





NARRATIVA, REVISIÓN SISTEMÁTICA, METAANÁLISIS

Aprovechar Blockchain para transformar la gestión de datos sanitarios: Una agenda de investigación exhaustiva

Horst Treiblmaier, PhD¹, Abderahman Rejeb, PhD², Mike Gault, PhD³, Anjum Khurshid, PhD⁴, Alex Norta, PhD⁵, Jim Poteet, BS⁶ y Suresh Sivagnanam⁷

¹Profesor titular, Escuela de Gestión Internacional, Universidad Modul de Viena, Viena, Austria; ²Facultad de Economía de la Empresa, Universidad Széchenyi István, Győr, Hungría; ³Guardtime, Lausana, Vaud, Suiza; ⁴Sentinel Program and Faculty, Department of Population Medicine, Harvard Pilgrim Health Care Institute and Harvard Medical School, Boston, Massachusetts, EE.UU.; ⁵Dymaxion OÜ, Tallinn University, Tallinn, Estonia; ⁶Technology and Operations Leader, Oracle Cerner, Overland Park, Kansas, EE.UU.; ⁷Healthcare and Higher Education, Talents Squared Limited, Londres, Reino Unido.

Autor correspondiente: Horst Treiblmaier, Correo electrónico:

horst.treiblmaier@modul.ac.at DOI: <https://doi.org/10.30953/bhty.v7.301>

Palabras clave: blockchain, libro mayor distribuido, asistencia sanitaria, datos sanitarios, mesa redonda, programa de investigación

Resumen

Gestionar adecuadamente los datos sanitarios es una tarea compleja que debe equilibrar los requisitos e intereses de muchas partes interesadas. En este artículo, presentamos los resultados de una mesa redonda con profesionales de la salud y académicos, que explican la situación actual de la gestión de datos sanitarios, así como el futuro papel que blockchain podría desempeñar en este sector. A partir de las conclusiones de este panel, estructuramos el campo de investigación de la gestión de datos sanitarios y ofrecemos numerosas vías para futuras investigaciones. El resultado es un marco que destaca el importante papel de los datos sanitarios y los pone en contexto. Desde la perspectiva del paciente, nos detenemos específicamente en la confianza y la privacidad, así como en los beneficios esperados.

Además, se identifican cuatro aspectos importantes de los datos: integridad, seguridad, interoperabilidad y, por último, intercambio y transferencia. También destacamos la importancia de los problemas actuales y derivamos varias preguntas de investigación relevantes y oportunas que sientan las bases de una agenda de investigación para la innovación impulsada por blockchain en la gestión de datos sanitarios. En resumen, el marco informará a los profesionales del potencial de blockchain en la atención sanitaria y estructurará el área para los investigadores, que están llamados a investigar los temas respectivos con mayor detalle.

Recibido: 20 de febrero de 2024; Aceptado: 20 de marzo de 2024; Publicado: 30 de abril de 2024

In los últimos años, el sector sanitario ha experimentado un profundo desarrollo impulsado por la transformación digital y acelerado por la pandemia COVID-19. Tecnologías como Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y blockchain, así como la interacción entre ellas, han captado la atención de académicos y profesionales⁽¹⁾. En este artículo nos centramos en blockchain y su impacto en la gestión de datos sanitarios. Como señalan Dionisio et al. en una exhaustiva revisión bibliográfica⁽²⁾, hay que diferenciar dos tipos de aplicaciones de blockchain: las basadas en el paciente y las basadas en la entidad. Ejemplos de las primeras son facilitar el acceso a los datos de los pacientes a entidades autorizadas y gestionar el historial de prescripciones de un paciente manteniendo la privacidad y seguridad de los datos. En

Desde el punto de vista de las entidades, es especialmente la exactitud de la gestión de datos lo que puede ayudar a evitar la identificación errónea de pacientes y la duplicación de historiales médicos, así como a garantizar la procedencia de las fuentes de datos.

La importancia de la cadena de bloques para gestionar historias clínicas electrónicas seguras y compartibles se puso de manifiesto hace varios años³, pero a pesar de las numerosas aplicaciones prometedoras y casos de uso creativos, aún quedan muchos obstáculos por superar para explotar plenamente el potencial de la tecnología y desarrollar soluciones que tengan en cuenta simultáneamente la privacidad de los pacientes y permitan a los centros médicos acceder a los datos precisos, completos y oportunos que necesitan para prestar servicios de alta calidad. En un metaanálisis reciente, Krishnasamy y Gopalakrishnan⁴ resumen las actuales

situación: "...aunque la tecnología aún está madurando, este esfuerzo demuestra y subraya la necesidad de que las empresas sanitarias adopten una visión más amplia y audaz del blockchain y de las tecnologías emergentes aliadas".

En este artículo, seguimos esta llamada a la acción analizando el importante papel de la gestión de datos sanitarios y cómo blockchain puede contribuir a mejorar los sistemas existentes. Nuestro objetivo es recopilar y estructurar vías de investigación prometedoras que puedan servir de punto de partida para futuros proyectos de investigación, así como resumir y destacar los temas más importantes para los profesionales.

Revisión bibliográfica

En esta era, la tecnología blockchain se erige como una innovación fundamental que ofrece eficiencia en la verificación operativa y regulatoria, así como visibilidad en numerosos sectores de la economía⁽⁵⁾. Una blockchain funciona como una serie descentralizada y en constante expansión de registros, denominados "bloques", que están interconectados en una secuencia a través de un proceso que requiere el consenso entre una serie de pares. Cada bloque de la cadena contiene numerosas transacciones, un hash criptográfico de su predecesor y una marca de tiempo⁽⁶⁾. Cualquier alteración de los datos de un bloque puede desencadenar un efecto dominó que potencialmente perturbe toda la cadena. Al procesar los datos, todos los ordenadores de la red se sincronizan simultáneamente y forjan un registro digital permanente e inalterable.

El sistema blockchain también establece las normas sobre quién puede añadir nuevos bloques y los requisitos para hacerlo. Entre las características distintivas de la cadena de bloques está su capacidad para compartir datos y transacciones en una red de pares inmutable y mejorar la transparencia y la seguridad. Inicialmente destacada en las transacciones financieras y de criptomoneda, la cadena de bloques ha sido adoptada por muchos otros sectores, como el turismo, la fabricación, la logística, las ciudades inteligentes y el transporte, todos los cuales aprovechan sus sólidas características de seguridad y privacidad⁷⁻⁹.

Es importante señalar que blockchain no es un concepto monolítico, sino más bien un conjunto de tecnologías hábilmente combinadas que producen características deseadas como la inmutabilidad y la descentralización. Los componentes básicos más importantes incluyen ideas clave como la marca de tiempo vinculada, la criptografía de clave pública y los contratos inteligentes¹⁰ y permiten propiedades como la flexibilidad, la opacidad, el rendimiento, la política, la practicidad y la seguridad⁽¹¹⁾. En consecuencia, las plataformas emergentes pueden ser conceptualmente muy diferentes y estar abiertas a cualquiera ("públicas") o restringidas a un grupo de entidades ("privadas", "consorcio").

Del mismo modo, existen diferentes formas de alcanzar el consenso en una red entre iguales. El mecanismo más conocido es Proof-of-Work, en el que se utiliza energía para determinar quién es elegible para añadir un nuevo bloque a la cadena. Sin embargo, existen mecanismos alternativos, como el Proof-of-Stake, en el que los validadores se seleccionan en función de la cantidad de participaciones en una moneda o criptomoneda específica⁽¹²⁾.

En el resto de este artículo, los autores se abstraen de una implementación específica y utilizan el término cadena de bloques para denotar un sistema que produce las propiedades deseadas mencionadas anteriormente.

Blockchain tiene el potencial de revolucionar la gestión de la atención sanitaria a través del modo en que se gestionan, comparten y protegen los datos^(13,14). La tecnología blockchain puede utilizarse para abordar problemas fundamentales como la fragmentación de los datos, los problemas de interoperabilidad, las vulnerabilidades de seguridad y los elevados costes operativos, estableciendo así nuevos estándares en la gestión de los datos sanitarios. Las repercusiones de la cadena de bloques van más allá de la eficiencia operativa y mejoran fundamentalmente la atención y la seguridad de los pacientes. En lo que respecta a la atención al paciente, la cadena de bloques puede aplicarse para garantizar datos sanitarios precisos y completos y permitir a los profesionales sanitarios tomar decisiones más informadas^{15,16}. También puede ayudar a facilitar una visión más completa del historial médico de un paciente, incluidas alergias anteriores, historial de medicación, tratamientos anteriores, y permitir una atención más personalizada, coordinada y eficaz¹⁷. Esto es especialmente crucial en caso de emergencias, donde el acceso inmediato al historial del paciente puede salvar vidas.

La naturaleza segura y uniforme de los datos almacenados en blockchain abre nuevas vías para la investigación médica. Por ejemplo, los investigadores pueden acceder a grandes cantidades de datos de pacientes anonimizados y garantizar conjuntos de datos sólidos para ensayos y estudios técnicos, lo que puede acelerar el desarrollo de nuevos tratamientos y medicamentos, beneficiando en última instancia la atención al paciente. Como blockchain permite la trazabilidad y auditabilidad de cada transacción de datos, los pacientes pueden rastrear el uso de sus datos y conceder o revocar el acceso a sus historiales médicos, lo que garantiza una mayor privacidad y autonomía. Este empoderamiento y el enfoque centrado en el paciente no solo aumentan la confianza en el sistema sanitario, sino que también animan a los pacientes a implicarse más en la gestión de su salud y a compartir sus datos para ensayos clínicos e investigación médica¹⁸.

A medida que se intensifica la atención prestada a la privacidad y seguridad de los datos, los proveedores sanitarios también se enfrentan a estrictos requisitos normativos. Las características inherentes a blockchain, como la inmutabilidad de los datos y las pistas de auditoría automáticas, ayudan a cumplir estas normas¹³. Además, blockchain reduce el riesgo de manipulación de datos y ayuda a mitigar el fraude, que constituye una preocupación importante en la facturación sanitaria y las reclamaciones de seguros⁽¹⁹⁾.

A la luz del problema del fraude farmacéutico, el problema generalizado de los medicamentos falsificados puede abordarse eficazmente mediante la mejora de la trazabilidad de los medicamentos en blockchain²⁰, garantizando la autenticidad de los productos farmacéuticos a lo largo de su cadena de suministro, desde la producción hasta la entrega al cliente. Las transacciones inmutables y con sello de fecha y hora en blockchain hacen que sea extremadamente difícil que los medicamentos falsificados penetren en la cadena de suministro legítima. Blockchain puede mejorar la fiabilidad y exactitud de los datos relacionados con los ensayos clínicos y la medicina de precisión.

Esto es especialmente importante para garantizar la integridad de los datos de los ensayos clínicos y mejorar los análisis. Para la medicina de precisión, el papel de blockchain en la gestión segura de las secuencias genómicas permite a las personas controlar sus datos genéticos²¹, lo que contribuye a estrategias de tratamiento proactivas para las enfermedades hereditarias genéticamente, lo que supone un gran avance en la atención sanitaria personalizada. En situaciones de emergencia, blockchain puede abordar la necesidad de un acceso consistente a los datos de los pacientes. Su uso de contratos inteligentes y claves criptográficas proporciona una gestión segura y sin fisuras del acceso a los datos, reduciendo así los errores y acelerando el proceso de recopilación de datos en situaciones críticas.

Los riesgos de ciberseguridad a los que se enfrentan los sistemas de telesalud -incluidas las violaciones de datos, el acceso no autorizado y la susceptibilidad- pueden superarse con la adopción de blockchain, ya que la tecnología ayuda a mejorar la seguridad y la privacidad, aunque su integración puede aumentar los costes, especialmente en zonas remotas.²² La tecnología blockchain también puede establecer un sistema de gestión de la identidad del paciente fiable y a prueba de manipulaciones, necesario en el entorno actual de prestación de asistencia sanitaria física y virtual.²³

Los avances de blockchain en términos de transparencia de datos y eficiencia de intercambio también son clave para detectar reclamaciones y mejorar la precisión de la cobertura de los seguros sanitarios. Esto se debe al potencial de la tecnología para automatizar transacciones y registrar acuerdos a través de contratos inteligentes, que minimizan la necesidad de intervención de terceros y agilizan los procesos administrativos.

Por último, la adopción de blockchain en los procesos de facturación, especialmente en las reclamaciones de seguros, garantiza el almacenamiento de datos y un procesamiento más rápido de las transacciones, lo que se traduce en menores costes operativos. En general, la aparición de blockchain desempeña un papel crucial en el aumento de la eficiencia, la seguridad y la fiabilidad de una amplia gama de procesos sanitarios, fomentando el desarrollo de un sistema sanitario más cohesionado y centrado en el paciente. Sin embargo, la dirección que tome este desarrollo no está necesariamente predeterminada, y existe un enorme potencial para crear sistemas basados en blockchain que sean más ágiles, eficaces y, lo que es más importante, que tengan en cuenta los intereses de los pacientes.

Cuestiones de investigación

El sector sanitario se enfrenta a problemas importantes y polifacéticos. Para producir soluciones viables, es crucial que las partes interesadas importantes colaboren y creen soluciones que redunden en beneficio de los pacientes. El denominador común de la mayoría de los problemas pendientes son los datos de los pacientes, que constituyen el núcleo de todo sistema sanitario. En comparación con otros sectores de la industria, pueden considerarse más sensibles a las violaciones de la privacidad y deben ser precisos y estar actualizados. Por ello, en este artículo planteamos las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuáles son los problemas existentes en la gestión de datos sanitarios?
- ¿Quiénes son los principales interesados en la gestión de datos sanitarios?
- ¿Cómo pueden beneficiarse los pacientes del potencial de la tecnología blockchain?
- ¿Cómo puede ayudar blockchain a almacenar, procesar y transferir datos?
- ¿Cuáles son los temas futuros más importantes relacionados con la innovación de blockchain en la gestión de datos sanitarios?

Metodología

En junio de 2023, un grupo de expertos se reunió en la conferencia ConV2X (<https://conv2xsymposium.com/>) para debatir sobre cómo la cadena de bloques y las tecnologías descentralizadas podrían remodelar el futuro del almacenamiento, el intercambio, la privacidad y el acceso a los datos sanitarios. Moderado por el catedrático Horst Treiblmaier, de la Universidad Modul de Viena, el grupo interdisciplinar de expertos aportó diversas perspectivas que abarcaban la sanidad, la tecnología, la investigación y las políticas públicas.

El panel estaba formado por expertos en blockchain y atención sanitaria del sector y del mundo académico. Mike Gault (G), fundador y consejero delegado de Guardtime, desplegó en 2008 la primera cadena de bloques en el sector sanitario en Estonia, que sigue utilizándose en la actualidad. Anjum Khurshid (Dr. Khurshid), científico jefe de datos del Harvard Pilgrim Health Care Institute y miembro del cuerpo docente de la Facultad de Medicina de Harvard, ha ayudado a crear intercambios de información sanitaria para conectar historias clínicas electrónicas (HCE) y sistemas de apoyo a la toma de decisiones clínicas dentro de las HCE, así como una plataforma de gestión de la identificación basada en blockchain llamada MediLinker.²⁴ Alex Norta (Dr. Norta), investigador y emprendedor, fundó Dymaxion, una empresa centrada en la autenticación de identidad auto-soberana multifactorial. Jim Poteet (Sr. Poteet), de Oracle Cerner, tiene 25 años de experiencia en el sector sanitario y es propietario de una patente sobre intercambio de datos clínicos. Suresh Sivagnanam, empresario, inversor, director y presidente en los sectores de la sanidad y la educación superior, fundó anteriormente vdoc, una plataforma sanitaria mundial alternativa que ofrece servicios de telemedicina, y ahora desarrolla Aider, una solución sanitaria mundial unificada que integra servicios de telemedicina y atención primaria. La conversación, de una hora de duración, se transcribió íntegramente. El análisis siguió las prácticas establecidas de análisis de contenido cualitativo e incluyó un proceso de codificación en el que las partes relevantes del texto de la entrevista se agruparon en categorías. El resultado fue la creación de un sistema de categorías que identifica los temas centrales relacionados con la gestión de datos sanitarios e ilustra cómo se relacionan entre sí. El análisis se realizó de forma inductiva e iterativa, de modo que las categorías emergentes se fueron perfeccionando hasta alcanzar un acuerdo entre todos los investigadores²⁵.

a todos los expertos participantes para su perfeccionamiento y confirmación final.

Resultados

En las siguientes secciones, comenzamos esbozando los problemas existentes en el sistema sanitario, lo que proporciona un punto de partida para profundizar en cómo pueden abordarse con la tecnología blockchain. Tras mencionar brevemente los problemas pendientes y reconocer la multitud de partes interesadas en este complejo entorno, nos centramos en los problemas de los pacientes y las posibles ventajas que podrían experimentar con las soluciones basadas en blockchain. A continuación, analizamos en profundidad varias propiedades importantes de los datos que merecen mayor atención. Terminamos esta sección con una perspectiva de lo que puede deparar el futuro y un marco de investigación exhaustivo que destaca varios temas importantes que deben abordarse mediante el desarrollo de aplicaciones prácticas o una investigación académica rigurosa.

Problemas actuales

Para empezar, los panelistas señalaron los principales problemas que aquejan al sistema sanitario actual. Algunos de esos problemas están causados por la demografía de la población en relación con los profesionales sanitarios en activo, expresada en afirmaciones como "una población globalmente envejecida, muy pocos profesionales sanitarios que pasan por la red" (Sr. Siva-gnanam). A pesar de la relevancia del problema y de la urgencia de la situación, los intereses contrapuestos o la negligencia general impiden el desarrollo de soluciones viables: "Es muy difícil conseguir la colaboración entre los distintos departamentos gubernamentales, en particular el de sanidad" (Dr. Gault). Toda la situación se complica por el hecho de que "[los sistemas actuales] funcionan en marcos jurídicos y normativos que probablemente se desarrollaron hace 10 o 20 años" (Dr. Khurshid). Desde una perspectiva global, la situación se complica aún más debido a la falsificación de medicamentos: "En los últimos años, la tecnología ha evolucionado sustancialmente, abriendo nuevas vías para el almacenamiento, el procesamiento y la recuperación de datos. Paralelamente, ha aumentado la concienciación general sobre el valor de los datos personales y su digna protección. Los legisladores han reconocido esta evolución y han aprobado leyes más estrictas que atienden a las necesidades del individuo y aumentan las responsabilidades de quienes recopilan y almacenan información sensible.

Hay que evitar situaciones en las que la información sea fácilmente accesible a personas no autorizadas, como ilustra (la Dra. Norta): "La enfermera era un poco curiosa y, sin tener permiso para ello, se asomó a los historiales médicos". Sin embargo, dada la velocidad de la transformación actual, se espera que la respuesta de los gobiernos vaya con retraso: "Serán reactivos y se retrasarán de

10 o 15 años" (Dr. Khurshid). Incluso países muy avanzados en la aplicación de la tecnología en el sector sanitario podrían no explotar todo el potencial de la tecnología: "El carné de identidad estonio no basta, y hay muchos otros ejemplos en otros países que funcionan igual" (Dr. Gault). Lo mismo ocurre especialmente en las grandes economías: "La sanidad en el mercado estadounidense es muy lenta a la hora de cambiar desde el punto de vista tecnológico" (Sr. Potet).

Además, hay que tener en cuenta que los pacientes son cada vez más conscientes de su vulnerabilidad ante el uso indebido de los datos. Este uso indebido puede agravarse si se comparte información sensible en sistemas gestionados de forma centralizada: "Crear otra base de datos compartida y conseguir que la gente cargue datos en un sistema centralizado nunca va a suceder. Nunca tendrá éxito porque nadie quiere cambiar su comportamiento ni compartir sus datos de una forma que no puede controlar" (Dr. Gault).

La pandemia de COVID-19 también ha desencadenado un importante cambio en el comportamiento de los consumidores, de modo que cada vez más personas que padecen una dolencia intentan buscar información relacionada con la salud en Internet, lo que puede causar problemas: "Tratar de entender lo que significa lleva a conclusiones erróneas sobre el riesgo o los tipos de tratamientos que pueden estar disponibles" (Dr. Khurshid). En este sentido, un importante factor de éxito será producir soluciones técnicas y asesorar al público en general sobre las ventajas que puede ofrecer la tecnología blockchain: "No es el coste de la tecnología, es el coste de educar a toda la población sobre cómo utilizarla" (Dr. Gault). Para terminar, el papel de la información en el sector sanitario es clave: "Es mucho más complicado que en muchos otros sectores en lo que respecta al uso que hacen de la información tanto los consumidores como quienes la facilitan" (Dr. Norta).

Las partes interesadas y el entorno jurídico

El sector sanitario es complejo y está compuesto por numerosas partes interesadas, cuyas funciones y relevancia difieren de un país a otro. En este artículo, situamos a los pacientes en el centro y adoptamos una perspectiva centrada en los datos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el entorno general de esta industria ha evolucionado a lo largo de numerosas décadas, y que muchas partes interesadas tienen un gran interés en configurar activamente la evolución actual. Los proveedores de servicios sanitarios son profesionales directamente implicados en la atención al paciente (médicos, enfermeros, terapeutas, etc.) y son quienes prestan los servicios médicos. Estos servicios se prestan regularmente en instituciones sanitarias (por ejemplo, hospitales y clínicas) que son responsables de la dotación de personal, la infraestructura general y la coordinación de todas las actividades. Los profesionales suelen organizarse en asociaciones que defienden sus intereses y establecen normas para el sector. Los intereses de los pacientes están salvaguardados por grupos de defensa que se esfuerzan por influir en la política, concienciar sobre los problemas pendientes y mejorar la calidad de la atención sanitaria.

Las empresas farmacéuticas y de productos sanitarios impulsan la investigación y la innovación y desempeñan un papel importante en la distribución de productos farmacéuticos. Además, las actividades de investigación y docencia pueden ser llevadas a cabo por entidades especializadas en tecnología e investigación, así como por instituciones educativas. En el caso de que la innovación esté impulsada por la tecnología, como es el caso de blockchain, las startups pueden desempeñar un papel importante como adoptadores tempranos de la innovación y en el desarrollo de soluciones innovadoras que potencialmente pueden perturbar los modelos de negocio existentes: "Actualmente no hay forma [...] de tener un supersistema que, desde un punto de vista legal, nos permita compartir datos de forma efectiva con organizaciones del sector público en Estados Unidos o el Reino Unido. Tiene que ser un disruptor" (Sr. Sivagnanam). El marco jurídico/normativo lo proporcionan los gobiernos y los organismos reguladores asociados, que establecen las políticas y los procedimientos para la prestación de asistencia sanitaria y también pueden ser responsables de la financiación, la investigación y la puesta en marcha de iniciativas sanitarias. Sin embargo, "la mayoría de los marcos legales para blockchain son una reacción a lo que está ocurriendo en los mercados financieros más que a lo que es su potencial para los servicios sociales y para la salud" (Dr. Khurshid). Cuando se trata de información sanitaria personal, las leyes de protección son especialmente estrictas. Por ejemplo, en la Unión Europea, el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), que no es específico de la sanidad, tiene importantes implicaciones para el manejo y tratamiento de los datos sanitarios. Hace hincapié en la protección de los datos personales y refuerza los derechos de las personas en relación con sus datos. Además, obliga a las organizaciones a obtener el consentimiento previo a la recogida y el tratamiento de datos personales y a demostrar que cumplen el RGPD. En Estados Unidos, la Ley de Portabilidad y Responsabilidad de los Seguros Sanitarios (HIPAA) cubre varios temas relacionados con los datos sanitarios con el objetivo de proteger la información sensible para que no se divulgue sin el consentimiento del paciente. En el Reino Unido, el objetivo de la Agencia de Seguridad Sanitaria no es solo proteger a las personas de las amenazas para la salud, sino también controlar el uso de la información personal⁽²⁶⁾

Pacientes

En el centro de nuestro marco están los pacientes y sus datos sanitarios personales. Los pacientes tienen expectativas específicas sobre los servicios que reciben de los proveedores sanitarios. Sin embargo, en este contexto es importante centrarse en la calidad y el tratamiento de sus datos sensibles. En este sentido, blockchain es una de las tecnologías que pueden mejorar el sistema sanitario actual y beneficiar a los pacientes de muchas maneras. Uno de los temas centrales para los pacientes es la confianza, que se refiere a la confianza en las organizaciones para manejar sus datos de manera adecuada, pero también la confianza en que estos datos pueden ser

en interés del paciente de la manera más eficiente y eficaz.

Estrechamente relacionada con la confianza está la percepción de la privacidad, que puede garantizarse manteniendo la confidencialidad de la información personal. En última instancia, para desencadenar un cambio sostenible, debe quedar claro para los pacientes cómo pueden beneficiarse potencialmente de una solución basada en blockchain.

Confianza y privacidad

La confianza en los sistemas sanitarios suele ser doble: "no sólo en los datos, sino también en quién presta esos servicios" (Dr. Khurshid). La confianza está estrechamente relacionada con el tema de la autenticación para poder certificar la fuente de los datos y las personas autorizadas a utilizarlos o acceder a ellos. Quienes prestan servicios a los pacientes, como los médicos, también necesitan confiar en los datos de que disponen para tomar las mejores decisiones clínicas en interés de sus pacientes. En este sentido, los avances actuales pueden presagiar la aparición de una economía "máquina a todo" en la que "los humanos tienen wearables y se relacionan directamente con los sistemas" (Dr. Norta).

Para lograr un nivel de confianza deseable, es crucial ser transparente y comunicar las ventajas que la cadena de bloques puede aportar a los pacientes. La inmutabilidad de la información en la cadena de bloques ofrece protección contra el fraude y la manipulación de los datos de los pacientes. En concreto, "es importante entender lo que realmente estamos intentando conseguir en términos de confianza con el usuario final" (Sr. Sivagnanam).

En resumen, los sistemas sanitarios basados en blockchain deben poseer la "capacidad de verificar y buscar registros de pacientes y obtener un resultado verificable sin destruir la privacidad" (Dr. Gault). Esto puede lograrse devolviendo a los pacientes el control sobre sus datos a través de "un MPI (Índice Maestro de Pacientes) que yo controlo como paciente. Y yo sólo tengo punteros a todos los sistemas que tienen mis datos" (Sr. Poteet).

Beneficios esperados

Como ocurre con cualquier nueva tecnología, la introducción de sistemas basados en blockchain puede crear expectativas entre los pacientes sobre la funcionalidad y los cambios que pueden aportar. Obviamente, la cadena de bloques se aplicará como tecnología backend, manteniendo el front end sencillo y fácil de usar, pero las implicaciones de estos cambios deben comunicarse a los pacientes.

Además de capacitar a los usuarios del sistema, también es importante que los pacientes experimenten realmente la sensación de tener el control: "Los pacientes quieren poder autorizar algún tipo de transferencia de datos" (Sr. Sivagnanam).

Para facilitar el intercambio controlado de datos, blockchain puede basarse en el concepto de tokenización: "Pueden descargar el token y decidir con quién quieren compartir esa información" (Dr. Gault). Desde el punto de vista del paciente, el uso de tokens puede ofrecer lo siguiente

ventaja de poder acceder fácilmente a datos importantes en todo el mundo: "Y entonces yo [...] diré, aquí está el historial de mi paciente, coja todos los detalles que quiera de él [...] lo que significa que dondequiera que viaje por el mundo, daré a cualquier médico acceso a ese historial" (Sr. Sivagnanam). Aparte de las cuestiones relativas a los datos sensibles, esto también podría abrir oportunidades para reducir costes, lo que en última instancia puede suponer un ahorro para las instituciones sanitarias y los pacientes: "Hay una gran oportunidad de reducir los costes para los proveedores y los pagadores" (Poteet).

Una de las principales características de blockchain es la descentralización, que se refiere a la eliminación de intermediarios. Ideado originalmente para el sector financiero, el mismo concepto podría ser igualmente pertinente para el sector sanitario, lo que crea oportunidades de ahorro de costes tanto para los pacientes como para los proveedores de servicios sanitarios: "Hay toda una industria intermedia en el mercado estadounidense que monetiza la recopilación de estos datos. Hay toda una industria intermedia en el mercado estadounidense que monetiza la recopilación de estos datos, por lo que existe una gran oportunidad de reducir el coste para los proveedores y los pagadores en este caso" (Poteet).

Datos

En lo que respecta a la relevancia de los datos, el análisis de contenido cualitativo arrojó cuatro categorías importantes en las que blockchain puede inducir cambios importantes: La integridad de los datos, de forma que resulte imposible realizar alteraciones no deseadas; el nivel de seguridad de los datos durante el almacenamiento y las transacciones; la creación de sistemas interoperables que faciliten el intercambio de datos y, por último, la compartición y transferencia de datos altamente sensibles.

Es importante señalar que las dos primeras categorías son atributos de los datos, la tercera es un atributo del sistema y la cuarta se refiere a una actividad. Así pues, las categorías no son disjuntas, sino que están interrelacionadas.

Integridad

La integridad de los datos se refiere a su exactitud y coherencia a lo largo de todo su ciclo de vida. Además, garantiza que los datos no han sido manipulados, lo que encaja perfectamente con una característica fundamental de la cadena de bloques: la inmutabilidad de los datos garantizada por medios criptográficos. Esto implica que los datos pueden verificarse tan pronto como se escriben en la cadena de bloques, y no se necesitan intermediarios de confianza para esta tarea: "Tienen una pista de auditoría, tienen procedencia, y se pueden verificar sin tener que confiar en todas las partes intermedias que han estado gestionando esos registros" (Dr. Gault).

Otra característica importante de blockchain es su capacidad para proporcionar acceso compartido a un grupo de entidades autorizadas. Esto implica que varias partes verifiquen independientemente la calidad de los datos: "para que cualquiera pueda garantizar que los registros sanitarios son coherentes" (Dr. Gault).

Seguridad

En una palabra, "seguridad" se refiere a todas las medidas que protegen los datos del acceso no autorizado, la alteración, la divulgación, el robo o la eliminación. Una vez más, aquí es donde las propiedades de blockchain resultan útiles: "La oportunidad para blockchain y la sanidad siempre ha sido la seguridad" (Dr. Gault). En este sentido, una cuestión fundamental es combinar la seguridad de los datos con la autenticación de los usuarios del sistema: "Porque no es posible gestionar el acceso de forma tan precisa como con los conjuntos de desafíos multifactoriales" (Dr. Norta). En combinación, los componentes básicos de la cadena de bloques, como la inmutabilidad del libro de contabilidad subyacente, el uso de la criptografía, las sofisticadas formas de alcanzar el consenso, así como la transparencia y la auditabilidad, permiten el diseño de sistemas innovadores que mejoran la seguridad de los datos sensibles de los pacientes.

Interoperabilidad

La interoperabilidad se refiere a la capacidad de los sistemas de HCE para comunicarse e interactuar sin problemas entre sí. En este sentido, la estructura de red descentralizada de blockchain facilita el intercambio de datos entre entidades como hospitales e instituciones de investigación, la mejora de la seguridad facilita el intercambio de datos, las plataformas pueden aplicar normas uniformes y la eliminación de intermediarios hace que el intercambio de datos sea más eficiente. En consecuencia, los expertos prevén un gran impacto en el sistema sanitario, formado por numerosas partes interesadas que necesitan acceder a la información y que pueden trabajar en sistemas dispares, muchos de los cuales pueden ser incluso propietarios. "La interoperabilidad es necesaria porque nunca va a haber una HCE en un país o una región, sino varias" (Poteet).

Además de la necesidad de coordinar e integrar estos sistemas para mejorar la asistencia sanitaria a los pacientes, en algunos países también existe una fuerte presión externa para aumentar la colaboración en el sector: "Ha habido una política federal que ha obligado a algunos de estos actores a interoperar" (Dr. Khurshid). Dado que los sistemas sanitarios suelen tener una fuerte conexión con instituciones estatales, esto incluye la participación de organizaciones públicas: "La interoperabilidad es el reto, no sólo en la sanidad, sino también en la administración" (Dr. Gault). Esta cuestión también está estrechamente relacionada con el problema de integrar los datos para que la información necesaria esté disponible de inmediato: "el compromiso de conseguir sobre la marcha historiales médicos personales que se integren dinámicamente en los historiales médicos electrónicos más estáticos que gestionan los hospitales" (Dr. Norta).

Compartir y transferir

Un sistema basado en blockchain puede cambiar radicalmente la forma en que se manejan los datos sanitarios. En el centro del problema está la necesidad de compartir y transferir datos

sensibles, que no sólo pueden ser interceptados durante la transmisión, sino que, una vez compartidos, están disponibles en numerosos lugares: "¿Cómo podemos transferir esos datos a escala mundial de forma segura, auténtica, de un modo que eluda efectivamente todo lo que es problemático en este momento?" (Sr. Sivagnanam).

Como posible solución, en lugar de enviar y compartir datos, se puede conceder acceso a un sistema de cadena de bloques con datos verificables: "No estás enviando datos empaquetados a través del cable. Se está permitiendo ese modelo de intercambio API en el que los datos permanecen en el sistema original durante todo el proceso" (Sr. Poteet). Esto va unido a la concesión de derechos adicionales a los pacientes, que pueden autorizar el acceso a los datos caso por caso: "Pero, al mismo tiempo, ellos deciden con quién quieren compartir los datos, en lugar de cargarlos en un sistema centralizado.

base de datos" (Dr. Gault). La autoautorización también brinda la oportunidad de reducir los costes de transacción: "Cuando uno desea compartir sus datos con alguien, tiene el control para hacerlo y dispone de un mecanismo, y el gasto de trasladar los datos a una base de datos centralizada desaparece" (Sr. Poteet).

Por último, un factor importante relacionado con los datos de los pacientes es la legislación y la necesidad de cumplirla: "Cada país y cada jurisdicción tiene su propia forma de tratar los historiales de sus pacientes" (Sr. Sivagnanam).

Marco de investigación y temas futuros

La figura 1 resume y contextualiza los principales componentes de nuestro marco de trabajo. Las fuerzas decisivas, que influyen en el desarrollo desde el exterior, son la industria sanitaria existente, que impulsa

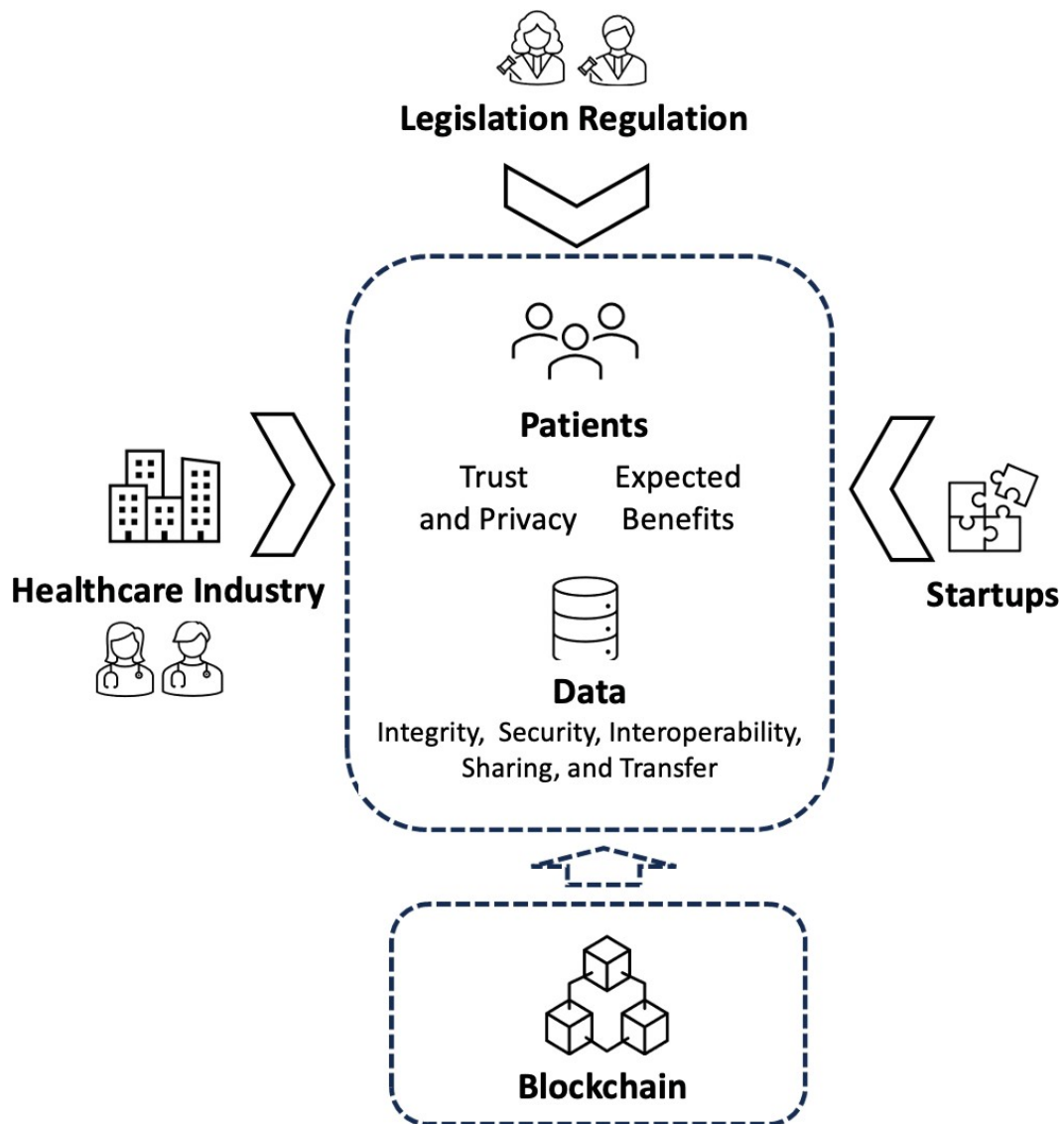


Fig. 1. Componentes básicos de la gestión de datos sanitarios: partes interesadas, pacientes y datos.

Las empresas innovadoras, por el contrario, no tienen sistemas heredados que puedan determinar su forma de operar y pueden ser de las primeras en implantar soluciones basadas en blockchain para la gestión de datos sanitarios. Por el contrario, las nuevas empresas innovadoras no tienen sistemas heredados que puedan determinar su forma de operar, y pueden ser de las primeras en aplicar soluciones basadas en blockchain para la gestión de datos sanitarios.

Todos los agentes operan dentro de un marco jurídico y normativo que determina los límites del sistema. Y lo que es más importante, este marco también puede analizarse a nivel supranacional, lo que limita la flexibilidad estratégica de cada país y hace necesaria la cooperación internacional para promover el cambio.

En la parte inferior de la Figura 1 se muestra blockchain como principal motor de la disrupción tecnológica. A pesar de que la tecnología, o más bien el conjunto de tecnologías, es polifacético y está en constante desarrollo, postulamos que la aplicación de libros de contabilidad distribuidos abre innumerables oportunidades en el sector sanitario y puede ayudar a resolver numerosos problemas pendientes. Los pacientes y sus datos constituyen el núcleo del entramado. A los pacientes les preocupa sobre todo el uso correcto de sus datos altamente sensibles y necesitan confiar en la tecnología para poder adoptarla. Además, tienen expectativas específicas y necesitan ver beneficios concretos para estar dispuestos a cambiar el statu quo. Desde el punto de vista de los datos, es crucial garantizar su integridad y seguridad y desarrollar soluciones que fomenten la interoperabilidad y el intercambio de datos entre las soluciones existentes y futuras.

Para concluir el debate, se pidió a los expertos que propusieran futuros temas relacionados con los datos sanitarios que merecieran una mayor investigación y que pudieran apoyarse en la tecnología de cadena de bloques. A este respecto, se mencionó varias veces la gestión de la identidad. Como señala (Dr. Khurshid), "Ser capaz de garantizar la identidad es un papel muy importante en la asistencia sanitaria del futuro". Esto lo confirma (Dr. Norta), que también subraya la importancia de lograr una autenticación de identidad autosuficiente que se base en múltiples factores.

Además, también es posible capitalizar la experiencia adquirida con la aplicación de blockchain en diferentes casos de uso, como los tokens no fungibles (NFT), que se han utilizado anteriormente para crear comunidades. Utilizando las mismas prácticas, blockchain puede emplearse para "asignar NFT a productos serios como la medicina" (Dr. Norta). Por intrigantes que sean los potenciales de la tecnología blockchain, para que tenga éxito deben desarrollarse soluciones integradas que estén "encima de los sistemas de los distintos proveedores de todo el país que permiten a los individuos acceder a sus datos sanitarios. También tienen que vincular los datos financieros de la atención sanitaria" (Sr. Poteet).

Por último, la percepción que tengan los pacientes de lo que la tecnología puede hacer por ellos o de las posibles amenazas asociadas a ella será

en última instancia, determinan su éxito: "El reto es conseguir la tecnología adecuada para no asustar a la gente con la privacidad y la colocación de historiales médicos en lugares a los que otros puedan acceder" (Dr. Gault). El cuadro 1 resume los temas tratados enumerando numerosas preguntas de investigación importantes, muchas de las cuales pueden responderse con enfoques cualitativos o cuantitativos de las ciencias sociales. Las preguntas sobre el "cómo" indican que un enfoque de ciencia del diseño podría ser adecuado, con el objetivo de diseñar y desarrollar sistemas que demuestren la viabilidad de una idea o enfoque específicos.

Debate

La literatura académica previa ha identificado numerosas áreas en las que la tecnología blockchain puede contribuir a una gestión sanitaria más eficaz y eficiente. El sector ya ha producido aplicaciones prometedoras que permiten vislumbrar cómo la tecnología puede añadir valor en esta importante industria.

En este artículo, hemos utilizado el análisis de contenido cualitativo para resumir las conclusiones de un panel de expertos sobre la transformación de la cadena de bloques en la gestión de datos sanitarios. Empezamos discutiendo varios problemas pendientes y luego presentamos un marco emergente que describe a los actores existentes en la industria sanitaria, las startups como potenciales disruptores y el contexto legal/regulatorio.

Los pacientes están en el centro de nuestro marco. Por un lado, los pacientes esperan un cierto nivel de privacidad en relación con sus datos sensibles y también necesitan confiar en el sistema general. Por otro lado, tienen expectativas específicas sobre cómo pueden beneficiarse las soluciones innovadoras. Desde el punto de vista de los datos, identificamos la integridad, la seguridad, la interoperabilidad y el intercambio/transferencia como temas importantes.

Completamos nuestro análisis con importantes temas de futuro identificados por los expertos y la formulación de preguntas de investigación pertinentes para cada uno de ellos. Estas preguntas pretenden inspirar nuevas investigaciones por parte de profesionales y académicos, y deberían impulsar el diseño y desarrollo de aplicaciones que puedan abordar los retos existentes y aportar valor.

Nuestro estudio tiene varias limitaciones. En primer lugar, los conocimientos especializados son específicos de la experiencia y los conocimientos de los expertos del panel. Aunque garantizamos una amplia experiencia práctica y académica de los participantes, es posible que un grupo diferente de expertos de otras regiones geográficas, especialidades sanitarias y conocimientos técnicos propusiera temas adicionales. Dado que se trataba de un foro exploratorio, no hemos ponderado la importancia de los distintos temas. Sin embargo, esto no debería ser un problema importante, y dejamos que futuros estudios perfeccionen el marco que hemos generado aquí.

En segundo lugar, no discutimos en detalle las implicaciones éticas de la creciente adopción de blockchain en el sector sanitario.

Tabla 1. Cuestiones de investigación, con blockchain como principal motor de la disrupción tecnológica

Tema	Preguntas de investigación
Retos actuales	<ul style="list-style-type: none"> • Dado el envejecimiento de la población y la escasez de profesionales sanitarios, ¿cómo puede garantizarse una prestación sanitaria adecuada? • ¿Cómo puede fomentarse la colaboración entre las principales partes interesadas del sector sanitario? • ¿Cuál es el estado actual de la legislación/regulación, y de qué manera fomenta o inhibe la introducción de la tecnología blockchain? • ¿Cómo puede eliminarse o reducirse la falsificación de medicamentos? • ¿Cuál es el estado actual de los sistemas sanitarios [en los distintos países] y de qué manera tiene en cuenta las necesidades de los pacientes? • ¿Cuál es el estado actual de la privacidad de los datos en los sistemas sanitarios? • ¿Cuáles son los principales factores que impulsan la adopción de sistemas sanitarios desde la perspectiva del paciente?
Partes interesadas y entorno jurídico	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la concienciación de los pacientes sobre el uso de la información personal en el sistema sanitario? • ¿Cómo afecta la introducción de soluciones basadas en cadenas de bloques a las partes interesadas del sistema sanitario? • ¿Qué cambios son necesarios en el marco jurídico/regulatorio actual en caso de que se introduzcan soluciones basadas en cadenas de bloques?
Pacientes: confianza y privacidad	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la percepción de los pacientes sobre el uso de sus datos personales en los sistemas sanitarios? • ¿Cómo puede diseñarse una economía de "máquina a todo" en el ámbito sanitario que redunde en beneficio de los pacientes? • ¿Cómo pueden diseñarse los sistemas sanitarios para equilibrar las necesidades de privacidad de los pacientes con la fácil disponibilidad de la información?
Pacientes: Beneficios esperados	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el nivel de capacitación subjetiva de los pacientes en relación con el uso de sus datos en los sistemas sanitarios? • ¿Puede la tokenización facilitar el intercambio de información sensible de los pacientes? • ¿Qué ahorro de costes es posible en los sistemas sanitarios basados en blockchain y cómo pueden beneficiarse los pacientes de este ahorro?
Datos: Integridad	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo puede aplicarse blockchain para diseñar y desarrollar sistemas que ofrezcan integridad de los datos? • ¿Quiénes son las partes interesadas importantes en los datos sanitarios de los pacientes y cómo pueden acceder a ellos en caso de necesidad, incluso para la coordinación de la asistencia?
Datos: Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué propiedades básicas de la cadena de bloques afectan a la seguridad de los datos de los pacientes? • ¿Cómo pueden diseñarse los sistemas centrándose en la seguridad de los datos sanitarios?
Datos: Interoperabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el papel de la legislación y la reglamentación en lo que respecta a la interoperabilidad de los sistemas sanitarios basados en blockchain? • ¿Cómo pueden diseñarse sistemas de datos sanitarios que se comuniquen e interactúen a la perfección?
Los datos: Compartir y transferir	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Puede sustituirse la transferencia de datos sensibles de los pacientes permitiendo el acceso a un sistema basado en blockchain caso por caso? • ¿Cómo pueden adaptarse los sistemas basados en cadenas de bloques a las normas y legislaciones nacionales en materia de intercambio y transferencia de datos de pacientes?
Temas futuros	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo garantizar la identidad de los pacientes? • ¿Puede contribuir blockchain al diseño y desarrollo de la identidad autosuficiente en la gestión sanitaria? • ¿Cómo pueden aplicarse las NFT para agilizar las aplicaciones existentes (relacionadas con el paciente o con la medicación)? • ¿Qué percepción tienen los pacientes de los sistemas de datos sanitarios basados en blockchain? • ¿Cuáles son las expectativas de los pacientes respecto a los sistemas de datos sanitarios basados en blockchain?

Las preguntas sobre el "cómo" indican que un enfoque de ciencia del diseño podría ser adecuado, con el objetivo de diseñar y desarrollar sistemas que demuestren la viabilidad de una idea o enfoque específicos. NFT: datos no fungibles.

de la industria, especialmente cuando se trata de temas como el consentimiento del paciente y la propiedad de los datos. En cuanto a futuras investigaciones, animamos a los académicos a utilizar las cuestiones que planteamos como puntos de partida para sus propias investigaciones y a profundizar en los respectivos temas, cada uno de los cuales merece una investigación exhaustiva. Esto se refiere especialmente a la realización de estudios de casos, que ilustren la

que ilustren la aplicabilidad de blockchain para solucionar los problemas que hemos identificado.

Otras investigaciones empíricas podrían cuantificar la importancia de un problema específico y la medida en que blockchain puede ayudar o utilizarse para crear modelos basados en datos de encuestas, que pongan de relieve antecedentes importantes de la adopción de blockchain en el sector sanitario. Tan pronto como

existe un consenso sobre cuáles son los temas más importantes y cómo blockchain puede ayudar a superar los prob-lemas pendientes, se necesitan hojas de ruta para la implantación de blockchain, idealmente basadas en pruebas prácticas, para orientar a los profesionales y aportar valor a las partes interesadas.

Conclusiones

El futuro de la cadena de bloques en la gestión de datos sanitarios es muy prometedor y ofrece posibles soluciones a diversos retos del sector. Sin embargo, aún deben validarse muchos casos de uso, y también hay que tener en cuenta que blockchain comprende un par de tecnologías que están actualmente en desarrollo. Queda por ver cómo pueden aplicarse fructíferamente para resolver problemas pendientes y qué ventajas pueden ofrecer sobre los sistemas existentes. Dada la relevancia de la gestión de los datos sanitarios, animamos explícitamente a una cooperación fructífera entre la industria y el mundo académico para diseñar, desarrollar y evaluar soluciones que puedan beneficiar a los pacientes, los cuales, en un momento dado en tiempo, significa todos y cada uno de nosotros.

Financiación

Ninguna.

Relaciones y actividades financieras y no financieras

Los autores no declaran ningún conflicto de intereses. Horst Treiblmaier, Abderahman Rejeb, Anjum Khurshid y Alex Norta forman parte del Consejo Editorial de Blockchain in Healthcare Today.

Contribuciones

Todos los autores han contribuido a la conceptualización del debate y del artículo. El Dr. Treiblmaier, el Dr. Gault, el Dr. Khurshid, el Dr. Norta, el Sr. Poteet y el Sr. Sivagnanam contribuyeron a la mesa redonda. El Dr. Treiblmaier y el Dr. Rejeb colaboraron en el borrador original. Todos los autores contribuyeron a la revisión y edición posteriores. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión publicada del manuscrito.

Aplicación de texto generado por IA o tecnología relacionada

Ninguna señalada por los autores.

Referencias

- Conway D, Venkataraman M, Laverick D, Pelin G, Hasselgren A. Blockchain in healthcare today 2022 predictions. *Blockchain Healthc Today*. 2022;5:1–4. <https://doi.org/10.30953/bhty.v5.194>
- Dionisio M, De Souza Junior SJ, Paula F, Pellanda PC. El papel de la transformación digital en la mejora de la eficacia de la asistencia sanitaria: una revisión sistemática. *J High Technol Manage Res*. 2023;34:100442. <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2022.100442>
- Stafford TF, Treiblmaier H. Characteristics of a blockchain ecosystem for secure and sharable electronic medical records. *IEE* *Trans Eng Manage*. 2020;67:1340–62. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2973095>
- Krishnasamy S, Gopalakrishnan BN. Moving beyond proof of concept and pilots to mainstream: discovery and lessons from blockchain in healthcare. *Blockchain Healthc Today*. 2023;6:280. <https://doi.org/10.30953/bhty.v6.280>
- Rejeb A, Keogh JG, Treiblmaier H. Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management. *Internet del futuro*. 2019;11:161. <https://doi.org/10.3390/ifi11070161>
- Treiblmaier H. El impacto del blockchain en la cadena de suministro: un marco de investigación basado en la teoría y una llamada a la acción. *Supply Chain Manage*. 2018;23:545–59. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2018-0029>
- Fosso Wamba S, Kala Kamdjoug JR, Epie Bawack R, Keogh JG. Bitcoin, blockchain y Fintech: una revisión sistemática y estudios de casos en la cadena de suministro. *Product Plann Ctrl*. 2020;31:115–42. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1631460>
- Treiblmaier H, Petrozhitskaya E. ¿Es hora de que el marketing reevalúe la gestión de las relaciones B2C? El surgimiento de un nuevo paradigma de fidelización a través de la tecnología blockchain. *J Bus Res*. 2023;159:113725. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113725>
- Karger E, Bree T, Ziolkowski R, Jagals M, Ahlemann F. Blockchain in smart cities - a bibliometric analysis and overview. *Int J Innov Technol Manage*. 2023. <https://doi.org/10.1142/S0219877024500251>
- Narayanan A, Clark J. Bitcoin's academic pedigree. *Commun ACM*. 2017;60:36–45. <https://doi.org/10.1145/3132259>
- Kannengießer N, Lins S, Dehling T, Sunyaev A. Trade-offs between distributed ledger technology characteristics. *ACM Comput Surv*. 2020;53:1–37. <https://doi.org/10.1145/3379463>
- Treiblmaier H. A comprehensive research framework for Bitcoin's energy use: fundamentals, economic rationale, and a pinch of thermodynamics. *Blockchain Res Appl*. 2023;4:100149. <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2023.100149>
- Rejeb A, Treiblmaier H, Rejeb K, Zailani S. Blockchain research in healthcare: a bibliometric review and current research trends. *J Data Inform Manage*. 2021;3:109–24. <https://doi.org/10.1007/s42488-021-00046-2>
- Pilkington M. ¿Puede blockchain mejorar la gestión sanitaria? *Technol Innov Manage Rev*. 2022;12(1, 2). [citado 2024 Ene 17]. Disponible en: https://timreview.ca/sites/default/files/article_PDF/TIMReview_2022_Issue_1-2-3.pdf
- Taloba AI, Elhadad A, Rayan A, Abd El-Aziz RM, Salem M, Alzahrani AA, et al. A blockchain-based hybrid platform for multimedia data processing in IoT-Healthcare. *Alex Eng J*. 2023;65:263–74. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.09.031>
- Wenhua Z, Qamar F, Abdali T-AN, Hassan R, Jafri STA, Nguyen QN. Blockchain technology: security issues, health-care applications, challenges and future trends. *Electronics*. 2023;12:546. <https://doi.org/10.3390/electronics12030546>
- Abdul-Moheeth M, Usman M, Harrell DT, Khurshid A. Improving transitions of care: designing a blockchain application for patient identity management. *Blockchain Healthc Today*. 2022;5:200. <https://doi.org/10.30953/bhty.v5.200>
- Khurshid A. Applying blockchain technology to address the crisis of trust during the COVID-19 pandemic. *JMIR Med Inform*. 2020;8:e20477. <https://doi.org/10.2196/20477>
- Mohammed MA, Boujelben M, Abid M. A novel approach for fraud detection in blockchain-based healthcare networks using machine learning. *Future Internet*. 2023;15:250. <https://doi.org/10.3390/ifi15080250>
- Turki M, Cheikhrouhou S, Dammak B, Baklouti M, Mars R, Dhahbi A. NFT-IoT pharma chain: Sistema IoT de trazabilidad de medicamentos

- basado en blockchain y fichas no fungibles (NFT). *J King Saud Univ.* 2023;35:527-43. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.12.016>
21. Balakrishnan A, Jaglan P, Selly S, Kumar V, Jabalia N. Emerging trends of blockchain in bioinformatics: a revolution in health care. En: Pandey R, Goundar S, Fatima S, editores. *De la informática distribuida al blockchain*. Academic Press; 2023, p. 389-404. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96146-2.00018-8>
 22. Ahmad RW, Salah K, Jayaraman R, Yaqoob I, Ellahham S, Omar M. The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine. *Int J Med Inform.* 2021;148:104399. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104399>
 23. Khurshid A, Gadnis A. Uso de blockchain para crear identidad de transacción para personas que experimentan falta de vivienda en América: propuesta de política. *JMIR Res Protoc.* 2019;8:e10654. <https://doi.org/10.2196/10654>
 24. Khurshid A, Holan C, Cowley C, Alexander J, Harrell DT, Usman M, et al. Diseño y prueba de una aplicación blockchain for patient identity management in healthcare. *JAMIA Open.* 2021;4:ooaa073. <https://doi.org/10.1093/jamiaopen/ooaa073>
 25. Mayring P. Análisis de contenido cualitativo. *Forum.* 2000;1(2). <https://doi.org/10.17169/fqs-1.2.1089>
 26. McLaren M. Understanding the current and future state of complex health data protection laws. *Pharmaceutical Technology*; 2023 [citado 2023 Ene 29]. Disponible en: <https://www.pharmaceutical-technology.com/sponsored/understanding-the-current-and-future-state-of-complex-health-data-protection-laws/>

Propiedad intelectual: Este es un artículo de acceso abierto distribuido de acuerdo con la licencia Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0), que permite a otros distribuir, adaptar, mejorar este trabajo de forma no comercial, y licenciar sus trabajos derivados en diferentes términos, siempre que el trabajo original sea debidamente citado y el uso no sea comercial. Véase: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>.