



REVISIÓN

Blockchain aplicado en afecciones mamarias: desafíos y consideraciones éticas



Víctor Gómez-Bocanegra^{a,*}, Guadalupe Silvia García-de la Torre^a,
Carlos Alberto Pantoja Meléndez^a y Bernardo Loose-Rojo^b

^a Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, México

^b Hospital Naval de Mazatlán, Sinaloa, México

Recibido el 13 de septiembre de 2024; aceptado el 5 de noviembre de 2024

Disponible en Internet el 4 de diciembre de 2024

PALABRAS CLAVE

Blockchain;
Afecciones mamarias;
Registros médicos
electrónicos;
Seguridad

Resumen La cuarta revolución industrial, impulsada por Internet, ha generado avances tecnológicos significativos, transformando diversos aspectos de la vida cotidiana, incluida la industria de la salud. La tecnología *blockchain* surge como una solución innovadora para abordar problemas relacionados con afecciones de la mama. Al ser una red descentralizada que registra eventos «datos» en bloques encadenados, ofrece seguridad y transparencia al almacenar la información. Inicialmente, *blockchain* fue aplicada a las criptomonedas y se ha extendido a diversas industrias, incluida la salud en la senología, donde facilita la gestión de registros médicos electrónicos, como mamografías interpretadas por tecnología de *machine learning*, resultados de biopsias, interpretación de exploraciones y el uso o consumo de medicamentos, facilitando así el intercambio de datos para la prevención, diagnóstico, gestión de suministros médicos o farmacéuticos, y la investigación. La adopción de *blockchain* presenta desafíos éticos y prácticos, especialmente en la confidencialidad de la información. Además, la brecha digital y el acceso desigual al Internet representan obstáculos para su implementación equitativa. De igual manera, el uso de *blockchain* plantea cuestiones sobre la verdad y la confianza en los datos, ya que teóricamente ofrece integridad y seguridad, lo que hace necesaria la validación epistemológica completa de su utilidad en la generación de conocimiento. En resumen, *blockchain* tiene el potencial de revolucionar la industria de la salud; sin embargo, es crucial que su implementación enfrente desafíos éticos, legales y tecnológicos para asegurar un auténtico beneficio social y evitar la exacerbación de las desigualdades. La evaluación constante de su impacto y la integración con los sistemas actuales son esenciales para maximizar su potencial y al mismo tiempo se mitigan sus riesgos.

© 2024 The Author(s). Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de SESPM. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: vgomez@facmed.unam.mx (V. Gómez-Bocanegra).

KEYWORDS

Blockchain;
Breast conditions;
Electronic medical records;
Security

Blockchain in breast disease: Challenges and ethical considerations

Abstract The Fourth Industrial Revolution, driven by the Internet, has generated significant technological advances, transforming various aspects of daily life, including the healthcare industry. Blockchain technology emerges as an innovative solution to address problems related to breast pathology. Being a decentralized network that records 'data' events in chained blocks, it offers security and transparency when storing information. Initially, blockchain was applied to cryptocurrencies and has spread to various industries, including healthcare in senology, where it facilitates the management of electronic medical records, such as mammograms interpreted using machine learning technology, biopsy results, scan interpretation, and the use or consumption of medications, thus facilitating the exchange of data for prevention, diagnosis, management of medical or pharmaceutical supplies and research. Blockchain adoption presents ethical and practical challenges, especially in information confidentiality. Furthermore, the digital divide and unequal access to the Internet represent obstacles to its equitable implementation. Similarly, the use of blockchain raises questions about truth and trust in data, as it theoretically offers integrity and security, necessitating full epistemological validation of its usefulness in generating knowledge. In short, blockchain has the potential to revolutionize the healthcare industry; However, it is crucial that its implementation faces ethical, legal and technological challenges to ensure genuine social benefit and avoid exacerbating inequalities. Constant evaluation of its impact and integration with current systems are essential to maximize its potential while mitigating its risks.

© 2024 The Author(s). Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of SESP. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Introducción

El advenimiento del Internet ha marcado la evolución tecnológica y ha sido el catalizador para la cuarta revolución industrial, también conocida como Industria 4.0. Este progreso ha implicado cambios significativos en la forma en que los seres humanos interpretan y se relacionan con su entorno, impactando todos los aspectos de la vida cotidiana, siendo particularmente notorio en la industria de la salud, donde la integración de la tecnología *blockchain* ha posibilitado abordajes innovadores para el manejo de datos, seguridad de la información y confidencialidad de los pacientes¹.

Toda innovación plantea importantes retos y preguntas. En el caso de *blockchain*, se cuestiona de forma significativa la confianza en los datos; si bien no «el dato», sí su origen, forma de obtención, uso e interpretación, así como la naturaleza de «la verdad» que se genera a partir de la información recopilada². Estos temas, por su esencia, solamente pueden ser abordados y estudiados desde la filosofía de la ciencia³.

En el presente texto se pretende revisar el mecanismo en el que se basa la tecnología *blockchain*, así como las características que lo convierten en una prometedora herramienta para la prevención, diagnóstico oportuno y tratamiento de las enfermedades de la mama. Es decir, una opción para la solución de problemas en el ámbito de la salud, así como los retos, desafíos y consideraciones éticas que implica el utilizar esta tecnología en el entorno sanitario, especialmente en el campo de la senología.

Blockchain y su funcionamiento

La tecnología *blockchain* en su concepción básica, es una red que emula el funcionamiento cerebral, donde las neuronas registran cada evento o modificación de datos, creando un nuevo bloque que se une a los anteriores para formar una cadena (de ahí su nombre). La característica más destacable es el control único e inalterable, que se distribuye en varios nodos de una red descentralizada, donde cada bloque de cadena almacena información de ese bloque, las transacciones válidas y su vinculación con el bloque anterior y el siguiente⁴.

El uso de *blockchain* está fuertemente ligado a las criptomonedas, ya que su uso más difundido es como garante de la seguridad del dinero digital. Sin embargo, actualmente esta tecnología se utiliza en contratos inteligentes, la industria financiera, alimenticia, logística e incluso por la comunidad científica para gestionar información y documentación. En general, en toda situación que incluya manejo de activos digitales se puede aplicar *blockchain*, ya que esta tecnología posibilita registrar transacciones y rastrear activos dentro de una red sin necesidad de intermediarios⁵.

La seguridad de la tecnología *blockchain* radica en el hecho de ser distribuida, es decir, que cada nodo de la red almacena una copia exacta de la cadena -garantizando la información en todo momento- por lo que resulta imposible modificar el contenido de la cadena, ya que todos los nodos contienen la misma información y esta debe ser consensuada. Los bloques a su vez están matemáticamente

vinculados entre sí, y una vez que se agrega un nuevo bloque, los anteriores quedan sellados; en caso de que un bloque modifique su relación con los demás, la cadena se rompe².

Aplicaciones de *blockchain* en el sector de la salud

Gestión de registros médicos electrónicos (EMR)

La tecnología *blockchain* se perfila como una herramienta muy prometedora para resolver la problemática que representa la dispersión de información médica de los pacientes al acudir estos a diferentes centros para resolver sus problemas en salud. En la práctica, la información de los pacientes se encuentra segmentada y fragmentada, sin un «expediente médico único», la *blockchain* permite acceder y recuperar rápidamente la información de los registros médicos, historias clínicas inmutables y seguras de cada evento relacionado con el diagnóstico y tratamiento de una paciente; exámenes, biopsias y tratamientos se registran en una *blockchain*, creando un historial médico inalterable y accesible solo con el consentimiento del paciente, la gestión eficiente de datos genómicos, donde el almacenamiento seguro de la información genética de las pacientes, es crucial para el desarrollo de tratamientos personalizados, y esta puede almacenarse de forma segura y encriptada en una *blockchain*⁶.

Intercambio de datos de investigación médica

El intercambio seguro y confiable de datos e información médica para fines de investigación representa un reto, máxime la multidisciplinariedad cada vez mayor en los equipos médicos y académicos, y que estos ya no se limitan a un mismo espacio geográfico⁵. Sin ser limitativo, el acceso controlado a los datos de la *blockchain*, protegiendo la privacidad de las pacientes, se puede restringir a médicos e investigadores autorizados. En el campo de la investigación *blockchain* es mayormente utilizado para la construcción de bases de datos, de forma que puedan ser consultadas por el equipo investigador, protegiendo «el dato» a través de inmutabilidad, gestión de la privacidad y la autoría de los contenidos; si bien su uso en el ámbito académico aún es joven, se perfila como una herramienta muy potente para la gestión de la ciencia⁷.

Gestión de pruebas, suministros y farmacéuticos

Las cadenas logísticas actuales son complejas y se conforman por múltiples actores y recursos, lo que conlleva una dificultad importante en la trazabilidad, transparencia y seguridad para los diferentes participantes en el proceso de atención de la paciente. Así, la *blockchain* se presenta como una herramienta prometedora con el fin de mejorar la transparencia, eficiencia y seguridad de las cadenas de suministros, mediante la descentralización y registro inmutable de la información, eliminando intermediarios e implementando sistemas de seguimiento en tiempo real durante la cadena de producción y distribución,

proporcionando una mayor confianza a todos los involucrados⁸. El seguimiento de muestras, insumos y fármacos asegura la cadena de custodia, desde la toma de la muestra hasta su análisis, quedando registrado cada paso en la *blockchain*, garantizando la trazabilidad y evitando la contaminación o pérdida de muestras. Así como la oportunidad de la decisión de a quien se otorga acceso a su historial médico, resultados de muestras, imágenes o seguimiento de tratamiento (médico tratante, prestador de servicio, investigador, etc.), si así es necesario.

La filosofía de la ciencia y la veracidad de los datos en *blockchain*

La tecnología *blockchain* aún plantea bastantes preguntas desde la epistemología científica, ya que, debido a su novedad, aún no existe una validación del conocimiento generado. Si bien los datos de origen suelen provenir de información ya generada, su naturaleza, tratamiento y abordaje a través de un modelo científico no se ha establecido del todo, en detrimento de una justificación clara para su uso, así como para conocer sus límites como herramienta para la generación de nuevos conocimientos.

El paradigma tradicional de la veracidad se fundamenta en 2 elementos esenciales de la confianza: el papel de las «autoridades» (instituciones o personas con trayectoria reconocida) y los «recursos» (archivos, registros, etcétera, disponibles para su revisión). La *blockchain* busca desafiar este paradigma existente, aunque aún enfrenta varios obstáculos, entre los cuales destaca su visión simplificada de la confianza, que la limita a la noción de integridad y no considera la veracidad de la información, aspecto que hasta ahora se asegura por el paradigma predominante⁹.

Conceptualmente, en el ámbito de las enfermedades de la mama, la tecnología *blockchain* asegura la integridad de los datos dentro de un ecosistema sólido, que incluye la validación previa de los datos por parte de un experto, el control descentralizado de la información, la privacidad, la interoperabilidad de los sistemas y mecanismos que garantizan la calidad¹⁰.

Desafíos y consideraciones éticas. Privacidad y consentimiento informado

Una de las principales ventajas de la *blockchain* es su transparencia, ya que todos los participantes tienen acceso a la información almacenada en la base de datos. Aunque se considera conceptualmente segura, la fiabilidad de las cadenas depende de las reglas de participación, operación y gobernanza con las que han sido diseñadas (que pueden ser públicas, semipúblicas o privadas). Debido a que estas cadenas son programadas de manera específica, carecen de estandarización y/o interoperabilidad, factores que son cruciales para la seguridad de la información¹¹. En la actualidad, uno de los mayores privilegios es la privacidad; la información que cada persona, empresa o entidad gubernamental comparte en Internet define e identifica a cada individuo, creando una «identidad digital». Esta identidad no solo se construye a partir de nuestras acciones, sino que también se ve afectada por cómo terceros

interactúan con nosotros, dejando diversas huellas que forman bases de datos ajenas y, que muchas veces, alimentan algoritmos y máquinas con perfiles impredecibles e inaccesibles, que traspasan de la realidad virtual a la realidad, identificando y definiendo al individuo¹².

En los próximos 5–10 años se espera una consolidación de las aplicaciones de la *blockchain* en el ámbito de las enfermedades de la mama, con la aparición de nuevas soluciones y la mejora de las existentes, como el uso de la inteligencia artificial para el diagnóstico de cáncer de mama en la lectura de mamografías^{13,14}. A mediano plazo, es probable que la *blockchain* se integre de una manera más profunda en los sistemas de salud, convirtiéndose en una tecnología estándar para la gestión de registros médicos.

Acceso equitativo y brecha digital

El Internet se ha convertido en la base de toda transferencia de conocimientos, utilizando un proceso de comunicación global, convirtiéndose en el presente educativo, económico, comercial y comunicativo, conformando una sociedad digital que tiene como eje central la automatización del mayor número posible de actividades. En Latinoamérica, una de las principales limitantes es una plataforma digital débil, lo que genera una diferencia considerable entre aquellos que cuentan con acceso a Internet y quienes no lo tienen¹⁵.

Lo expuesto en el párrafo anterior representa uno de los principales retos para la aplicación de *blockchain*, no solo en Latinoamérica, también en todos los países de ingresos medios-bajos, pues al carecer de una plataforma digital robusta que permita un acceso tecnológico adecuado e Internet universal, se incrementan aún más las barreras para el acceso a la salud, las desigualdades tecnológicas y las brechas en salud, repercutiendo negativamente en la equidad social que tanto se persigue por la ética en la ciencia.

Conclusiones

El crecimiento vertiginoso de la *blockchain*, lo colocan como una de las tecnologías de la información más disruptivas, complejas, pero prometedoras, que a pesar de ser incipiente ya demuestra una gran transversalidad a todos los sectores de la actividad humana, de los cuales la salud se perfila como uno de los que mayor beneficio puede obtener, pues más allá de las criptomonedas, conceptualmente permite una descentralización de la información y un empoderamiento de las personas sobre sus datos; sin embargo, aún tiene grandes retos por salvar, como son adecuación a las disposiciones jurídicas, interoperabilidad, estandarización e incluso su impacto ecológico.

Al igual que toda tecnología novedosa y disruptiva, *blockchain* no está exenta -en el curso de su implementación- a vulnerabilidades y errores propios de cualquier sistema de información, añadido a los de la tecnología propiamente; lo anterior debe sumarse a los retos en seguridad y confianza derivados de su inherente falta de madurez como paradigma, por lo que la implementación de protocolos de seguridad y privacidad durante su programación son forzosos desde las fases iniciales del diseño, al igual que se debe considerar su

integración en modelos anteriormente existentes, así como la falta de plataformas digitales sólidas en muchos lugares de su potencial aplicación.

En la senología, la tecnología *blockchain* tiene el potencial para ser transformadora, mejorando la seguridad, la accesibilidad y la integridad de la información. Por ello, debemos considerar cuestiones filosóficas sobre la naturaleza de la verdad y la realidad virtual, así como la forma en que ambas influyen al paciente, debiendo garantizar que su adopción beneficie a toda la sociedad y no se convierta en una fuente más de brechas e inequidades en salud.

Responsabilidades éticas

De conformidad con el Código de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki) para experimentos con seres humanos; el trabajo que sometemos a su revisión no implica el uso de sujetos humanos, por lo que no fue necesario obtener el consentimiento informado para la experimentación con sujetos humanos, y podemos señalar que se realizaron todos los procedimientos éticos que se señalan en la reglamentación correspondiente, asimismo se respetan los derechos de privacidad de los sujetos humanos. Al tratarse de una revisión, no se han vulnerado los principios éticos.

Financiación

Los autores declaran no haber recibido financiación o subvención de investigación recibida en el curso del estudio, la investigación o el montaje del manuscrito que enviamos.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en conflicto ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Bibliografía

- Montesino L, Álvarez O, Romero-Conrado A. Tendencias y desarrollo de las tecnologías de la industria 4.0 en el sector salud. *IJMSOR*. 2020;5:1–6.
- Pinilla Zuluaga MA. La tecnología blockchain en las organizaciones: un futuro prometedor. *Rev Neuronum*. 2022;3(8):6–9.
- DeHoyos-Benítez SM. El método científico y la filosofía como herramientas para generar conocimiento 1. *Rev Filosofía UIS*. 2020;19:229–45.
- Bermúdez Ocampo JS, Salazar Marulanda NL, Vélez Rueda L. Blockchain y salud: una herramienta versátil y segura. *Cienc Tecnol Innov Salud*. 2021;6:52–60.
- Salazar J, Osorio VA, Obando CH. Acercamiento a la tecnología blockchain y posibles aplicaciones en el sector salud en Colombia 2. *Rev CIES Escolme*. 2020;11:11–24.
- Tumi Figueroa A, Borda Colque JP, Nayer Tumi Figueroa E, Torres-cruz E, Torres-cruz F, Hugo Ticona Salluca H, et al. Tecnología blockchain para la preservación de registros de historias clínicas médicas. s.l.: Editora Científica Digital. Engenharias - Automação, Robótica, Metrologia e Energia: Estudos e Tendências, 1. ; 2023.

7. Ferrer-Sapena A, Sánchez-Pérez E. Aplicaciones de la tecnología blockchain en la documentación científica: situación actual y perspectivas 2. *Prof Inform.* 2019;28:1–11.
8. Alzate P, Giraldo D. Tendencias de investigación del blockchain en la cadena de suministro: transparencia, trazabilidad y seguridad 44. *Univ Empresa.* 2023;25:1–29.
9. Alfier A. Tiempos modernos: el desafío del blockchain a la confianza documental. *Tábula.* 2023;25:61–80.
10. Griewing S, Knitza J, Gremke N, Wallwiener M, Wagner U, Lingenfelder M, et al. Awareness and intention-to-use of digital health applications, artificial intelligence and blockchain technology in breast cancer care. *Front Med (Lausanne).* 2024;11:138.
11. Lecuit JA. La seguridad y la privacidad del blockchain, más allá de la tecnología y las criptomonedas. *Real Inst Elcano.* 2019;49: 1–11.
12. Grigera del Campillo S. Privacidad y blockchain. *Rev Blockchain Intel Artif.* 2021;2:12–20.
13. Cope. Así Detecta la Inteligencia Artificial un Cáncer de Mama con Mucha Antelación: “Cinco Años Antes”. COPE.es. [En línea]. [consultado 27 Sep 2023]. Disponible en: <https://www.cope.es/programas/lo-que-viene/noticias/asi-detect>.
14. SESPM. Inteligencia Artificial en el Diagnóstico de Cáncer de Mama: Potente, Eficaz pero sin Implantar. Sespm.es [Internet]. [En línea]. [consultado 30 Sep 2023]. Disponible en: <https://sespm.es/inteligencia-artificial-en-el-diagnostico-de-cancer-de-mama-potente-eficaz-pero-sin-implantar/>
15. Rodríguez-Alegre L, Trujillo Valdiviezo G, Egusquiza Rodríguez MJ, Padilla R. Revolución industrial 4.0: la brecha digital en Latinoamérica 11. *Rev Arbitrada Interdiscip Koinonía.* 2021;6: 147–56.