

Blockchain Interoperability in Healthcare Information Systems: An Analysis of Trends and Perspectives

Junior A. Rivas- Torres¹, Bachiller en ingeniería de sistemas e informática¹, Rodrigo L. Malqui- Sifuentes², Bachiller en ingeniería de sistemas e informática², Walter Marzal- Martinez³, Mag. , Vanessa D. Roque- Pisconte⁴, Mag. 
^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica del Perú, ¹ u19209130@utp.edu.pe, ² u192015279@utp.edu.pe, ³ c22314@utp.edu.pe,
⁴ c22053@utp.edu.pe

Abstract– Blockchain emerges as an innovative technology with potential applications in the healthcare sector due to its demonstrated qualities of decentralization, distribution, and data integrity. This systematic literature review (SLR), without meta-analysis, aims to analyze current perspectives and trends in blockchain interoperability for information systems in the healthcare sector, focusing on challenges and opportunities to enhance healthcare data management through this technology. Using the PICO strategy and PRISMA methodology, 25 open-access articles from Scopus and PubMed databases were reviewed, addressing blockchain interoperability and healthcare between 2020 and 2024. The results highlight those perspectives on blockchain interoperability in healthcare focus on improving efficiency and security in data exchange through a decentralized network. Furthermore, trends indicate the use of platforms and standards such as FHIR, IPFS, Ethereum, and Hyperledger to facilitate this exchange. In conclusion, this study underscores blockchain's potential to transform health data management and exchange through cryptographic mechanisms that enhance the security and efficiency of information systems. It also identifies trends and the use of these platforms and standards that contribute to achieving interoperability.

Keywords-- Interoperability, Technology, Blockchain, Information system, Health.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).
DO NOT REMOVE

Interoperabilidad de blockchain para los sistemas de información del sector salud: un análisis de tendencias y perspectivas

Junior A. Rivas- Torres¹, Bachiller en ingeniería de sistemas e informática¹, Rodrigo L. Malqui- Sifuentes², Bachiller en ingeniería de sistemas e informática², Walter Marzal- Martinez³, Mag., Vanessa D. Roque- Pisconte⁴, Mag. ^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica del Perú, ¹ u19209130@utp.edu.pe, ² u192015279@utp.edu.pe, ³ c22314@utp.edu.pe, ⁴ c22053@utp.edu.pe

Resumen- El blockchain emerge como una tecnología innovadora con aplicaciones potenciales en el sector salud debido a que se evidencian cualidades de descentralización, distribución e integridad de datos. Esta revisión sistemática de la literatura (RSL) sin meta análisis tiene como objetivo analizar las perspectivas y tendencias actuales en la interoperabilidad de blockchain para los sistemas de información en el sector salud, en donde se enfoca los desafíos y oportunidades para mejorar el manejo de datos del sector sanitario mediante esta tecnología. A través de la estrategia PICO y la metodología PRISMA, se trabajaron con 25 artículos de libre acceso de las bases de datos Scopus y Pubmed, los cuales abordaron la interoperabilidad del blockchain y el sector salud entre los años 2020 y 2024. Los resultados de las perspectivas en la interoperabilidad de blockchain en el sector salud se enfocan en la mejora de la eficiencia y seguridad en el intercambio de datos mediante una red descentralizada; por otro lado, las tendencias muestran el uso de plataformas y estándares como FHIR, FHIR, IPFS, Ethereum y Hyperledger, para facilitar este intercambio. En conclusión, este estudio resalta el potencial y las perspectivas de blockchain para transformar la gestión y el intercambio de datos de salud mediante mecanismos criptográficos que incrementan la seguridad y la eficiencia de los sistemas de información, además, identifica las tendencias y el uso de estas plataformas y estándares que ayudan a lograr la interoperabilidad.

Palabras clave-- Interoperabilidad, Tecnología, Blockchain, Sistemas de la Información, Salud.

Abstract- Blockchain emerges as an innovative technology with potential applications in the healthcare sector due to its demonstrated qualities of decentralization, distribution, and data integrity. This systematic literature review (SLR), without meta-analysis, aims to analyze current perspectives and trends in blockchain interoperability for information systems in the healthcare sector, focusing on challenges and opportunities to enhance healthcare data management through this technology. Using the PICO strategy and PRISMA methodology, 25 open-access articles from Scopus and PubMed databases were reviewed, addressing blockchain interoperability and healthcare between 2020 and 2024. The results highlight those perspectives on blockchain interoperability in healthcare focus on improving efficiency and security in data exchange through a decentralized network. Furthermore, trends indicate the use of platforms and standards such as FHIR, IPFS, Ethereum, and Hyperledger to facilitate this exchange. In conclusion, this study underscores blockchain's potential to transform health data management and exchange through cryptographic mechanisms that enhance the security and efficiency of information systems. It also identifies trends and the use of these platforms and standards that contribute to achieving interoperability.

Keywords-- Interoperability, Technology, Blockchain, Information system, Health.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el blockchain ha comenzado a introducirse en varias industrias, como las entidades gubernamentales, el sector inmobiliario, el sector financiero, entre otros. No obstante, destaca su enorme potencial en el sector de la salud [25]. Por su descentralización, distribución e integridad de datos sin intermediarios, puede mejorar la interoperabilidad, el intercambio de información, el control de acceso y la confianza entre las partes interesadas [9]. Por otro lado, esta tecnología es considerada una de las más revolucionarias de la actualidad, ya que garantiza confianza y transparencia en el ámbito digital de la salud, aspectos que son escasos [21]. Sin embargo, la complejidad de su aplicación en entornos sanitarios reales y su implementación limitada a organizaciones de menor tamaño representan desafíos de escalabilidad, integridad y interoperabilidad para su adopción a gran escala. [10]. Se han publicado numerosos estudios sobre la aplicación de blockchain en diversas áreas, que incluyen revisiones sistemáticas en sectores de la salud, donde se discuten tanto las limitaciones, las posibles aplicaciones y direcciones futuras en áreas como el gobierno y la cadena de suministro [18]. No obstante, el estudio de esta tecnología tiende a centrarse en una sola área, principalmente, la atención médica; lo que revela una carencia de estudios que aborden su implementación o enfoque en múltiples áreas de la salud de manera integral, como la gestión de registros médicos, la gestión de seguros de salud, la telemedicina, gestión de recursos humanos, entre otros. La presente revisión sistemática de la literatura (RSL) tiene como objetivo analizar las perspectivas y tendencias actuales en relación con la interoperabilidad de blockchain para los sistemas de información en el sector salud. Por lo tanto, este análisis proporciona una comprensión exhaustiva de la tecnología blockchain mediante la recopilación y el análisis de artículos académicos, como también estudios en diversas áreas de la salud, para así ofrecer una perspectiva integral de su potencial, aplicaciones, desafíos y oportunidades para mejorar la eficiencia y seguridad en el manejo de datos del sector sanitario. Este documento ha sido organizado en las siguientes secciones: La metodología sistemática del estudio, que utiliza la estrategia PICO y la metodología PRISMA, que incluyen la estrategia de búsqueda, el proceso de selección, la extracción de datos, el análisis de datos y la evaluación de la calidad de las publicaciones incluidas; los resultados se presentan con una descripción general bibliográfica y un análisis descriptivo de los datos extraídos, que incluye hallazgos sobre la implementación de blockchain en sistemas de información de salud y sus beneficios; la discusión de los resultados de la investigación, aborda las fortalezas y limitaciones de este estudio; finalmente las conclusiones del estudio, donde se resaltan los hallazgos principales,

implicaciones prácticas y recomendaciones para futuras investigaciones.

II. METODOLOGÍA

A. Estrategia de búsqueda

Esta investigación ofrece una revisión sistemática sin metaanálisis sobre la interoperabilidad del blockchain en los sistemas de información del sector de la salud. Asimismo, se implementa la metodología PICO para la elaboración de la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las perspectivas y tendencias actuales en relación con la interoperabilidad de blockchain para los sistemas de información en el sector salud?, se emplearon términos de búsqueda como “Interoperability”, “Blockchain”, “Trends”, “Perspectives”, “Information system” and “Healthcare”. Además, la información se recopiló mediante la búsqueda de las bases de datos de Scopus y PudMed. De tal modo, se realizó las siguientes fórmulas de búsqueda: “Interoperability AND Blockchain” OR “Interoperability AND Blockchain AND health*” OR “Interoperability AND Blockchain AND “Information System”. Además, se formularon los componentes y subpreguntas del método PICO, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

TABLA I. COMPONENTES DE LA ESTRATEGIA PICOC

Acrónimo	Componente	Descripción
P	Problema	Interoperabilidad ¿Cuál es la definición de interoperabilidad de blockchain?
I	Intervención	Blockchain ¿Cómo interviene la interoperabilidad de blockchain en los sistemas de información?
C	Comparación	Tendencias y perspectivas ¿Cómo se adaptan las tendencias emergentes en interoperabilidad de blockchain para abordar los desafíos del sector salud frente a soluciones tradicionales de información?
O	Resultado (Outcome)	Sistemas de información ¿En qué sistemas de información se han evidenciado resultados al implementar la inteoperabilidad de blockchain?
C	Contexto	Sector salud ¿En qué áreas del sector salud han sido objeto de estudio en relación con la interoperabilidad de blockchain?

B. Criterios de inclusión y exclusión

Después de recopilar los artículos adecuados mediante esta metodología de búsqueda, se llevó a cabo una evaluación en base a los criterios de inclusión y exclusión. A continuación, se presenta una tabla que resume estos criterios.

TABLA II CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
<p>CI1: Investigaciones que aborden específicamente la interoperabilidad de blockchain en el sector de la salud</p> <p>CI2: Estudios que analicen la interoperabilidad en sistemas de información de salud</p> <p>CI3: Investigaciones que aborden las opiniones de ingenieros del área de TI sobre la adopción de blockchain para mejorar la interoperabilidad en el sector de la salud</p> <p>CI4: Investigaciones no menores a 5 años de antigüedad</p>	<p>CE1: Artículos que no estén publicados en revistas científicas</p> <p>CE2: Estudios que no sean accesibles en su totalidad (“Open access”)</p> <p>CE3: Publicaciones que traten sobre aspectos generales de blockchain sin abordar específicamente su interoperabilidad en sistemas de salud</p> <p>CE4: Investigaciones que no estén en el idioma inglés y español</p>

C. Proceso de selección de estudio

La presente investigación siguió un proceso de selección, en donde, se obtuvo un total de 753 resultados de las diferentes bases de datos utilizadas, como PubMed y Scopus. Sin embargo, se siguió la metodología PRISMA con la cual se identificaron y eliminaron 3 artículos duplicados que se encontraron en Scopus y PubMed. Posteriormente, tras revisar los títulos, resúmenes y palabras claves se tomaron 118 artículos relacionados con el tema y se recuperaron 109 artículos a texto completo. Luego, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión señalados en la tabla anterior, quedaron 88 artículos según el primer criterio. Además, el segundo criterio seleccionó 76 artículos. Asimismo, el tercer criterio dejó 71 artículos seleccionados. Por último, el cuarto criterio redujo el número a 65 artículos disponibles. En cuanto a los criterios de exclusión, el primer criterio excluyó 10 artículos, que dejó 55 restantes. Además, el segundo criterio eliminó 9 artículos, lo que rebajó el total a 46. Igualmente, el tercer criterio excluyó 19 artículos, y se disminuyó el número a 27. Tras esto, se excluyeron 2 más. Finalmente, fueron 25 artículos los que cumplieron con los requisitos para configurar la presente revisión sistemática de la literatura (RSL).

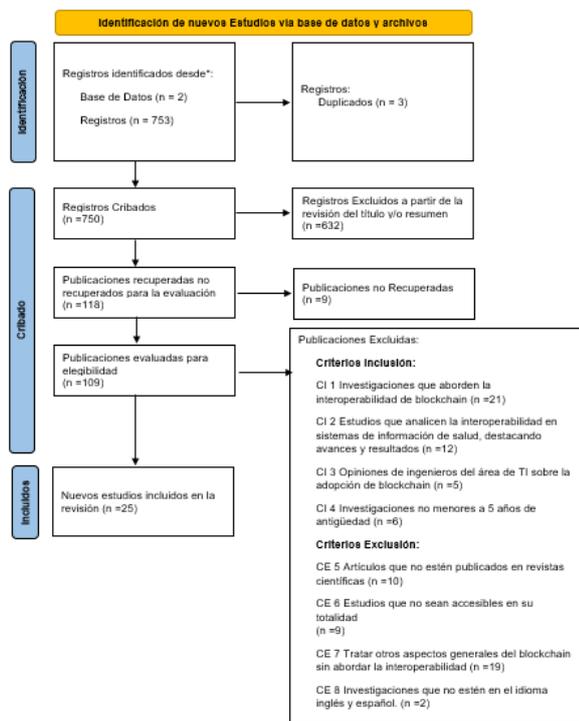


Fig. 1. Diagrama de flujo PRISMA

III. RESULTADOS

Los resultados se han estructurado bajo el esquema del problema de Interoperabilidad de blockchain para los sistemas de información del sector salud: un análisis de tendencias y perspectivas. Para esta investigación se emplearon 25 artículos categorizados en temas relevantes como la interoperabilidad, blockchain, tendencias y perspectivas, sistemas de información y sector salud. En base a esto, se logró estructurar un análisis detallado que aborda los beneficios, la eficiencia en su implementación y las herramientas o estándares que se pueden utilizar. Estos estudios detallan las tendencias y perspectivas que existen al implementar esta tecnología en el sector salud.

En la tabla III se presenta los artículos seleccionados según su año de publicación y la sección temática correspondiente.

TABLA III. RESUMEN DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Referencias	Año	Temática
[2],[4],[6],[7]	2020, 2021, 2023, 2024	Comprensión de la interoperabilidad en Blockchain
[10],[15],[17],[18],[20]	2022, 2023	Plataformas y estándares usados
[3],[11],[12],[13],[16],[19]	2020, 2023	Ventajas brindadas por la interoperabilidad
[8],[9],[14],[21],[24]	2020, 2021, 2022, 2024	Hallazgos en la implementación y
[1],[5],[22],[23],[25]	2021, 2022, 2023, 2024	Áreas tratadas para la implementación.

Esta tabla III resume artículos sobre interoperabilidad en Blockchain según temas y años de publicación. Aborda la comprensión teórica (2020-2024), plataformas y estándares (2022-2023), ventajas económicas y técnicas (2020, 2023), y la implementación práctica con áreas de aplicación (2020-2024). Esto revela cómo la investigación avanza desde la teoría hacia la práctica, que explora tecnologías, beneficios y desafíos en la integración de diferentes redes Blockchain. Es evidente un enfoque progresivo desde la comprensión conceptual hasta la implementación efectiva de soluciones interoperables, esenciales para la evolución y adopción de Blockchain.

Después del análisis de las fuentes mencionadas, se puede responder la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las perspectivas y tendencias actuales en relación con la interoperabilidad de blockchain para los sistemas de información en el sector salud?

La interoperabilidad de blockchain en el sector salud muestra un aumento de interés y desarrollo, con un enfoque hacia la mejora de la eficiencia, transparencia y coordinación de la atención médica, asimismo, se ha observado el uso frecuente de plataformas y estándares específicos como FHIR, IPFS, Ethereum y Hyperledger para lograr la interoperabilidad en este sector que apuntan a su potencial de transformar la forma en que se manejan y comparten los datos de salud. Estas perspectivas y tendencias actuales sobre la interoperabilidad de blockchain en sistemas de información del sector salud se centran en facilitar el intercambio seguro y eficiente de datos mediante plataformas y estándares como FHIR, IPFS, Ethereum y Hyperledger [9], [7], [10], [15], [17], [18], [20]. Además, esta tecnología mejora la seguridad de los sistemas de información mediante mecanismos criptográficos, incrementa la eficiencia, transparencia y coordinación de la atención médica [2]-[4], [6], [11]-[13], [16], [19].

En el marco de profundizar y entender esta tecnología, a continuación, se analizará la comprensión semántica de la interoperabilidad en blockchain.

D. Compresión semántica de la Interoperabilidad en Blockchain

La interoperabilidad en el ámbito del blockchain se refiere a la habilidad que posee diversas plataformas de esta misma para interactuar y comunicarse sin requerir intermediarios [7]. Por otro lado, se refiere a la capacidad de diversos sistemas basados en esta tecnología para transferir datos manera eficiente y efectiva [4]. Por otro lado, esta característica es crucial para facilitar el intercambio seguro de datos y activos digitales en sectores como la salud [6]. Específicamente, en hospitales e instituciones dedicadas a la investigación, en la cual esta red descentralizada permite una comunicación segura haciendo uso de estándares uniformes [2].

El problema se basa en la falta de integración y la centralización en sistemas críticos del sector salud [2], [7]. Esto limita la comunicación, disponibilidad y seguridad de los intercambios de datos entre diferentes entidades dentro del sistemas de la salud, lo que tiene un impacto considerable en la eficiencia y la confianza de este sector.

A continuación, se presenta la Tabla IV que resume las compresiones de la interoperabilidad relacionadas con

blockchain, así como los problemas específicos que abordan y el año en la cual se publicó el artículo de investigación.

TABLA IV. RESUMEN DE LAS DEFINICIONES DE BLOCKCHAIN

Referencias	Año	Definición	Problema
[7]	2021	Interacción sin Intermediarios	La mayoría sistemas de telesalud y medicina enfrentan desafíos debido a que están centralizados.
[6]	2020	Intercambio seguro de datos y activos digitales	Se evidencia que el intercambio de datos es un entorno que no proporciona confianza.
[4]	2023	Transferencia de datos segura y eficiente.	Se observa la carencia de un formato estandarizado de codificación de datos, así como la complejidad de gestionar datos heterogéneos en IoT.
[2]	2024	Comunicación con uso de Estándares.	Dificultad para la integración y modernización de los sistemas sanitarios, debido a marcos legales y regulatorios.

La Tabla IV muestra cómo las definiciones y los problemas asociados con la interoperabilidad en blockchain han evolucionado de 2020 a 2024. A pesar de los avances tecnológicos, persisten desafíos significativos como la centralización en sistemas de telesalud y medicina, la falta de confianza en el intercambio seguro de datos, la ausencia de estándares para la codificación de datos y las barreras regulatorias [2], [4], [6], [7]. Cada problema impacta de manera única en la eficiencia y la confianza en los sistemas sanitarios, así que es crucial abordar estos aspectos para mejorar la interoperabilidad en el sector.

E. Plataformas y Estándares usados en el Blockchain

Se utilizan diversas plataformas en la implementación del blockchain en sistemas sanitarios como Hyperledger Sawtooth para gestionar permisos y control de acceso a los registros electrónicos de salud (EHR), la cual crean un sistema interoperable, seguro y eficiente para la gestión de información en el sector sanitario [10]. No obstante, la mayoría de los estudios centrados en el almacenamiento de EHR provenientes de institutos médicos, destacan que muchos artículos utilizan la plataforma Ethereum como solución [18]. Las EMR también utilizan esta plataforma para mitigar la fuga de datos, además, que el uso del estándar Health Level Seven Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) facilita el intercambio de estos de manera segura [17]. Es necesario destacar, que el blockchain y el estándar FHIR abordan problemas de interoperabilidad y facilitan el intercambio de datos médicos entre proveedores de atención médica [20]. Asimismo, la producción de documentos sobre este estándar y el blockchain son mayormente producidos en los Estados Unidos [15]. La Tabla V detalla las plataformas y estándares utilizados en blockchain según diferentes estudios, destacando la relevancia de cada uno.

La tabla V detalla las plataformas y estándares utilizados en blockchain según diferentes estudios. Asimismo, se resalta la relevancia de cada uno, como también el país donde se llevó a cabo la investigación.

TABLA V. PLATAFORMAS Y ESTÁNDARES UTILIZADOS EN BLOCKCHAIN

Referencia	Origen del estudio	Plataforma/Estándar mencionado	Aplicación
[10]	Australia	Hyperledger Sawtooth	Gestiona permisos y control de acceso
[18]	Nueva Zelanda	Ethereum	Gestiona los datos de manera segura, como el control de acceso.
[17]	Malasia	FHIR	Facilita el intercambio de datos
[20]	Dinamarca	FHIR	Aborda problemas de interconexión
[15]	India	FHIR	Al emparejarse con blockchain mejora el intercambio de datos.

La tabla V presenta un resumen de plataformas y estándares utilizados en aplicaciones de blockchain en diversos países, junto con su relevancia según el estudio mencionado. Por ejemplo, en Australia se emplea Hyperledger Sawtooth para gestionar permisos y control de acceso, mientras que en Nueva Zelanda se utiliza Ethereum para asegurar datos, incluido el control de acceso. Por otro lado, se menciona de manera repetitiva el estándar FHIR en distintos países: Malasia, Dinamarca e India. En Malasia, FHIR se utiliza para facilitar el intercambio de datos entre sistemas de salud, enfocado en mejorar la interoperabilidad. En Dinamarca, se emplea para abordar problemas de interconexión entre plataformas de salud. En India, la combinación de FHIR con blockchain mejora el intercambio seguro de datos médicos. Cada país adapta FHIR según sus necesidades locales, para garantizar la seguridad y la confianza en la gestión de datos de salud, aunque con enfoques específicos en interoperabilidad, interconexión y seguridad de datos respectivamente.

F. Tendencias y perspectivas para la interoperabilidad del Blockchain

Los sistemas que han implementado blockchain tienen el potencial de reducir costos, eliminar intermediarios en el sector de la atención médica, facilitar la integración de sistemas previamente desconectados y mejorar la evaluación del valor de la atención médica, lo cual podría aumentar la productividad y mejorar los resultados de salud para los pacientes mediante una red estatal de cadenas de bloques para la información médica electrónica [16]. Los beneficios que se obtienen son la mejora de la privacidad y seguridad del paciente [3]. Estas soluciones basadas en esta tecnología también ofrecen simplificar el intercambio de información de diferentes entidades [11], [12]. Su integración con el IoT no solo promete solucionar sus problemas inherentes, sino también establece un medio seguro y verificable para almacenar datos procesados por dispositivos inteligentes [13]. Por otro lado, los sistemas centralizados en la nube no garantizan la integridad y seguridad de los datos debido a su dependencia de una sola autoridad, mientras que las cadenas de bloques autorizadas permiten un intercambio seguro entre varias organizaciones participantes [19].

En la tabla VI se destacan las tendencias y perspectivas de la interoperabilidad del blockchain, así como los sistemas o entidades que han sido beneficiados.

TABLA VI. TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS DEL BLOCKCHAIN

Referencia	Tendencias y perspectivas	Entidades/Sectores beneficiados
[16]	Reducción de costos, eliminación de intermediarios.	Atención médica
[11], [12]	Facilita el intercambio de información.	Entidades médicas
[3]	Incremento en la privacidad y seguridad de los datos	Atención médica
[13]	Aumento de la seguridad y verificación de datos en IoT.	Dispositivos inteligentes, IoT
[19]	Mayor seguridad y confianza en la integridad de los datos con blockchain autorizada.	Varias organizaciones participantes en la atención médica

La tabla VI compara diversas tendencias y perspectivas de la interoperabilidad del blockchain y sus impactos en sectores específicos. En el sector de la atención médica, el blockchain no solo promueve la reducción de costos y la eliminación de intermediarios [16], sino que también facilita el intercambio seguro de información entre entidades médicas [11], [12] y mejora la privacidad y seguridad de los datos del paciente [3]. Por otro lado, en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), la tecnología blockchain asegura la verificación y seguridad de los datos generados por dispositivos inteligentes [13], mientras que las cadenas de bloques autorizadas proporcionan un entorno seguro para el intercambio de datos entre múltiples organizaciones en el sector de la salud [19]. En conjunto, estas aplicaciones destacan el potencial transformador del blockchain en la optimización de procesos, seguridad de datos y colaboración entre diferentes entidades en sectores críticos como la atención médica y el IoT.

G. Hallazgos en la implementación del Blockchain

La integración de blockchain en el sector salud ha optimizado notablemente la gestión de datos al proporcionar acceso seguro y auditable a los registros médicos electrónicos (EMR), de manera que disminuye las redundancias y mejora la eficiencia en la gestión de datos [8]. Por lo que, es esencial para la eficiente integración de sistemas, lo cual garantiza la accesibilidad y la seguridad de los datos [9]. Asimismo, el blockchain mejora la interoperabilidad de los sistemas EMR, por lo cual existe un intercambio seguro y eficiente de información, además protege la privacidad del paciente [14]. En cuanto, su implementación en registro de salud pública (PHR) permite mejorar la interoperabilidad y seguridad de los datos mediante el cifrado y control limitado de acceso a la información [21]. Por otro lado, la referencia [24] propuso el marco de interoperabilidad Healthchain que demuestran la capacidad para mejorar la escalabilidad mediante el almacenamiento de hashes de registros médicos en cadena y datos cifrados fuera de la cadena en IPFS, además maneja grandes conjuntos de datos con latencias inferiores a 60 segundos.

La tabla VII muestra los hallazgos obtenidos tras la integración de esta tecnología en los sistemas de información.

TABLA VII. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACION DE BLOCKCHAIN

Referencia	Objeto intervenido	Resultado de intervención
[8]	EMR	Disminuye redundancias y mejora la eficiencia de gestión de datos
[9]	Sistemas de Información	Garantiza la accesibilidad y seguridad de datos
[14]	EMR	Mejora la interoperabilidad
[21]	PHR	Mejora Interoperabilidad y seguridad
[24]	Registros médicos	Mejora la escalabilidad

En la tabla VII se presenta los resultados de la integración de blockchain en diferentes sistemas de información en la salud. Según lo señalado en la tabla, esta tecnología ha demostrado que reduce de manera significativa las redundancias, por lo que, la gestión de datos es más eficiente en los registros médicos electrónicos (EMR), asimismo, se ha identificado una mejora en la interoperabilidad [8], [14]. Del mismo modo, en los registros de salud personal (PHR), se puede observar un avance notable en la interoperabilidad y seguridad de la información. Por otro lado, los registros médicos según la referencia [24], señala una mejora en la escalabilidad, lo cual es un punto importante en toda organización. Finalmente, en términos de sistemas de información, esta tecnología garantiza la accesibilidad como la seguridad de los datos [9]. Estos resultados destacan como blockchain aborda de manera efectiva los desafíos de interoperabilidad y otros aspectos críticos en el sector salud.

H. Áreas tratadas para el uso del Blockchain

Ref. [25] indica que hay investigaciones en la implementación del blockchain en áreas específicas y han sido distribuidas con el 48% a la gestión de EHR siendo el mayor valor, 21 % en Análisis de datos y otros, un 15 % en Investigaciones Biomédicas, un 11 % en el monitoreo remoto de pacientes y un 5% en la cadena de suministros. Por otro lado, recientes investigaciones se han realizado para implementar exitosamente sistemas de Datos del Mundo Real (RWD) basados en esta tecnología en donde este debe integrarse correctamente con los sistemas sanitarios existentes para lograr la interoperabilidad [22]. En áreas generales, el estudio de la sinergia entre la IA, IoT y blockchain mejora la seguridad y privacidad en la atención médica al facilitar su transmisión e interpretar la información eficaz mediante el aprendizaje automático [23]. Asimismo, se realizó un estudio debido a la necesidad de mejorar la privacidad de los datos y la interoperabilidad de los sistemas de gestión de la salud [5]. Por último, la implementación de esta tecnología en la gestión odontológica hizo énfasis en sus beneficios potenciales en el intercambio de datos y la seguridad [1].

La tabla VIII presenta un resumen de los motivos de la investigación y las áreas tratadas en los diferentes artículos mencionados.

TABLA VIII. MOTIVOS DE ESTUDIO POR AREA INVESTIGADA

Referencia	Area investigada	Motivo del estudio
[25]	EHR 48%, 21 % Análisis de datos, 15 % Investigaciones, 11 % Biomédicas y 5% monitoreo remoto de pacientes	Identificar las áreas con mayor número de investigación
[22]	RWD	Lograr interoperabilidad en sistemas sanitarios
[23]	IA, IoT y blockchain	Facilitar transmisión
[5]	Gestión de la salud	Mejorar privacidad de datos e interoperabilidad
[1]	Gestión odontológica	Enfatizar intercambio de datos y seguridad

La tabla VIII resume la implementación del blockchain en diversas áreas del sector salud, según varios estudios citados. Se destaca que el 48% de las investigaciones se enfoca en la gestión de registros electrónicos de salud (EHR), seguido por un 21% en análisis de datos, un 15% en investigaciones biomédicas, y un 11% en monitoreo remoto de pacientes. Otros estudios buscan mejorar la interoperabilidad de los Datos del Mundo Real (RWD) en sistemas sanitarios, integrar la inteligencia artificial (IA), el Internet de las cosas (IoT) y blockchain para asegurar la transmisión eficiente de información médica, y aplicar blockchain en la gestión odontológica para fortalecer la seguridad y el intercambio de datos en este ámbito específico. Estos resultados resaltan la importancia del blockchain en fortalecer la privacidad de datos, mejorar la interoperabilidad entre sistemas de salud, y optimizar la gestión de la información clínica.

IV. DISCUSIÓN

En esta revisión, se identifican perspectivas prometedoras sobre la interoperabilidad de blockchain en el sector salud, tales como la mejora en la seguridad de los datos, la facilidad de transmisión entre entidades médicas, y la integración de tecnologías emergentes como IA, IoT y cloud, además, se resalta tendencias clave que incluyen la creciente adopción de esta tecnología en diversas áreas de la salud, así como la necesidad de establecer estándares y plataformas para asegurar una interoperabilidad eficaz. Los beneficios de esta tecnología incluyen la mejora en la eficiencia de los procesos administrativos y clínicos [2]-[4], [6], así como un incremento en la transparencia y seguridad de los datos de salud debido a la inmutabilidad y los mecanismos criptográficos de blockchain [11]-[13], [16], [19]. Es por ello que, las tendencias actuales muestran un creciente uso de plataformas y estándares como FHIR, IPFS, Ethereum y Hyperledger [7], [9], [10], [15], [17], [18], [20], y un interés en integrar blockchain con tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas para mejorar la gestión de datos de salud [1], [5], [22], [23], [25].

Se comprende que la interoperabilidad de blockchain es crucial para mejorar la eficiencia y seguridad en los sistemas sanitarios, ya que permite el intercambio de datos entre plataformas y estándares sin la necesidad de terceros. Sin embargo, enfrenta diversos desafíos como la centralización de los sistemas, la poca confianza en los intercambios de datos y los marcos regulatorios. Blockchain aborda estos problemas al proporcionar una red descentralizada que permite la interacción y comunicación entre diversas plataformas sin necesidad de intermediarios [7]. Esto no solo mejora la eficiencia y seguridad en la transferencia de datos, sino que también facilita el intercambio seguro de datos y activos digitales [4][6]. Además, esta tecnología ayuda a superar las barreras regulatorias y legales que dificultan la modernización de los sistemas del sector salud [2].

En esta revisión, se identificaron diversas plataformas y estándares como Hyperledger, Ethereum, FHIR, los cuales se centran en la interoperabilidad y la seguridad de la gestión clínica. Por un lado, la plataforma Hyperledger Sawtooth se emplea para gestionar permisos y controlar el acceso a los EHR [10]. Así mismo, Ethereum se destaca por su uso predominante en la mayoría de los estudios sobre EHR, debido a su eficiencia en la seguridad de los datos [18]. Por otro lado, esta plataforma al integrarse con el estándar FHIR garantiza la facilidad y seguridad en el intercambio de datos [17].

La implementación de blockchain en sectores como la atención médica y el IoT presenta importantes beneficios como la disminución de costos, eficiencia de procesos, mejora en la seguridad y privacidad. En salud, el blockchain reduce costos y elimina intermediarios, mejorando la eficiencia y la privacidad de los datos de los pacientes [16], [3]. Facilita el intercambio seguro de información entre entidades médicas, optimizando tratamientos y resultados [11], [12]. En el IoT, asegura y verifica los datos de dispositivos inteligentes [13]. Por otro lado, La cadena de bloques autorizada ofrece un intercambio de datos seguro entre múltiples organizaciones, que supera las limitaciones de los sistemas centralizados en la nube [19].

Desarrollar los sistemas de salud con blockchain garantiza impactos positivos en la gestión, como la eficiencia, seguridad e interoperabilidad en el sector. La integración de esta tecnología en el sector salud, según los hallazgos presentados, ofrece una serie de beneficios significativos. Se ha observado que reduce las redundancias y mejora la eficiencia en la gestión de registros médicos electrónicos (EMR), y así asegura un acceso seguro y auditable a la información [8]. Además, mejora la interoperabilidad de los sistemas EMR, lo que facilita un intercambio seguro de datos entre diferentes entidades de salud [14]. En el ámbito de los registros de salud personal (PHR), blockchain también muestra avances notables al mejorar tanto la interoperabilidad como la seguridad de la información mediante técnicas avanzadas de cifrado y control de acceso [21]. Es importante destacar el marco Healthchain propuesto que consiste en la capacidad de blockchain para mejorar la escalabilidad y manejar grandes volúmenes de datos con eficiencia [24].

La interoperabilidad y el intercambio de datos son aspectos importantes en la implementación de la tecnología blockchain para los sistemas de información del sector salud. La adecuada integración de esta tecnología con los sistemas sanitarios existentes es esencial para lograr la

interoperabilidad de los Sistemas de Datos del Mundo Real (RWD) [22]. Además, numerosos estudios se han centrado en mejorar la interoperabilidad de los sistemas de gestión de la salud, lo cual subraya su importancia para la efectividad y eficiencia de las aplicaciones basadas en blockchain [5]. Por otro lado, la referencia [23] se centra en la transmisión segura de datos médicos en general, mientras que la referencia [1] se enfoca en el intercambio seguro de datos odontológicos.

V. CONCLUSIONES

La interoperabilidad de blockchain en el sector salud muestra tendencias y perspectivas, que mejoran la seguridad de los datos y facilitan la transmisión entre entidades médicas. Además, la adopción de esta tecnología está en aumento, integrándose con tecnologías emergentes como IA y IoT, lo que destaca su potencial para transformar la gestión de datos de salud y mejorar la eficiencia de los procesos administrativos y clínicos.

Blockchain aborda problemas de centralización, falta de confianza y barreras regulatorias en el sector salud, que permiten un intercambio de datos seguro y eficiente entre plataformas sin intermediarios. Cabe resaltar, que no solo mejora la seguridad y eficiencia en la transferencia de datos, sino que también facilita la modernización del sistema sanitario.

Además, las plataformas y estándares como Hyperledger, Ethereum y FHIR son esenciales para la interoperabilidad y seguridad en la gestión clínica. Por otro lado, Hyperledger gestiona permisos y accesos a registros médicos, mientras que Ethereum es eficaz en la seguridad de datos, y su integración con FHIR garantiza un intercambio de datos seguro, de manera que resaltan la importancia de estas tecnologías en la gestión clínica.

La implementación de blockchain en la atención médica y el IoT ofrece beneficios, como reducción de costos, mayor eficiencia y mejora en la seguridad y privacidad de los datos. Asimismo, facilita el intercambio seguro de información entre entidades médicas y asegura los datos de dispositivos inteligentes, de tal manera, supera las limitaciones de los sistemas centralizados.

La adopción de blockchain en sistemas de salud mejora la eficiencia, seguridad e interoperabilidad. Además, reduce las redundancias y optimiza la gestión de registros médicos electrónicos (EMR) y personales (PHR) mediante técnicas avanzadas de cifrado y control de acceso, lo que mejora la escalabilidad y gestión eficiente de grandes volúmenes de datos.

La interoperabilidad y el intercambio de datos son cruciales para la implementación de blockchain en sistemas de información de salud. La integración adecuada de blockchain con sistemas sanitarios existentes es esencial para lograr la interoperabilidad de los Sistemas de Datos del Mundo Real (RWD), lo cual mejora la efectividad y eficiencia de las aplicaciones basadas en blockchain.

Para futuras investigaciones sobre la interoperabilidad de blockchain en el sector salud, se recomienda abordar la integración de estándares como FHIR en entornos blockchain para optimizar el intercambio seguro de datos médicos entre plataformas. Asimismo, es importante explorar como los sistemas descentralizados pueden manejar de manera efectiva la seguridad y privacidad de datos sensibles en este sector, a pesar de presentar desafíos normativos y de confianza.

Además, se debe profundizar la integración de esta tecnología con IA y IoT para maximizar su potencial en la gestión sanitaria.

VI. REFERENCIAS

- [1] N. A. Ingle, R. A. Aloraini, R. S. Aljohany, F. M. Samater, A. A. Ageil, and M. M. Alshahrani, "Implementation of Blockchain Technology Across Different Domains of Dentistry: A Systematic Review," **Cureus**, Sep. 2023, doi: 10.7759/cureus.45512.
- [2] H. Treiblmaier et al., "Harnessing Blockchain to Transform Healthcare Data Management," **Blockchain In Healthcare Today**, vol. 7, no. 1, Apr. 2024, doi: 10.30953/bhty.v7.301.
- [3] T. Mokhamed, M. A. Talib, M. A. Moufti, S. Abbas, and F. Khan, "The Potential of Blockchain Technology in Dental Healthcare: A Literature Review," **Sensors**, vol. 23, no. 6, p. 3277, Mar. 2023, doi: 10.3390/s23063277.
- [4] H. Malik, T. Anees, M. Faheem, M. U. Chaudhry, A. Ali, and M. N. Asghar, "Blockchain and Internet of Things in smart cities and drug supply management: Open issues, opportunities, and future directions," **Internet Of Things**, vol. 23, p. 100860, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100860.
- [5] S. B. Junaid et al., "Recent Advancements in Emerging Technologies for Healthcare Management Systems: A Survey," **Healthcare**, vol. 10, no. 10, p. 1940, Oct. 2022, doi: 10.3390/healthcare10101940.
- [6] G. Bigini, V. Freschi, and E. Lattanzi, "A Review on Blockchain for the Internet of Medical Things: Definitions, Challenges, Applications, and Vision," **Future Internet**, vol. 12, no. 12, p. 208, Nov. 2020, doi: 10.3390/fi12120208.
- [7] R. W. Ahmad, K. Salah, R. Jayaraman, I. Yaqoob, S. Ellahham, and M. Omar, "The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 148, p. 104399, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2021.104399.
- [8] P. E. Velmovitsky, F. M. Bublitz, L. X. Fadrique, and P. P. Morita, "Blockchain Applications in Health Care and Public Health: Increased Transparency," *JMIR Medical Informatics*, vol. 9, no. 6, p. e20713, Jun. 2021, doi: 10.2196/20713.
- [9] A. Hasselgren, K. Kravevska, D. Gligoroski, S. A. Pedersen, and A. Faxvaag, "Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 134, p. 104040, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2019.104040.
- [10] I. C. A. Pílares, S. Azam, S. Akbulut, M. Jonkman, and B. Shanmugam, "Addressing the Challenges of Electronic Health Records Using Blockchain and IPFS," *Sensors*, vol. 22, no. 11, p. 4032, May 2022, doi: 10.3390/s22114032.
- [11] R. P. Puneeth and G. Parthasarathy, "Survey on Security and Interoperability of Electronic Health Record Sharing Using Blockchain Technology," *Acta Informatica Pragensia*, vol. 12, no. 1, pp. 160–178, Apr. 2023, doi: 10.18267/j.aip.187.
- [12] R. Tertulino, N. Antunes, and H. Morais, "Privacy in electronic health records: a systematic mapping study," *Journal of Public Health*, vol. 32, no. 3, pp. 435–454, Mar. 2024, doi: 10.1007/s10389-022-01795-z
- [13] P. Hegde and P. K. R. Maddikunta, "Amalgamation of Blockchain with resource-constrained IoT devices for healthcare applications – State of art, challenges and future directions," *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, vol. 4, pp. 220–239, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ijcce.2023.06.002.
- [14] S. Kumarswamy and P. A. Sampigerayappa, "A Review of Blockchain Applications and Healthcare Informatics," *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 267–287, 2024, doi: 10.18280/ijssse.140127.
- [15] G. Anand and D. Sadhna, "Electronic health record interoperability using FHIR and blockchain: A bibliometric analysis and future perspective," *Perspectives in Clinical Research*, vol. 14, no. 4, pp. 161–166, 2023, doi: 10.4103/picr.picr_272_22.

- [16] A. J. D. P. Isravel, K. M. Sagayam, B. Bhushan, Y. Sei, and J. Eunice, "Blockchain for healthcare systems: Architecture, security challenges, trends and future directions," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 215, 2023, doi: 10.1016/j.jnca.2023.103633.
- [17] D. Elangovan et al., "The Use of Blockchain Technology in the Health Care Sector: Systematic Review," *JMIR Medical Informatics*, vol. 10, no. 1, p. e17278, Jan. 2022, doi: 10.2196/17278.
- [18] A. A. Mamun, S. Azam, and C. Gritti, "Blockchain-Based Electronic Health Records Management: A Comprehensive Review and Future Research Direction," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 5768–5789, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3141079.
- [19] I. Abu-elezz, A. Hassan, A. Nazeemudeen, M. Househ, and A. Abd-alrazaq, "The benefits and threats of blockchain technology in healthcare: A scoping review," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 142, 2020, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104246.
- [20] E. Negro-Calduch, N. Azzopardi-Muscat, R. S. Krishnamurthy, and D. Novillo-Ortiz, "Technological progress in electronic health record system optimization: Systematic review of systematic literature reviews," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 152, 2021, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2021.104507.
- [21] A. Thakur, "A Comprehensive Study of the Trends and Analysis of Distributed Ledger Technology and Blockchain Technology in the Healthcare Industry," *Frontiers in Blockchain*, vol. 5, 2022, doi: 10.3389/fbloc.2022.844834.
- [22] V. Milone, A. Fusco, A. de Feo, and M. Tatullo, "Clinical Impact of 'Real World Data' and Blockchain on Public Health: A Scoping Review," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 21, no. 1, p. 95, Jan. 2024, doi: 10.3390/ijerph21010095.
- [23] H. Fatoum, S. Hanna, J. D. Halamka, D. C. Sicker, P. Spangenberg, and S. K. Hashmi, "Blockchain Integration with Digital Technology and the Future of Health care Ecosystems: Systematic review," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 23, no. 11, p. e19846, Nov. 2021, doi: 10.2196/19846.
- [24] S. Chentharu, K. Ahmed, H. Wang, F. Whittaker, and Z. Chen, "Healthchain: A novel framework on privacy preservation of electronic health records using blockchain technology," *PLOS ONE*, vol. 15, no. 12, p. e0243043, Dec. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0243043.
- [25] Y. Singh, M. A. Jabbar, S. Kumar Shandilya, O. Vovk, and Y. Hnatiuk, "Exploring applications of blockchain in healthcare: road map and future directions," *Frontiers in Public Health*, vol. 11, 2023, doi: 10.3389/fpubh.2023.1229386.