del corazón bombean sangre al cuerpo oxigenando las células y los órganos. Y como los ataques al corazón previos pueden causar necrosis a los tejidos del corazón por la falta de oxígeno.

Mühlsteff et al. (2022), listan los parámetros cardiovasculares para las aplicaciones del cuidado de salud personales, en primer lugar, señalan que estos parámetros deben ser definidos en colaboración con expertos médicos y deben cubrir el espectro de los que han sido establecidos por los hospitales. Estos parámetros incluyen los signos vitales, como el ritmo cardíaco, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la frecuencia de respiración, la saturación de oxígeno, la presión arterial, y la temperatura del cuerpo. Clasifican los dispositivos para el cuidado personal de la salud en: llevados en el cuerpo, fuera del cuerpo, y dispositivos de medición de control puntual.

Hameed et al. (2021), desarrollaron un sistema de red neuronal destinado al seguimiento de enfermedades. En este sistema, se emplean sensores corporales como el sensor de pulso, el sensor de presión arterial, el sensor de temperatura (MAX30205) y el sensor de oxímetro (MAX30100). Los datos médicos esenciales, como la presión arterial, la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno, recopilados por estos sensores, se almacenan en un servidor en la nube.

La red neuronal se utiliza para analizar estos datos y predecir si los parámetros de la persona se encuentran dentro de los valores normales o si indican umbrales que sugieren la presencia de una enfermedad. La fase de entrenamiento de la red neuronal se realiza utilizando información de las historias clínicas de los pacientes y datos previos de otros individuos

En 2020, Al-Sheik y Ameen presentaron un sistema de monitoreo de salud basado en IoT para teléfonos celulares que permite la monitorización remota de signos vitales de pacientes, como temperatura corporal, ECG y saturación de oxígeno en sangre (SpO₂). Utilizaron la plataforma Arduino para medir y procesar estos datos, y la transmisión de datos se realizó a través de Wi-Fi hacia un servidor en la nube en la plataforma IoT llamada Blynk, lo que habilita el monitoreo en tiempo real. Para garantizar la seguridad y privacidad de los datos, los resultados se envían a un teléfono inteligente específico que puede ser accedido por el médico. El sistema utiliza dos microcontroladores, Arduino y NodeMCU, aunque requiere mejoras, especialmente para transmisiones de larga distancia, ya que la tecnología Wi-Fi no es la opción óptima en esos casos.

Grupta (2020), desarrolló un sistema de monitoreo de atención médica basado en IoT dirigido a pacientes con obesidad. El prototipo es un dispositivo completamente funcional y se encarga de medir diversas características corporales como la frecuencia cardíaca (FC), la saturación de oxígeno en sangre (SpO₂), la presión arterial (PA) y la temperatura corporal.

Utiliza una placa Arduino para gestionar datos médicos de múltiples pacientes de manera simultánea y luego envía esta información a los proveedores de atención médica a través de un módulo Wi-Fi para permitir un monitoreo remoto. Los datos recopilados posibilitan a los médicos examinar los patrones de salud de los pacientes a lo largo del tiempo, lo que facilita la detección de posibles problemas de salud subyacentes no detectados, sin embargo, se señala que la comunicación a larga distancia puede plantear desafíos en este sistema.

Sangeethalakshmi et al. (2021), han propuesto una solución de monitoreo de salud en tiempo real basada en IoT que podría potencialmente salvar vidas al permitir el monitoreo continuo de los signos vitales de los pacientes. Este sistema utiliza sensores inalámbricos para capturar datos de signos vitales, como la presión arterial (PA), la temperatura corporal (BT), el electrocardiograma (ECG), la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno en sangre (SpO2). Estos datos se transmiten a la nube a través de Wi-Fi y se envían al teléfono celular del médico para su análisis. Además, el sistema incluye un sistema de alerta que notifica al médico cuando los signos vitales del paciente se encuentran fuera de los rangos aceptables. Es importante destacar que este sistema es un prototipo que aún necesita ser evaluado, probado y calibrado antes de su implementación en entornos médicos reales.

En Dhiman et al. (2022), se menciona el sistema EWS (early warning system -sistema de alerta temprana), el cual se usa en el Reino Unido de manera obligatoria en los hospitales para observar y almacenar la salud de los pacientes, este puede detectar el decline en la salud y alertar a los trabajadores de dar cuidados intensivos al paciente. Algunos países como los Estados Unidos y Australia también lo usan. Una de las versiones más reciente se llama NEWS, y se usa el Reino Unido, y monitorea saturación de oxigenación, ritmo cardíaco, pulso, tasa de respiración, presión arterial, temperatura del cuerpo, nivel de consciencia, etc.

Islam et al. (2022), en su artículo presentan posibles aplicaciones en el ámbito de la salud utilizando tecnologías IoT para abordar problemas sanitarios, proporcionan una visión general completa de la tecnología IoT, las capacidades, arquitecturas y protocolos de los dispositivos más comunes, se describen en detalle las capacidades de los dispositivos incluyendo hardware como Raspberry Pi, Arduino y ESP8266, así como software, sistemas operativos y herramientas integradas, resaltan las áreas de interés y sugieren direcciones para investigaciones futuras en este campo.

Kumar et al. (2023), mencionan que los avances tecnológicos en el campo de la salud impulsados por el IoT están revolucionando la forma en que se diagnostican y tratan las afecciones del cuerpo al utilizar sensores biomédicos no invasivos que recopilan datos vitales de los pacientes como frecuencia respiratoria, temperatura corporal,

electrocardiograma y presión arterial. La IoT al proporcionar conectividad constante y el intercambio de información en tiempo real está transformando la atención médica al permitir un seguimiento más eficiente de los pacientes y la generación de registros médicos electrónicos.

Aplicaciones Web y/o móviles

En Yüksel (2022), se propone un sistema web y una aplicación móvil que a través de sensores que se comuniquen mediante dispositivos de red, permitan monitorear y almacenar información médica y de salud de los pacientes, el sistema provee asistencia médica a los doctores a partir de la información de la salud de los pacientes a través de un dispositivo que se puede llevar puesto provisto de Internet, aun en zonas remotas o donde no hay hospitales. El dispositivo desarrollado consiste en un microcontrolador que puede almacenar la temperatura del cuerpo, la saturación de oxígeno y el ritmo cardíaco. El sistema puede proveer información necesaria al doctor del paciente y su familia de su estado de salud y completar la información médica.

En Verma et al. (2022), se realizó una revisión sistemática de la literatura de IoT, dispositivos portables en uno mismo, y el rol de 5G en el cuidado de la salud mediante IoT. Ellos explicaron el uso de IoT y dispositivos portables para la cura, monitoreo y detección de enfermedades, así como el uso de 5G para conectar de manera super rápida varios dispositivos de manera inteligente. Señalaron el diseño y uso de biosensores portables en pulseras pequeñas que consisten de bandas sensoras desechables que miden la glucosa en el sudor, las cuales se usan para monitorear los niveles de glucosa antes (pre) y después (post) de realizar ejercicio así como para determinar el pulso cardíaco, los niveles de actividad física y los niveles de oxigenación en la sangre al combinar el monitoreo del sudor y los datos de monitoreo fisiológico, con el propósito evaluar y proveer información que ayude a prevenir shocks hipoglucémicos durante el ejercicio que puedan conducir a la muerte del individuo.

Cómputo en la niebla y en la nube

Saravanan et al. (2022), en su tema “Una descripción general de la arquitectura y las aplicaciones de los sistemas de atención médica basados en IoT” mencionan que debido a la mejora significativa en la medicina y la atención sanitaria pública ha aumentado la calidad de vida en muchos países, ha generado una creciente demanda de soluciones de monitoreo de la salud rentables y personalizadas para los pacientes. El IoT desempeña un papel crucial en la creación de una atención médica centrada en el paciente y ha ganado

atención debido al avance tecnológico en sensores, redes de sensores y transmisión de datos móviles, permite la recopilación, almacenamiento, registro y análisis eficientes de datos de salud, transmitiéndoles a alta velocidad. La miniaturización de sensores ha reducido costos y consumo de energía. Los dispositivos de atención médica conectados al IoT se enfocan en mejorar la calidad de la atención. Los biosensores, dispositivos pequeños e inalámbricos, son especialmente destacados en la investigación. Estos biosensores permiten un monitoreo en tiempo real de las condiciones de salud y facilitan la transmisión de datos a través del almacenamiento en la nube, lo que permite que varios dispositivos accedan a la misma información, algo difícil de lograr con los sistemas convencionales.

Kahdim y Manaa (2022), mencionan que la T de “thing” -cosa en español-, dentro del contexto de IoT, puede ser un sensor como un monitor del corazón, un sensor de temperatura o un sensor de tasa de oxigenación en la sangre. Estos sensores pueden llegar a producir grandes cantidades de información que pueden congestionar y afectar el ancho de banda de la red IoT. Estos autores proponen utilizar el algoritmo de compresión de datos Zstandar para comprimir los datos de los sensores para minimizar los datos transmitidos del nivel Iot al nivel de niebla (fog level), y decrementar la sobrecarga de la red. El sistema que propusieron fue evaluado mediante las métricas de tasa de compresión, rendimiento y tiempo de latencia para aplicaciones en el cuidado de la salud. Los resultados indican que el tiempo de respuesta disminuyó, y se incrementó el rendimiento para los datos comprimidos comparados con los datos sin comprimir.

Sree et al. (2023), en su artículo menciona que el Internet de las cosas (IoT) es un sistema que combina objetos inteligentes con sensores, redes y tecnologías de procesamiento, permitiéndoles interactuar con el entorno del usuario. En el campo de la atención médica, IoT ofrece numerosas ventajas al facilitar la detección y el registro de datos clave, como niveles de glucosa, saturación de oxígeno y el monitoreo del ECG, el artículo se enfoca en la arquitectura de IoT en el sector de la salud, destacando la recopilación y monitorización de datos, así como el almacenamiento en la nube y las capacidades de procesamiento. A pesar de los beneficios, se reconoce que la privacidad y seguridad de los datos son desafíos significativos que enfrentan las organizaciones en este campo.

Sahu et al. (2022), en su artículo sobre el “Sistema de monitoreo de signos vitales para atención médica a través de una aplicación de servicio personal basada en IoT” exponen como los desafíos globales actuales se centran en garantizar que todos tengan acceso a servicios de salud equitativos que sean enormes y accesibles. Esto se vuelve aún más crítico en países en desarrollo debido al crecimiento de la población y la prevalencia de enfermedades crónicas.

Para abordar esta problemática los autores proponen un sistema de monitoreo en tiempo real de varios signos vitales, almacenar tendencias y enviar datos a la nube para su análisis posterior. También incluyen características de detección de anomalías con notificación de alerta y puntajes de alerta temprana. Desarrollaron una aplicación Android para almacenar registros en un servidor médico central, para hacer de este sistema uno sencillo, portátil y fácil de usar.

Wu et al. (2020), desarrollaron un dispositivo portátil que monitorea varios parámetros fisiológicos, como la temperatura corporal, el electrocardiograma (ECG) y la frecuencia cardíaca. Utiliza el tiempo de llegada del pulso (PAT) para estimar la presión arterial (PA) a partir de las mediciones de ECG y PPG. La interacción entre los usuarios y el sistema de monitoreo remoto es sencilla debido a que todos los componentes están diseñados dentro de un marco rígido. Además, estos dispositivos tienen un bajo consumo de energía y pueden comunicarse de forma inalámbrica para realizar mediciones personalizadas de señales fisiológicas específicas. Las mediciones se transmiten de forma inalámbrica a una puerta de enlace a través de un módulo BLE, y se cifran tanto en el parche del sensor como en la puerta de enlace para garantizar la privacidad y seguridad de la transmisión.

Este sistema de sensores portátiles se conecta a la nube mediante un teléfono inteligente y un módulo Raspberry Pi como puerta de enlace, lo que permite recuperar y analizar los datos desde la nube. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la tecnología BLE no es adecuada para comunicaciones inalámbricas a largas distancias y altas velocidades de datos debido a su limitación en ese aspecto.

Patil et al. (2022), en su investigación establece una conexión entre los pacientes y los médicos a través de la Internet de las cosas (IoT) con el fin de prevenir bajas en la atención médica. Este trabajo tiene como objetivo presentar el sistema Tech Care, diseñado para supervisar de manera efectiva la temperatura corporal, los niveles de oxígeno en sangre y la frecuencia cardíaca de los pacientes utilizando sensores portátiles y una Raspberry-Pi.

La información recopilada se almacena en la nube a través de la IoT y se somete a un análisis mediante un sistema de inferencia difusa (FIS). Esto permite un monitoreo en tiempo real de la temperatura, el pulso y la saturación de oxígeno, lo que a su vez permite a los médicos consultar los datos y tomar las medidas necesarias de manera oportuna. Además, el sistema propuesto simplifica la ubicación de medicamentos y dispositivos médicos.

Big Data

AD Acharya y SN Patil (2020) desarrollaron un botiquín médico inteligente basado en IoT para situaciones médicas críticas. Este kit ofrece una conexión versátil a datos de IoT respalda servicios de atención médica de emergencia, como unidades de cuidados intensivos. El modelo recopila, almacena, analiza y distribuye Big Data en tiempo real, lo que puede reducir los riesgos para la salud y disminuir los costos de atención médica. El objetivo principal de esta investigación es reducir la ansiedad de los pacientes en relación con las visitas médicas regulares. Esta propuesta de proyecto busca ahorrar tiempo tanto a los pacientes como a los médicos, permitiendo que los médicos brinden asistencia de manera más efectiva a los pacientes en estado crítico.

Raj (2020), presentó un innovador sistema de procesamiento de datos para sistemas de monitoreo de atención médica basados en IoT, con el propósito de gestionar adecuadamente Big Data en entornos de IoT. El proceso se divide en tres etapas: recopilación y agregación, clasificación y análisis de datos, junto con la toma de decisiones. Utilizando Python, se realizaron experimentos y simulaciones con varios sensores de salud. El modelo se comparó con enfoques tradicionales como redes neuronales de propagación hacia atrás y agrupamiento jerárquico para validar su rendimiento. Este modelo aprovecha Apache Kafka y Hadoop para el procesamiento de datos en tiempo real y fuera de línea. Según los autores, el nuevo método supera a las técnicas tradicionales en términos de procesamiento de datos y extracción de información, con una precisión del 97%, aunque no se incluye un análisis comparativo del tiempo de eficiencia del modelo.

Inteligencia Artificial, machine learning, y deep learning

En Benedict (2022), se presenta una **revisión** de las técnicas para monitoreo remoto propuestas para las aplicaciones del cuidado de la salud y sus retos. Adicionalmente, se presenta una arquitectura para el cuidado de la salud para el monitoreo remoto efectivo. El autor observó que la mayoría de las soluciones se enfocan en la aplicación de analítica de punta y mecanismos de Deep learning. Señala que los sensores IoT más comunes disponibles para medir los parámetros relacionados con la salud incluyen: 1) monitores de glucosa, 2) sensores de temperatura, 3) monitores de ritmo cardíaco, 4) monitores de oxigenación, 5) sensores electromiográficos (ECG) para verificar el pulso cardíaco, entre otros.

Sharma et al. (2022), en el libro “Soluciones de atención médica utilizando Aprendizaje Automático e Informática” abordan soluciones novedosas en el aprendizaje automático y la informática. El sector de la salud es uno de los más críticos en la sociedad humana, y

esta obra presenta una serie de soluciones basadas en inteligencia artificial, aprendizaje automático e Internet de las cosas (IoT) inteligente para el análisis de imágenes médicas, procesamiento de grandes volúmenes de datos médicos y predicción de enfermedades. Los casos de uso de aprendizaje automático e inteligencia artificial en el campo de la salud ofrecidos en el libro brindan ejemplos prácticos de convergencia entre diferentes dominios para investigadores, profesionales y estudiantes.

El libro abarca una amplia variedad de temas, tales como, Inteligencia artificial en el ámbito de la salud, Soluciones de aprendizaje automático para diabetes, artritis, enfermedades cardiovasculares y COVID-19, Soluciones de análisis de grandes datos para el procesamiento de datos de salud, Aplicaciones biomédicas confiables utilizando modelos de inteligencia artificial, IoT inteligente en la atención médica.

Mencionan desde conceptos fundamentales hasta casos de uso avanzados contribuidos por académicos y profesionales de organizaciones respetadas, estos proporcionan diversas soluciones, marcos, aplicaciones, estudios de casos y mejoras prácticas en el ámbito de la salud lo que permite aplicar tecnologías emergentes como el aprendizaje automático, modelos de inteligencia artificial e informática de datos en la práctica para abordar desafíos en el campo de la salud mediante escenarios del mundo real.

Hema (2022), en su capítulo de libro “Aplicaciones inteligentes de IoT para el cuidado de la salud que utilizan IA” menciona que los sistemas de atención médica inteligente basados en IoT se han convertido en una necesidad crucial debido a que a nivel mundial los profesionales de la salud están buscando formas de avanzar en el diagnóstico y monitoreo de la salud humana para salvar vidas de manera más efectiva, por lo tanto estos sistemas permiten un seguimiento de la salud más eficiente al minimizar la intervención humana, lo que a su vez contribuye a reducir la tasa de mortalidad.

Por ello, este capítulo explora diversas aplicaciones de IoT en el ámbito de la atención médica inteligente, destacando la importancia de la inteligencia artificial y la tecnología de computación en la nube, también ofrece una visión detallada de los componentes clave involucrados en el diseño de estas aplicaciones de atención médica inteligente.

Blockchain y seguridad de la información

Azbeg, et al. (2022), realizaron una revisión en la que agruparon diferentes aplicaciones en las que se integra IoT y blockchain en aplicaciones del cuidado de la salud, el IoT se usa para monitorear diferentes parámetros biométricos y blockchain para asegurar los sistemas, asegurando la seguridad y confidencialidad de datos sensibles mediante criptografía. Ellos buscaron en las principales bases de datos científicas, incluyendo Google académico,

y realizaron una comparación entre los tipos aplicaciones en aplicaciones de servicios médicos, para el monitoreo remoto de los pacientes identificaron como sensores IoT los ECG, sensores de temperatura y acelerómetros. Para la predicción de enfermedades identificaron como sensores IoT los relojes inteligentes; para el seguimiento de los pacientes, resaltaron el uso de teléfonos inteligentes, calcetines inteligentes relojes inteligentes, localizadores inteligentes de Android y pulso en sensores de pulsera, oxímetros y sensores de temperatura, y para combatir la pandemia de COVID-19, identificaron como sensores IoT, termómetros infrarrojos, relojes inteligentes, cámaras ópticas, cámaras IP, sensores de pulso, monitoreo térmico y sensores de sangre.

Mohammed y Abdul (2022), presentan en un estudio un sistema seguro de transmisión de datos de pacientes basado en IoT, que utiliza dos dispositivos de salud, los sensores MAX30102 y MLX90614, para recolectar información sobre los niveles de oxígeno, la frecuencia cardíaca (FC) y la temperatura. Esto permite que las instalaciones de atención médica compartan y analicen de manera eficiente todos los datos recopilados. Además, utilizan el protocolo de Mensajería Telemétrica de Cola (MQTT) para permitir la comunicación entre los dispositivos. Sin embargo, es importante destacar que este protocolo no cuenta con un sistema de seguridad sólido de forma predeterminada. Por lo tanto, en este estudio, proponen una técnica segura que combina Salsa20, una técnica ligera, y el uso de ADN para generar claves de sesión que permiten cifrar y descifrar los datos de salud recopilados de los sensores conectados al cuerpo del paciente. Los resultados demuestran que esta propuesta garantiza eficazmente la seguridad de los datos durante la transmisión y refuerza la privacidad de la información relacionada con el paciente.

Biosensores

Arakawa et al. (2022), realizaron una revisión en el uso de biosensores y sensores químicos para las aplicaciones del cuidado de la salud, y su potencial para proveer información fisiológica de manera continua y en tiempo real, a partir de medidas no invasivas y marcadores bioquímicos en biofluidos humanos tales como saliva, sudor, fluidos intersticiales, y volátiles humanos. Los biosensores están basados en MEMs (microelectromechanical systems—sistemas microelectromecánicos) y remplazan dispositivos analíticos costosos y complejos usados en aplicaciones para el cuidado de la salud. Con el desarrollo de los biosensores es posible realizar análisis en varios fluidos biológicos como sangre, sudor, saliva, lágrimas, respiración y volátiles humanos. Los autores encontraron un tipo de biosensores oculares que permiten monitorear concentraciones transcutáneas de oxígeno y glucosa en las lágrimas, el sensor está construido de hydroxyethylmethacrylate (glycol methacrylate), el cual se usa en lentes de contacto suaves, y se usa como material base para crear un dispositivo con alta transparencia. Al montar un LED en el sensor,

éste detecta la corriente fluyendo en el LED, la cual decrece cuando la concentración de glucosa se incrementa, y el LED se apaga.

Joshi et al. (2023), mencionan que el uso de sensores en dispositivos médicos tiene un gran potencial para reducir los costos de los pacientes y mejorar la atención médica, estas tecnologías ya sean de atención portátil o no, están transformando la medicina al ofrecer consejos en tiempo real para una mejor gestión de la salud. Los sensores médicos se utilizan en diversas aplicaciones, desde la detección de enfermedades infecciosas hasta el seguimiento de terapias crónicas.

Mostafa et al. (2022), presentaron una plataforma de monitoreo de salud basada en IoT que emplea un microcontrolador NodeMCU para obtener lecturas de sensores como DS18B20 para la temperatura y el oxímetro de pulso MAX30100 para medir la temperatura corporal (BT), la frecuencia cardíaca (HR) y la saturación de oxígeno en sangre (SpO₂). Estas lecturas son visibles en una pantalla LCD frente al paciente y se pueden ver en los teléfonos tanto de los médicos como de las personas involucradas a través de la aplicación Blynk. El proyecto también incorpora un sensor infrarrojo (IR) que detecta objetos y activa un mecanismo para dispensar desinfección sin necesidad de contacto físico. Según los autores, la aplicación es rápida y efectiva, y el sistema, que se centra en pacientes cardíacos, es más rentable y accesible que las alternativas tradicionales, ofreciendo un servicio más seguro y conveniente.

Subrahmannian & Behera (2022), mencionan que existe una gran demanda de soluciones de bajo costo para conectar el cuidado de la salud con el monitoreo remoto de los pacientes de forma inalámbrica de manera remota. Ellos mencionan el uso de RIFD (Radio Frequency Identification–Identificación por radiofrecuencia) como una tecnología emergente que permite la captura de datos remotos como los del cuidado de la salud. En este artículo se describe como los sensores RFID juegan un rol vital en las aplicaciones del cuidado de la salud costo-efectivo, se describen también los desarrollos recientes en el área.

Atención pandemia COVID 19

Arif et al. (2023), abordan en su artículo cómo la pandemia por COVID-19 ha destacado la importancia de utilizar la tecnología IoT para la monitorización remota de pacientes, especialmente durante cuarentenas y aislamientos para contener la propagación del virus. Este enfoque es fundamental para aumentar la confiabilidad en la detección y el seguimiento de enfermedades a nivel individual y social. Los dispositivos biomédicos portátiles, que anteriormente se utilizaban para monitorizar parámetros fisiológicos en la vida diaria, están siendo redirigidos para prevenir infecciones por COVID-19.

Bajo esta premisa, los autores proponen un sistema basado en IoT para monitorear a las personas en cuarentena, ayudando a informar, rastrear y monitorear a los individuos sin requerir contacto físico, este enfoque beneficia a los profesionales de la salud al reducir el riesgo a exposición a patógenos infecciosos. El objetivo de su investigación es promover la colaboración entre profesionales de la salud y expertos en tecnología para desarrollar soluciones de monitorización de salud digital durante las pandemias.

Abdulmalek et al. (2022), en su artículo de revisión de la literatura existente se centran en las últimas tendencias en sistemas de monitoreo de atención médica basados en IoT, el estudio resalta los beneficios que estos sistemas aportan a la atención médica, incluyendo su importancia y su impacto en la calidad de la atención. Presentan una revisión de varios sistemas que utilizan una variedad de dispositivos y sensores para recopilar datos de pacientes, como la frecuencia cardíaca, la temperatura corporal y la presión arterial, y transmiten estos datos para su análisis. Dichos sistemas tienen aplicaciones en el monitoreo de pacientes con diversas condiciones de salud, incluyendo enfermedades crónicas y COVID-19.

Se mencionan dispositivos y métodos específicos utilizados en estos sistemas, como Arduino, Raspberry Pi, NodeMCU y Atmega, que son plataformas de hardware comunes en estos sistemas. Los autores resaltan la importancia de la protección de datos y la privacidad de los pacientes en estos sistemas, así como la capacidad de los sistemas para detectar anomalías y enviar alertas a los profesionales médicos cuando sea necesario.

A pesar de las ventajas de estos sistemas, se destacan algunas limitaciones, como la falta de consideración de factores más allá de los signos vitales, la necesidad de mejorar la integración de datos, y la falta de comprensión sobre cómo se identifican los profesionales de la salud y abordan las brechas en los sistemas.

En el artículo se revisa una serie de sistemas que ofrecen beneficios en la atención médica, pero que también presentan desafíos en términos de seguridad de datos y mejor integración de información, además señala la importancia de comprender cómo los profesionales médicos abordan las brechas en estos sistemas para mejorar la atención al paciente.

Islam et al. (2020), desarrollaron un sistema de monitoreo inteligente para hospitales que recopila datos de signos vitales de pacientes, como la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca, además de factores ambientales en la habitación, como la concentración de CO y CO₂, y la humedad. Este sistema ha demostrado una tasa de éxito de aproximadamente el 95% en la coincidencia entre los datos monitoreados y los datos reales. Permite al personal médico acceder a estos datos en tiempo real, tanto localmente como de forma remota, lo que podría ser de gran utilidad en situaciones de crisis médicas y epidemias,

como el COVID-19. El prototipo es fácil de diseñar y utilizar, con potencial para mejorar la eficiencia del sistema de salud existente. Sin embargo, aún se necesita evaluar la incorporación de sensores relacionados con epidemias en esta etapa.

Álvarez González et al. (2022), en su artículo presenta un diseño innovador de dispositivo portátil para el monitoreo eficaz y asequible de pacientes con Covid-19. Este dispositivo se centra en la medición de parámetros críticos como la saturación de oxígeno y la temperatura corporal, con el propósito de proporcionar notificaciones tanto a los pacientes como a los profesionales de la salud sobre el estado de salud durante la enfermedad. La implementación se basa en el uso del System on a Chip (SoC) ESP32 de Espressif, aprovechando sus capacidades de conectividad, especialmente la comunicación Wi-Fi, para transferir datos a una plataforma de IoT. Esto permite llevar a cabo mediciones fisiológicas en dispositivos móviles y garantiza alertas inmediatas en caso de lecturas críticas.

Para validar la funcionalidad y eficacia de este dispositivo portátil, se han comparado sus resultados con los obtenidos a través de dispositivos médicos comerciales, demostrando su capacidad para brindar un monitoreo preciso y confiable de la salud de los pacientes con COVID-19.

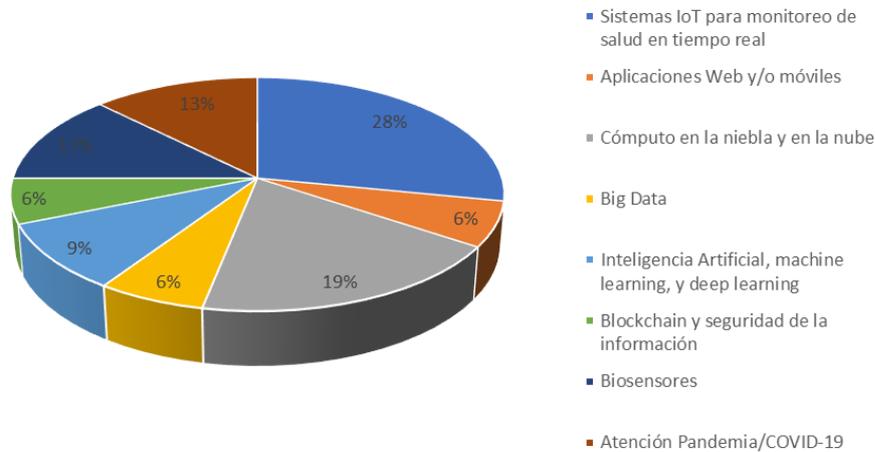
La Tabla 1 y la Figura 2, resumen los resultados obtenidos en la presente investigación. En la Tabla 1, la primera columna describe la temática encontrada, la segunda la frecuencia, y la tercera el porcentaje con respecto a la base (n=32).

Tabla 1. Clasificación de los principales temas encontrados en la revisión de la literatura.

muestra (n=32)	Frecuencia	Porcentaje
Sistemas IoT para monitoreo de salud en tiempo real	9	28%
Aplicaciones Web y/o móviles	2	6%
Cómputo en la niebla y en la nube	6	19%
Big Data	2	6%
Inteligencia Artificial, machine learning, y deep learning	3	9%
Blockchain y seguridad de la información	2	6%
Biosensores	4	13%
Atención Pandemia/COVID-19	4	13%
Total	32	100%

Fuente: elaborado por los autores.

Figura 2. Distribución de las temáticas encontradas IoT en el sector Salud, con énfasis en el subtema monitoreo de la oxigenación.



Fuente: elaborado por los autores.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que la implementación de sistemas IoT para el monitoreo de salud en tiempo real ha surgido como una innovadora y prometedora herramienta en el campo de la atención médica. Los estudios y desarrollos mencionados en este resumen destacan el potencial de esta tecnología para mejorar la atención médica y proporcionar un monitoreo constante de los signos vitales de los pacientes.

En resumen, los sistemas IoT para el monitoreo de salud en tiempo real están desempeñando un papel fundamental en la revolución de la atención médica, al permitir un monitoreo continuo de los signos vitales, la detección temprana de enfermedades, y una atención más eficiente y personalizada para los pacientes. Estos avances tecnológicos prometen mejorar la calidad de la atención médica.

El trabajo futuro contempla la adquisición en los sensores, preprocesamiento de los datos en la niebla, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos en la nube, aplicación de técnicas de inteligencia artificial y análisis de datos avanzados para ayudar a identificar patrones y señales tempranas en los datos recopilados, investigaciones sobre algoritmos de IA para una detección más precisa y el pronóstico de enfermedades así como la realización de estudios para comprender mejor la viabilidad económica con tecnologías IoT, contribuir a la definición de normativas y un marco regulatorio claro para garantizar la calidad y la seguridad de las soluciones de IoT en el ámbito de la salud.

Referencias

- Abdulmalek, S., Nasir, A., Jabbar, W. A., Almuahaya, M. A., Bairagi, A. K., Khan, M. A. M., & Kee, S. H. (2022). IoT-based healthcare-monitoring system towards improving quality of life: A review. *Healthcare, 10*(10), 1993. MDPI.
- Acharya, A. D., & Patil, S. N. (2020). Kit de monitoreo de atención médica basado en IoT. En *Actas de la Cuarta Conferencia Internacional sobre Metodologías Informáticas y Comunicación (ICCMC) de 2020, Erode, India*, 11-13, pp. 363–368.
- Álvarez-González, R., González-Campos, E. R., Quiroz Hernández, N., y Sánchez-Gálvez, A. M. (2022). Diseño de modelo de dispositivo portátil de Internet de las cosas (IoT) basado en un sistema de monitoreo de atención médica de bajo costo para la enfermedad actual de Covid-19. *Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS)*, 508, 1-19.
- Arakawa, T., Dao, D. V., & Mitsubayashi, K. (2022). Biosensors and chemical sensors for health-care monitoring: a review. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 17*(5), 626-636.
- Arif, A. M., Hamad, A. M., & Mansour, M. M. (2023). Internet of (Healthcare) Things Based Monitoring for COVID-19+ Quarantine/Isolation Subjects Using Biomedical Sensors, A Lesson from the Recent Pandemic, and an Approach to the Future. *Journal of Electronics, Electromedical Engineering, and Medical Informatics, 5*(1), 1-12.
- Azbeq, K., Ouchetto, O., Andaloussi, S. J., & Fetjah, L. (2022). A taxonomic review of the use of IoT and blockchain in healthcare applications. *Irbm, 43*(5), 511-519.
- Benedict, S. (2022). IoT-Enabled Remote Monitoring Techniques for Healthcare Applications—An Overview. *Informatica, 46*(2).
- Dhiman, R., Mukherjee, R., Ghousepeer, G. D., & Priyadarshini, A. (2022). Application of Artificial Intelligence in IoT-Based Healthcare Systems. In *Deep Learning, Machine Learning and IoT in Biomedical and Health Informatics* (pp. 271-296). CRC Press.
- Ghorbian, M., y Ghobaei-Arani, M. (2023). Un enfoque sin servidor habilitado para blockchain para aplicaciones de atención médica de IoT. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies (LNDECT)*, 162, 193-218.
- Gupta, D., Parikh, A., & Swarnalatha, R. (2020). Dispositivo integrado de monitoreo de atención médica para adultos obesos que utilizan Internet de las cosas (IoT). En T. J. Electr. *Computadora. Ing.* 10, 1239–1247.
- Hallur, S., Kulkarni, R., Patavardhan, P. P., y Aithal, V. (2022). Problemas, desafíos, amenazas y soluciones de seguridad de IoT en aplicaciones de atención médica. *Integración de IA en análisis de IoT en la nube para aplicaciones de atención médica*.
- Hema, D. (2022). Smart healthcare IoT Applications Using AI. In *Integrating AI in IoT Analytics on the Cloud for Healthcare Applications* (pp. 238-257). IGI Global.
- Islam, M. M., Nooruddin, S., Karray, F., & Muhammad, G. (2022). Internet of Things: Device Capabilities, Architectures, Protocols, and Smart Applications in Healthcare Domain. *IEEE Internet of Things Journal, 10*(4), 3611-3641.
- Islam, M. M., Rahaman, A., Islam, M. R. (2020). Desarrollo de un sistema inteligente de monitoreo de atención médica en un entorno de IoT. *Computación SN. Ciencia*.
- Joshi, A., Sharma, A. K., Pandagre, K. N., & Gour, S. (2023). *Medical Devices and Sensor Application. Intelligent Technologies for Sensors: Applications, Design, and Optimization for a Smart World, 75.No. 1*. AIP Publishing.

- Kahdim, A. N., & Manaa, M. E. (2022). Design an efficient internet of things data compression for healthcare applications. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(3), 1678-1686.
- Kumar, A., De, A., & Gill, R. (2023). Internet of things in healthcare: Technologies, applications, opportunities and challenges. In *AIP Conference Proceedings*, 2495(1). AIP Publishing.
- Lakhan, A., Sodhro, A. H., Majumdar, A., Khuwuthyakorn, P., y Thinnukool, O. (2022). Un enfoque adaptable, ligero y seguro para aplicaciones de atención médica de Internet de las cosas médicas en redes basadas en la nube perimetral. *Sensores*, 22(6), 2379.
- Manoj, A. S., Hussain, M. A., & Teja, P. S. (2021). Sistema de seguimiento de la salud del paciente mediante IoT. *Madre. Hoy Proc*, 2214–7853.
- Mohammed Nafaa, U. bn., & Abdul-Majeed, G. A. (2022). Smart and Secure IoT System for Individual Patient Vitals Monitoring and Healthcare Applications. *Departamento de Ciencias de la Computación, Informatics Institute for Postgraduate Studies*.
- Morello, R., Ruffa, F., Jablonski, I., Fabbiano, L., & De Capua, C. (2022). An IoT based ECG system to diagnose cardiac pathologies for healthcare applications in smart cities. *Measurement*, 190, 110685.
- Mostafa, S. M. G., Zaki, M., Islam, M. M., Alam, M. S., & Ullah, M. A. (2022). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de atención médica basado en IoT. En *Actas de la Conferencia Internacional sobre Innovaciones en Ciencia, Ingeniería y Tecnología (ICISSET)* (pp. 362-366). Chittagong.
- Mühlsteff, J., ten Kate, W., Bonomi, A., Gyllensten, I. C., de Carvalho, P., Pielmus, A., & Orglmeister, R. (2022). Systems, sensors, and devices in personal healthcare applications. In *Personalized Health Systems for Cardiovascular Disease* (pp. 51-83). Academic Press.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista española de cardiología*, 74(9), 790-799.
- Peralta Ochoa, A. M., Chaca-Asmal, P. A., Guerrero Vásquez, L. F. Ordoñez-Ordoñez, J. O., y Coronel-González, E. J. (2023). Aplicaciones sanitarias inteligentes a través de redes 5G: una revisión sistemática. *Aplica Ciencia*, 13(3),1469.
- Sahu, M. L., Atulkar, M., Ahirwal, M. K., & Ahamad, A. (2022). Vital sign monitoring system for healthcare through IoT based personal service application. *Wireless Personal Communications*, 122(1), 129-156.
- Saravanan, M., Ajayan, J., Maheswar, R., & Parthasarathy, E. (2022). An Overview of Architecture and Applications of IoT-Based Health Care Systems. *IoT-Enabled Smart Healthcare Systems, Services and Applications*, 87-121.
- Sharma, M., Upadhyay, H. K., Juneja, S., & Juneja, A. (2022). IoT Application for Healthcare. *Healthcare Solutions Using Machine Learning and Informatics*, 187-204.
- Sheikh, A. L., & Ameen, M. A. (2020). IA Diseño de un sistema móvil de monitoreo de atención médica utilizando tecnología IoT y computación en la nube. En *Actas de la serie de conferencias del IOP: Ciencia e ingeniería de materiales*, 012113.
- Sree, R. G., Reddy, A. V., & Reddy, N. K. (2023). Internet of things: Applications in healthcare industry. *AIP Conference Proceedings*, 2800.
- Subrahmannian, A., & Behera, S. K. (2022). Chipless RFID sensors for IoT-based healthcare applications: A review of state of the art. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 71, 1-20.

- Verma, D., Singh, K. R., Yadav, A. K., Nayak, V., Singh, J., Solanki, P. R., & Singh, R. P. (2022). Internet of things (IoT) in nano-integrated wearable biosensor devices for healthcare applications. *Biosensors and Bioelectronics*, *X*(11), 100153.
- Wu, T., Wu, F., Qiu, C., Redouté, J. M., & Yuce, M. R. (2020). Un parche de sensor de monitoreo de salud portátil rígido y flexible para aplicaciones de atención médica conectadas a IoT. *IEEE Internet Things J*, *7*, 6932–6945.
- Yüksel, H. (2022). IOT-based Smart Healthcare Monitoring System. *Healthcare Monitoring and Data Analysis Using IoT: Technologies and Applications*, *38*, 71.

§

A systematic review of the Internet of Things applied to the healthcare sector with emphasis on Oxygenation Monitoring **Uma revisão sistemática da Internet das Coisas aplicada ao setor de saúde com ênfase no monitoramento da oxigenação**

Stefanie Rubí Mendo Hernández

<https://orcid.org/0009-0002-7058-450X>

Instituto Tecnológico Superior de Naranjos | Tecnologías de la Información y Comunicaciones
| Naranjos-Amatlán | México
stefanie.hd2707@gmail.com

José Alberto Hernández Aguilar

<https://orcid.org/0000-0002-5184-0005>

Universidad Autónoma del Estado de Morelos | FCAel | Cuernavaca | Morelos | México
jose_hernandez@uaem.mx

Rosalinda Morales Hernández

Instituto Tecnológico Superior de Naranjos | Tecnologías de la Información y Comunicaciones
| Naranjos-Amatlán | México
linda.morls.2001@gmail.com

Edgar Antonio Pecero Martínez

Instituto Tecnológico Superior de Naranjos | Tecnologías de la Información y Comunicaciones
| Naranjos-Amatlán | México
edgar.pecero@itsna.edu.mx

Abstract:

In this chapter, we present a systematic review of various applications of the Internet of Things in the health sector. The growth of the elderly population around the world, particularly in Mexico, the lack of resources and the need for remote monitoring evidenced by COVID-19, as well as the increase in the costs of medications and treatments and the desire to implement telemedicine, make the IOT an interesting topic for the health sector. To identify, compare, and classify the different techniques and applications of IOT in the health sector, particularly those related to oxygenation monitoring, which allows improving health services and the living conditions of patients, this research was carried out. For this, the PRISMA–Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis methodology was used, created by an international network of collaborators in the health sector, and provides a framework for the systematic review of the literature to ensure its quality and scientific rigor. The results of this research

reveal various areas of opportunity that are reflected as potential future work.

Keywords: internet of things; healthcare; informatics applications; literature review; PRISMA methodology.

Resumo:

Neste capítulo, apresentamos uma análise sistemática de várias aplicações da Internet das Coisas no setor de saúde. O crescimento da população idosa em todo o mundo e, particularmente, no México, a falta de recursos e a necessidade de monitoramento remoto evidenciada pela COVID 19, bem como o aumento dos custos de medicamentos e tratamentos e o desejo de implementar a telemedicina, tornam a IOT um tópico interessante para o setor de saúde. Com o objetivo de identificar, comparar e classificar as diferentes técnicas e aplicações da IOT no setor de saúde e, particularmente, aquelas relacionadas ao monitoramento da oxigenação, para melhorar os serviços de saúde e as condições de vida dos pacientes, foi realizada esta pesquisa. A metodologia utilizada foi a PRISMA—Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis, criada por uma rede internacional de colaboradores do setor de saúde, e que fornece uma estrutura para a revisão sistemática da literatura a fim de garantir sua qualidade e rigor científico. Os resultados desta pesquisa revelam várias áreas de oportunidade que surgem como possíveis trabalhos futuros.

Palavras-chave: internet das coisas; saúde; aplicativos de computador; revisão da literatura; metodologia PRISMA.