



ARTICULO ESPECIAL

Blockchain en salud: transformando la seguridad y la gestión de datos clínicos



Marc Albiol-Perarnau^{a,*} e Iris Alarcón Belmonte^b

^a Grup de Salut Digital CAMFiC, Barcelona, España; Medicina Familiar y Comunitaria, Gerència Territorial Metropolitana Sud, Institut Català de la Salut, Barcelona, España

^b Grup de Salut Digital CAMFiC, Barcelona, España; Servei d'Atenció Primària Dreta i Muntanya, Gerència Territorial Barcelona ciutat, Institut Català de la Salut, Barcelona, España

Recibido el 25 de octubre de 2023; aceptado el 11 de diciembre de 2023

Disponible en Internet el 15 de enero de 2024

PALABRAS CLAVE

Blockchain;
Atención sanitaria;
Intercambio de datos clínicos;
Historias clínicas personales;
Gestión de datos sanitarios;
Historias clínicas electrónicas

KEYWORDS

Blockchain;
Healthcare;
Clinical data sharing;
Personal health records;

Resumen

Introducción: Los avances tecnológicos continúan transformando la sociedad, incluyendo el sector de la salud. La naturaleza descentralizada y verificable de la tecnología *blockchain* presenta un gran potencial para abordar desafíos actuales en la gestión de datos sanitarios.

Discusión: Este artículo indaga sobre cómo la adopción generalizada de *blockchain* se enfrenta a importantes desafíos y barreras que deben abordarse, como la falta de regulación, la complejidad técnica, la salvaguarda de la privacidad y los costos tanto económicos como tecnológicos. La colaboración entre profesionales médicos, tecnólogos y legisladores es esencial para establecer un marco normativo sólido y una capacitación adecuada.

Conclusión: La tecnología *blockchain* tiene potencial de revolucionar la gestión de datos en el sector de la salud, mejorando la calidad de la atención médica, empoderando a los usuarios y fomentando la compartición segura de datos. Es necesario un cambio cultural y regulatorio, junto a más evidencia, para concluir sus ventajas frente a las alternativas tecnológicas existentes.

© 2023 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Blockchain in health: Transforming security and clinical data management

Abstract

Introduction: Technological advances continue to transform society, including the health sector. The decentralized and verifiable nature of blockchain technology presents great potential for addressing current challenges in healthcare data management.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: marcalbiolperarnau@gmail.com (M. Albiol-Perarnau).

Health data management;
Electronic health records

Discussion: This article reports on how the generalized adoption of blockchain faces important challenges and barriers that must be addressed, such as the lack of regulation, technical complexity, safeguarding privacy, and economic and technological costs. Collaboration between medical professionals, technologists and legislators is essential to establish a solid regulatory framework and adequate training.

Conclusion: Blockchain technology has the potential to revolutionize data management in the healthcare sector, improving the quality of medical care, empowering users, and promoting the secure sharing of data, but an important cultural change is needed, along with more evidence, to reveal its advantages in front of the existing technological alternative.

© 2023 The Authors. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Los avances tecnológicos de las últimas décadas han transformado nuestras vidas radicalmente en muchos aspectos, y el sector de la salud no es una excepción. En un mundo en constante innovación, la búsqueda de efectividad y eficiencia en el ámbito médico ha promovido la adopción de diversas herramientas y soluciones tecnológicas. En este contexto, el enfoque central de este artículo es hablar sobre un avance prometedor: el potencial de la tecnología *blockchain*. A medida que exploramos los horizontes de esta novedosa relación, descubriremos cómo la naturaleza descentralizada, segura e inmutable de *blockchain* tiene el potencial de superar desafíos actuales y redefinir la manera en que se almacenan, comparten y gestionan los datos de salud.

La búsqueda se realizó con el objetivo de identificar la evidencia científica disponible sobre el uso de la tecnología *blockchain* en el sector de la salud. Para ello, se utilizaron las palabras clave del artículo, registradas como *Medical Subject Headings*, que incluyen «*Blockchain*» y «*Healthcare*», en las diferentes bases de datos. Las plataformas utilizadas para la búsqueda bibliográfica fueron PubMed, Scopus y Google Scholar. Para el estudio, se seleccionaron preferentemente revisiones sistemáticas y *scoping reviews*, que proporcionan una visión general de la literatura existente. También se complementaron los resultados con otros artículos citados por los previos, a través de las plataformas de búsqueda bibliográfica. Los artículos seleccionados abordaron una amplia gama de temas relacionados con el uso de la tecnología *blockchain* y salud. Sin embargo, es importante señalar la escasez de evidencia científica concluyente en torno a la tecnología *blockchain*, y su utilidad en general y en el sector de la salud, requiriendo más investigaciones para evaluar plenamente su potencial comparada con las alternativas existentes.

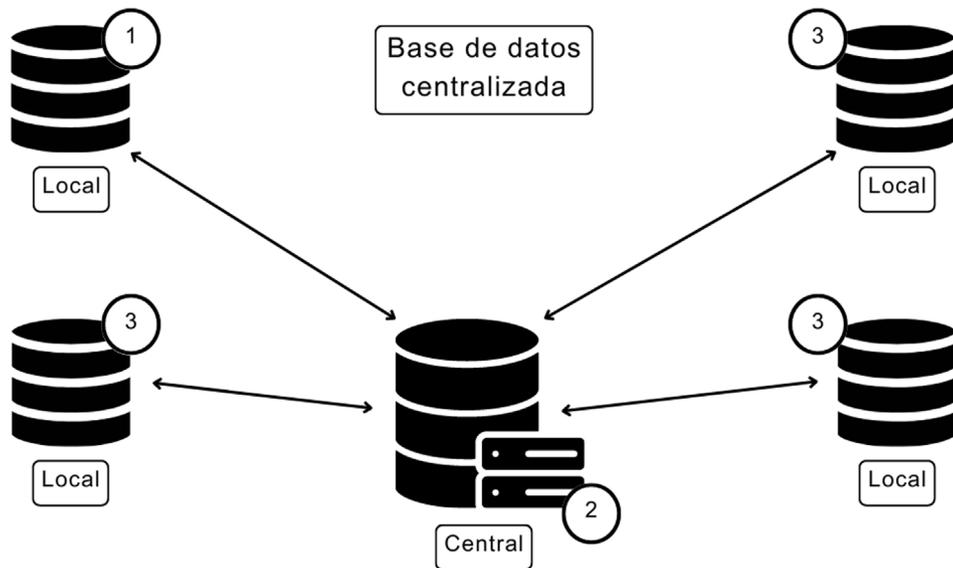
Fundamentos de la tecnología *blockchain*

La tecnología *blockchain* permite disponer de una base de datos distribuida y descentralizada (figs. 1 y 2), formada por cadenas de bloques diseñadas para evitar su

modificación una vez que un dato ha sido publicado; se utiliza un sello de tiempo confiable y se enlaza a un bloque anterior, permitiendo la transferencia de activos y datos de manera comprobable y confiable. Este sistema es especialmente adecuado para almacenar, de forma creciente, datos ordenados en el tiempo y sin posibilidad de modificación ni revisión, registrando cambios atómicos del estado del sistema y dejando una marca temporal¹. Al tratarse de un sistema con características inmutables, descentralizado y verificable, actualmente se utiliza mayoritariamente en el sistema de intercambio de mercado de criptomonedas. Sin embargo, no es su uso exclusivo, y actualmente la tecnología *blockchain* puede suponer un cambio hacia mejor en muchos sistemas de gestión de datos, siendo estudiada su utilidad también en ámbitos que manejan gran volumen de datos (*big data*) como podrían ser las ciudades inteligentes (*Smart Cities*) o una red de objetos interconectados mediante Internet (*Internet of Things*)²⁻⁴.

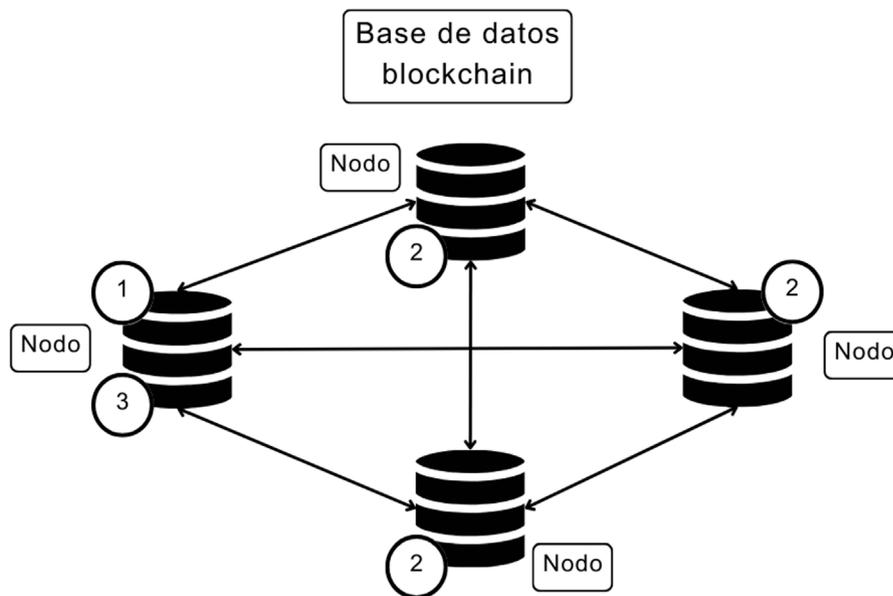
Estructuralmente, la tecnología *blockchain* funciona mediante la creación de una cadena continua de bloques de datos interconectados y compartidos con todos los participantes del sistema, conteniendo información sobre múltiples transacciones⁵. Para comprender el funcionamiento del almacenaje e intercambio de datos de la cadena de bloques, debemos tener en cuenta algunos elementos clave:

- Los bloques son unidades de datos que almacenan transacciones y están enlazados criptográficamente al bloque anterior, formando una cadena inmutable.
- Las transacciones son registros de datos, como transferencias de activos digitales o información médica, validados por la red y agregados a un bloque. Estas transacciones están sujetas a «*Smart contracts*», normas programables que se implementan en la cadena de bloques y se ejecutan automáticamente cuando las condiciones se cumplen.
- La criptografía cifra los datos y garantiza la privacidad y la seguridad, limitando el acceso a las partes autorizadas.
- El consenso distribuido implica que varios nodos trabajan juntos para verificar y validar transacciones, asegurando confiabilidad e integridad.



1. Un servidor local realiza un cambio en la estructura de datos.
2. El servidor central valida y registra el cambio.
3. Los servidores locales pueden acceder a los datos validados y registrados.

Figura 1 Esquema representativo del flujo de datos en una red centralizada convencional.



1. Un nodo realiza un cambio en la estructura de datos.
2. El resto de nodos validan y registran el cambio en la cadena de bloques.
3. El cambio queda validado y registrado en la cadena de bloques de los nodos.

Figura 2 Esquema representativo del flujo de datos en una red basada en *blockchain*.

Existen varios tipos de *blockchain*, cada uno con sus propias características y usos específicos¹. Algunos de los ejemplos existentes más ilustrativos serían:

- **Público:** Abierto y accesible. Cualquier individuo puede unirse a la red, participar en la validación de transacciones y acceder a todos los datos almacenados en la cadena

de bloques. Un ejemplo de este tipo de *blockchain* sería cualquier criptomoneda donde cualquiera puede adquirir y vender sus activos, así como de visualizar los activos de otros participantes, con usuarios encriptados que garantizan el anonimato y la privacidad.

- **Privado:** En este caso la *blockchain* es controlada por una o diversas entidades, y solo los participantes autorizados

pueden acceder y validar transacciones en la red. Este tipo de *blockchain* se utiliza a menudo en empresas y organizaciones para mejorar la eficiencia y la seguridad de sus procesos internos.

- **Híbrido:** Suelen combinar aspectos tanto de los sistemas públicos como privados. Por ejemplo, los usuarios deben ser autorizados para unirse y operar en la red. Se utiliza para garantizar mayor control y seguridad en comparación con *blockchain* públicas.

La tecnología *blockchain* destaca por su seguridad, gracias a la criptografía y el consenso distribuido, que protegen los datos contra alteraciones y fraudes. Su inmutabilidad asegura que los datos registrados en la cadena de bloques no pueden modificarse sin el consenso de la mayoría de la red. Todo esto es especialmente valioso en el ámbito de la salud, donde la procedencia, la veracidad, la precisión y la fiabilidad de los datos son cruciales para la toma de decisiones médicas y la seguridad del paciente⁵⁻⁷.

Aplicaciones en el sector de la salud

El sector de la salud, incluyendo la atención primaria, se enfrenta a una serie de desafíos que impactan directamente en la calidad y en la eficiencia de la atención médica. A través de sus diversas aplicaciones, *blockchain* tiene el poder de redefinir la forma en que se abordan los desafíos y se ofrecen soluciones específicas⁸.

En literatura científica, a pesar de que la presencia de evidencia respecto la utilización de *blockchain* está en auge, esta tecnología y sus usos en sistemas de salud permanecen predominantemente en un marco conceptual. A pesar de ello, esta tecnología ya es foco de atención de intereses tanto públicos como privados⁹. Un ejemplo de su aplicación institucional es el estado europeo de Estonia, donde los ataques cibernéticos en su estructura de datos pública en el año 2017 condujeron a su gobierno a crear e implementar sistemas de gestión de datos basados en *blockchain*^{10,11}. Otro ejemplo para destacar es *FHIRChain*, un proyecto basado en *blockchain* y desarrollado por un equipo de investigación de la Universidad de Vanderbilt (Tennessee, EE. UU.), que cumple con sus estándares gubernamentales y explora demostrar el funcionamiento de una aplicación descentralizada basada en *FHIRChain*, en este caso para autenticar a los participantes en un estudio que incluyen tomas de decisiones colaborativas¹².

Recientes revisiones sistemáticas sugieren que la integración de la tecnología *blockchain* en el sector de la salud abre un abanico de posibilidades que puede mejorar la eficiencia, la seguridad y la transparencia en diversos aspectos^{1,7,8,13-16}. A continuación, exploramos algunas de estas aplicaciones:

Interoperabilidad de

Blockchain podría permitir la creación de un ecosistema descentralizado y seguro para compartir datos de salud. Al estandarizar y almacenar datos en una cadena de bloques, se elimina la fragmentación y se facilita el acceso autorizado a la información sanitaria. Los profesionales de la salud pueden colaborar en tiempo real, accediendo a un historial médico completo y preciso del usuario, lo que conduce a

diagnósticos más precisos y una atención más coordinada, lo que a su vez optimiza los recursos y brinda una atención más centrada en la persona^{6,17}.

Privacidad del paciente

La criptografía avanzada podría garantizar que los datos estén protegidos y solo sean accesibles para las partes autorizadas mediante claves de encriptación. *Blockchain* permite a los usuarios del sistema de salud tener un mayor control sobre sus propios datos sanitarios. Pueden dar acceso a profesionales específicos y revocarlo en cualquier momento, lo que garantiza la privacidad y la seguridad de su información sensible^{6,17}.

Registros médicos personales

La inmutable naturaleza de la cadena de bloques podría ofrecer una solución confiable para la gestión de Registros Médicos Personales (RMP). Cada transacción médica se registra permanentemente y de manera verificable en la cadena de bloques, es decir que cada cambio realizado en la cadena de bloques queda registrado con estampa temporal, el usuario que realiza el cambio y como era la cadena de bloques antes de la modificación. Esto podría ayudar a eliminar el riesgo de pérdida de datos y alteraciones no autorizadas en los RMP. Así, los pacientes tienen un control más activo sobre sus propios registros, mientras que los profesionales de la salud pueden acceder a información precisa y actualizada en tiempo real, mejorando la toma de decisiones y la calidad de la atención^{6,14}.

Investigación médica y ensayos clínicos

La fiabilidad de los datos en la investigación médica y los ensayos clínicos es esencial para garantizar la seguridad y la eficacia de tratamientos y medicamentos. *Blockchain* puede ofrecer una posible solución al proporcionar un registro inmutable y transparente de los datos. Los resultados de los ensayos clínicos pueden ser verificados y rastreados de manera confiable, lo que aumenta la confianza en los hallazgos y acelera la aprobación de nuevos tratamientos. Además, la creación de bases de datos centralizadas y confiables a partir de RMP descentralizados puede propulsar la investigación médica al proporcionar una fuente rica y precisa de información^{12,18,19}.

Pauta y autenticación de medicamentos

Desde el fabricante hasta el paciente, pasando por la farmacia comunitaria, cada etapa del proceso puede ser registrada y verificada en la cadena de bloques, lo que garantiza la autenticidad y la calidad de los medicamentos. Además, la falsificación de medicamentos es un problema grave que pone en riesgo la salud de las personas que los toman. *Blockchain* puede abordar este problema al crear una cadena de suministro trazable y transparente, con procesos e intermediarios registrados²⁰.

Inmunizaciones y epidemias

La cadena de bloques puede ayudar a rastrear la administración de vacunas de manera precisa. Esto es especialmente valioso para garantizar la inmunización efectiva en la prevención de enfermedades. La reciente experiencia con la pandemia de COVID-19 ha abierto un abanico de posibilidades para la tecnología *blockchain* en el seguimiento de inmunizaciones, el rastreo de contactos y la gestión de futuras emergencias¹³.

Telemedicina y consentimiento informado

Blockchain puede facilitar la firma digital y el almacenamiento seguro de consentimientos informados, mejorando la fiabilidad y la legalidad de las interacciones con el sistema sanitario en línea¹⁶.

Donación de órganos y genómica

Blockchain puede agilizar y mejorar la asignación de órganos para trasplantes al proporcionar un registro transparente y accesible de donantes y receptores, así como usarse para la compartición y análisis de datos en genómica^{6,21}.

Seguimiento de historiales de tratamiento

Los pacientes pueden tener un registro detallado y confiable de su historial de tratamiento y procedimientos médicos en la cadena de bloques, lo que facilita la coordinación de la atención entre diferentes proveedores^{12,14}.

Gestión de recursos

Blockchain puede optimizar la gestión de recursos médicos, como la asignación de pruebas complementarias, visitas médicas, camas hospitalarias y la programación de cirugías, al brindar una visión en tiempo real de la oferta y la demanda¹².

Estas aplicaciones pueden generar beneficios tangibles para todos los actores involucrados, a pesar de que no exista evidencia que las compare exhaustivamente con alternativas actuales. Aun así, la adopción masiva de soluciones *blockchain* en el sector de la salud se enfrenta a barreras culturales, tecnológicas y organizacionales. Para superarlas, sería necesario educar a los usuarios y a los profesionales, además de desarrollar soluciones robustas con sentido, así como de promover la colaboración entre los diferentes actores del sistema para su correcta implantación.

Barreras y desafíos actuales

En el apartado anterior hemos visto como la tecnología *blockchain* tiene un potencial transformador para los sistemas de salud. A pesar de esto, la adopción en el sector se encuentra obstaculizada por diversas barreras y desafíos que deberían ser abordados para maximizar sus potenciales beneficios y minimizar los riesgos. Estas barreras también han sido teorizadas y abarcan desde cuestiones regulatorias hasta consideraciones de seguridad y privacidad^{1,7,8,13-15,19}.

Algunos ejemplos de posibles desafíos de la tecnología *blockchain* son:

Regulaciones y leyes

Establecer estándares y regulaciones claras es esencial para garantizar una implementación segura y efectiva de cualquier tecnología. La ausencia de estándares y regulaciones específicas para la implementación de *blockchain* en el sector de la salud genera incertidumbre y la falta de directrices precisas en aspectos como seguridad, privacidad y cumplimiento normativo puede disuadir de adoptar esta tecnología^{1,7,8,13,14,17}.

Complejidad técnica

La naturaleza reciente y técnicamente compleja de la tecnología *blockchain* exige una curva de aprendizaje. Los expertos en implementación e investigación aún son escasos, así como los especialistas en sus sistemas de seguridad específicos y prevención de ataques cibernéticos. También hay que tener en cuenta lo que supone capacitar a perfiles gestores, profesionales de la salud y personal administrativo en cualquier nueva tecnología, así como integrarla con los sistemas existentes y el día a día de la práctica clínica^{6,7,12}.

Costes tecnológicos y económicos

Entre los obstáculos se incluyen los costos iniciales de desarrollo y adaptación, la capacitación del personal, la integración con sistemas existentes, el mantenimiento continuo, así como los gastos de almacenamiento, procesamiento y consumo de energía^{6,14}. Cuantos más bloques contiene una cadena y más participantes haya en la red descentralizada, más requerimientos necesitará la red para funcionar óptimamente y de forma segura. El desafío que supone el mantenimiento de una red masiva de datos basados en *blockchain* ha sido descrita y la escalabilidad es uno de los problemas actuales del mercado de las criptomonedas. Todo esto supondrá un constante mantenimiento de una red descentralizada con un intercambio de datos basado en una cadena común también en constante crecimiento y, por lo tanto, requerirá un sistema que permita un intercambio de una cadena cada vez con mayor peso manteniendo la simultaneidad^{3,5}. A pesar de esto, sería necesario sopesar los costes iniciales de la adopción de *blockchain* frente a los beneficios potenciales a largo plazo en términos de transparencia, seguridad y eficiencia en el manejo de datos de salud.

Falta de experiencia y confianza

La reciente aparición de la tecnología y sus otros usos en el mercado de criptomonedas han despertado en la población general cierto sentimiento de suspicacia y preocupación. El acceso controlado y la criptografía aseguran que solo las partes autorizadas puedan acceder a la información y, aun así, *blockchain* se puede considerar una tecnología segura siempre y cuando no se pueda intervenir en los cambios atómicos del sistema. La gestión de datos está sujeta a gran

responsabilidad, especialmente en datos de salud, por lo que deberían existir motivos de peso suficientes en el balance riesgo/beneficio para apostar por este tipo de tecnología. Por lo tanto, las soluciones *blockchain* deben implementar medidas sólidas de privacidad y seguridad para cumplir con las regulaciones vigentes de protección de datos, y deben trabajar para evitar eventos indeseables futuros¹⁴.

Consideraciones éticas

Blockchain nació como tecnología para dar soporte a las criptomonedas, plagadas de escepticismo, y aún se vincula erróneamente únicamente a ellas. Esta relación ha generado sombras sobre la tecnología *blockchain*, asociándose con contextos de especulación o de fraude relacionados con la volatilidad de algunas criptomonedas. Estas sombras, que pueden entenderse como desafíos pendientes, no son parte de su esencia, sino que emanan de la inmadurez del contexto y de su mal uso en algunos casos, como puede suceder con cualquier otra tecnología.

Es necesario desarrollar un pensamiento colectivo, crítico y ético en relación con *blockchain*. Existen algunas revisiones que se han interesado en este tema, pero todas coinciden en recomendar que las investigaciones futuras se basen en marcos éticos particulares y en relación con contextos prácticos concretos²².

Conclusiones

La tecnología *blockchain* ha demostrado ser una herramienta innovadora y revolucionaria con el potencial de redefinir la forma en que se aborda la gestión de datos en el sector de la salud. Los diferentes artículos y revisiones ilustran cómo la tecnología *blockchain* puede mejorar la calidad de la atención sanitaria, empoderar a los pacientes y propulsar la investigación y el desarrollo en el sector de la salud.

No obstante, no podemos pasar por alto las barreras y los desafíos que dificultan la adopción generalizada de *blockchain* en el sector de la salud. La problemática de la escalabilidad, la falta de regulaciones claras, la complejidad técnica, los costos asociados y la necesidad de construir confianza y seguridad en esta tecnología emergente son consideraciones que deben abordarse para maximizar sus beneficios y minimizar sus riesgos. Actualmente de las pocas razones consistentes para potencialmente elegir una solución mediante tecnología *blockchain* es si el problema está relacionado con la ciberseguridad o la centralización de los datos. Sin embargo, aún falta evidencia científica sólida que demuestre de manera concluyente que estas ventajas son superiores a las de las alternativas tecnológicas existentes.

Dentro del amplio espectro de sus aplicaciones en el sector de la salud, la tecnología *blockchain* también parece prometedora si se aplica en el ámbito de la atención primaria. La interoperabilidad de datos a través de cadenas de bloques puede permitir que los profesionales de la salud accedan a historias de salud completas y precisas de los usuarios en tiempo real (en la propia consulta), mejorando la toma de decisiones clínicas y la coordinación de la atención médica y la investigación. La naturaleza descentralizada de *blockchain* ofrece a los usuarios un mayor control sobre su

información y datos de salud, permitiéndoles compartir de manera selectiva y consentida sus datos con diferentes proveedores de atención médica. Esta transparencia y control pueden fomentar una relación médico/paciente basada en una mutua confianza más sólida y una atención más personalizada en el entorno de la atención primaria. A medida que esta tecnología evoluciona y se abre paso en el sector de la salud, si la tecnología *blockchain* se llega a adoptar generalizadamente en sistemas de información de salud, la atención primaria podría experimentar una transformación significativa en la forma en que interaccionan los datos cuando se brinde la atención médica y se reciban prestaciones sanitarias.

En última instancia el éxito de la implementación de la tecnología *blockchain* requerirá un enfoque colaborativo entre profesionales de la salud, tecnólogos, reguladores y otros actores clave que participen en el sistema de salud. Por otro lado, será necesario impulsar un cambio cultural en las organizaciones para adaptarse a los retos tecnológicos proponiendo un nuevo pensamiento colectivo que sea capaz de enraizar en las organizaciones sanitarias. La respuesta de los sistemas sanitarios a este nuevo escenario debe sustentarse en la agilidad, la mejora continua y los equipos multidisciplinares donde cada miembro del equipo desarrolle su rol profesional en su máxima expresión.

Finalmente, aunque el *blockchain* promete ser innovador en el sector de la salud, es importante volver a destacar que aún falta evidencia sólida que demuestre de manera concluyente ciertas ventajas frente a las alternativas tecnológicas existentes y por ello no debe adoptarse simplemente por ser novedoso, sino porque ofrece ventajas tangibles y significativas en comparación con las alternativas disponibles. Su uso generalizado requerirá un cambio en el paradigma cultural importante, que supere los miedos asociados a su uso en el mercado de criptomonedas, acompañado de la creación de un marco regulatorio sólido, la capacitación adecuada y la inversión en investigación y desarrollo.

Todo esto será fundamental para superar las barreras existentes y permitir que la tecnología *blockchain* alcance su máximo potencial en el sector de la salud y la atención médica.

Responsabilidades éticas

En el marco de este estudio meramente descriptivo, se han seguido consideraciones éticas basadas en el respeto y adhesión a las normas y principios ampliamente aceptados en la comunidad científica.

Financiación

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Agbo C, Mahmoud Q, Eklund J. Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. *Healthcare*. 2019;7:56. [consultado 10 Ago 2023] Available from: <https://www.mdpi.com/2227-9032/7/2/56>
2. Khalil U, Malik OA, Uddin M, Chen CL. A Comparative Analysis on Blockchain versus Centralized Authentication Architectures for IoT-Enabled Smart Devices in Smart Cities: A Comprehensive Review, Recent Advances, and Future Research Directions. *Sensors (Basel)*. 2022;22:5168. [consultado 19 Oct 2023] Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35890848/>
3. Ibrahim RF, Abu Al-Haija Q, Ahmad A. DDoS Attack Prevention for Internet of Thing Devices Using Ethereum Blockchain Technology. *Sensors (Basel)*. 2022;22:6806. [consultado 19 Oct 2023] Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36146163/>
4. Bagga P, Das AK, Chamola V, Guizani M. Blockchain-envisioned access control for internet of things applications: A comprehensive survey and future directions. *Telecommun Syst*. 2022;81:125–73. [consultado 19 Oct 2023] Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35879968/>
5. Esmailzadeh P. Evolution of Health Information Sharing Between Health Care Organizations: Potential of Nonfungible Tokens. *Interact J Med Res*. 2023;12:e42685 [Consultado 19 Oct 2023] Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37043269/>
6. Mamun Q. Blockchain technology in the future of healthcare. *Smart Heal*. 2022;23:100223. [Consultado 10 Ago 2023] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352648321000453>
7. Hasselgren A, Kralevska K, Gligoroski D, Pedersen SA, Faxvaag A. Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review. *Int J Med Inform*. 2020;134:104040. [consultado 10 Ago 2023] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138650561930526X>
8. Abu-elezz I, Hassan A, Nazeemudeen A, Househ M, Abd-alrazaq A. The benefits and threats of blockchain technology in healthcare: A scoping review. *Int J Med Inform*. 2020;142:104246. [consultado 10 Ago 2023] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386505620301544>
9. McCauley A. Why big pharma is betting on blockchain. *Harvard Bus Rev Digit Artic*. 2020:2–6. [consultado 17 Oct 2023] Available from: <https://hbr.org/2020/05/why-big-pharma-is-betting-on-blockchain>
10. Priisalu J, Ottis R. Personal control of privacy and data: Estonian experience. *Health Technol (Berl)*. 2017;7:441–51, <http://dx.doi.org/10.1007/s12553-017-0195-1>. [consultado 18 Ago 2023].
11. Estonian Health Records to Be Secured by Blockchain – Bitcoin News. Available from: <https://news.bitcoin.com/estonian-health-records-secured-by-blockchain/>
12. Zhang P, White J, Schmidt DC, Lenz G, Rosenbloom ST. FHIR-Chain: Applying Blockchain to Securely and Scalably Share Clinical Data. *Comput Struct Biotechnol J*. 2018;16:267–78. [consultado 10 Ago 2023] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2001037018300370>
13. Ng WY, Tan T-E, Movva PVH, Fang AH, Yeo K-K, Ho D, et al. Blockchain applications in health care for COVID-19 and beyond: A systematic review. *Lancet Digit Heal*. 2021;3:e819–29. [consultado 10 Ago 2023] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589750021002107>
14. Fang HSA, Tan TH, Tan YFC, Tan CJM. Blockchain Personal Health Records: Systematic Review. *J Med Internet Res*. 2021;23:e25094. [consultado 18 Ago 2023] Disponible en: <https://www.jmir.org/2021/4/e25094>
15. Salud SN de. Estrategia de Salud Digital. 2021. [consultado 17 Oct 2023] Disponible en: https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/pdf/Estrategia_de_Salud_Digital_del_SNS.pdf
16. Oliva JA. Adaptación de los centros de atención primaria a la virtualidad. *Atención Primaria Práctica*. 2021;3:100119. [consultado 17 Oct 2023] Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-atencion-primaria-practica-24-articulo-adaptacion-centros-atencion-primaria-virtualidad-S2605073021000407>
17. Rathod T, Jadav NK, Alshehri MD, Tanwar S, Sharma R, Felseghi R-A, et al. Blockchain for Future Wireless Networks: A Decade Survey. *Sensors*. 2022;22:4182. [consultado 17 Oct 2023] Available from: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/11/4182>
18. Alvarez-Romero C, Martínez-García A, Bernabeu-Wittel M, Parra-Calderón CL. Health data hubs: An analysis of existing data governance features for research. *Heal Res Policy Syst*. 2023 Jul 10;21:70. [consultado 17 Oct 2023] Available from: <https://health-policy-systems.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12961-023-01026-1>
19. de Kok JWTM, de la Hoz M.Á.A., de Jong Y, Brokke V, Elbers PWG, Thorat P, et al. A guide to sharing open healthcare data under the General Data Protection Regulation. *Sci Data*. 2023;10:404. [consultado 17 Oct 2023] Available from: <https://www.nature.com/articles/s41597-023-02256-2>
20. Roosan D, Wu Y, Tatla V, Li Y, Kugler A, Chok J, et al. Framework to enable pharmacist access to health care data using Blockchain technology and artificial intelligence. *J Am Pharm Assoc*. 2022;62:1124–32. [consultado 18 Oct 2023] Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1544319122000711>
21. Leitsalu L, Haller T, Esko T, Tammesoo ML, Alavere H, Snieder H, et al. Cohort profile: Estonian Biobank of the Estonian Genome center University of Tartu. *Int J Epidemiol*. 2015;44:1137–47.
22. Sharif MM, Ghodoosi F. The Ethics of Blockchain in Organizations. *J Bus Ethics*. 2022;178:1009–25.