

Beneficios y limitaciones del Blockchain en contratos inteligentes en el sector salud. Una revisión de la literatura

Benefits and Limitations of Blockchain for Smart Contracts in Health Sector. A Review of the Literature

Carlos Emilio Remolina Medina

0000-0002-4500-8925

Universidad del Sinú. Cartagena, Colombia.

Correspondencia: remolinamd@gmail.com

RESUMEN

La aparición de los Smart Contracts dentro de la tecnología Blockchain es clave por sus diversas aplicaciones en el sector salud, siendo de gran utilidad en procesos específicos, debido a que son protocolos informáticos automatizados, cuyo objetivo es ejecutar sus términos o acuerdos con seguridad y transparencia, sin la intervención de terceros, facilitando la lógica comercial. Algunos ejemplos de su uso son la gestión de identidad para controlar el acceso a las historias clínicas, la trazabilidad de productos farmacéuticos, la contratación de seguros médicos, el desarrollo de ensayos clínicos, entre otros.

Método: Para el desarrollo de este artículo de reflexión hemos hecho una revisión de la literatura donde se expone cómo funciona la tecnología Blockchain y Smart Contract, cuáles son las posibilidades de aplicación en el sector salud, con sus beneficios y limitaciones.

Objetivo: Identificar los beneficios y limitaciones que se pueden establecer para las tecnologías Blockchain y Smart Contract en el sector salud, como nuevo paradigma contractual.

Conclusiones: Los beneficios que el Blockchain y los Smart contracts pueden dar al sector salud son muy amplios, abarcando diferentes áreas, mejorando y haciendo más eficientes los procesos, aportando a una problemática sensible que puede beneficiar la situación de los diferentes actores del sistema. Hay que inclinar la balanza hacia los beneficios del Blockchain reduciendo las limitaciones, para poder encontrarnos a la vanguardia del desarrollo de esta nueva era.

PALABRAS CLAVE: cadena de bloques; contratos inteligentes; internet de las cosas; e-salud; historia clínica electrónica.



ABSTRACT

The appearance of Smart Contracts within Blockchain technology is key due to its various applications in the health sector, being very useful in specific processes, because they are automated computer protocols, whose objective is to execute their terms or agreements with security and transparency, without the intervention of third parties, facilitating commercial logic. Some examples of its use are identity management to control access to medical records, the traceability of pharmaceutical products, the contracting of medical insurance, the development of clinical trials, among others.

Method: For the development of this article we have made a review of the literature where it is exposed how Blockchain technology and Smart contracts work, what are the possibilities of application in the health sector, with its benefits and limitations.

Objective: To identify the benefits and limitations that can be established for this Blockchain and Smart contract technology in the health sector, as a new contractual paradigm.

Conclusions: The benefits that Blockchain and Smart contracts can give to the health sector are very broad, covering different areas, improving, and making processes more efficient, contributing to a sensitive problem that can benefit the situation of the different actors in the system. We must tilt the balance towards the benefits of Blockchain by reducing the limitations, to find ourselves at the forefront of the development of this new age.

Keywords: blockchain; smart contract; Internet of things; e health; electronic medical record.

Recibido: 10/04/2022

Aprobado: 16/11/2022

Introducción

El funcionamiento del sistema de salud colombiano está conformado por diferentes instituciones como son el Gobierno, las Entidades prestadoras de Salud (EPS), y las Instituciones Prestadoras de Servicios de salud (IPS), asociado a esto también están los mercados y la población. ⁽¹⁾ La cadena de servicios se compone por un plan obligatorio de salud, dividido en diferentes sectores como el especial, el contributivo y el subsidiado, a través de los cuales se presta el servicio a los usuarios. ⁽¹⁾ Como se puede observar es una estructura compleja, con múltiples actores que involucran una gran cantidad de procesos en diferentes áreas, y que requieren estrictos sistemas de regulación y veeduría.

En este sistema se presentan problemas de corrupción, dentro de lo más importante está el inadecuado manejo y desviación de recursos por parte de las instituciones tanto



públicas como privadas.⁽¹⁾ Además el incumplimiento de las normas genera caos de manera constante por la impunidad que prevalece en el sistema para castigar a los infractores. Entre otros factores también tenemos los conflictos de intereses relacionados con el favorecimiento económico de las aseguradoras, prima sobre la prestación del servicio.⁽¹⁾ Asociado a lo anteriormente descrito existen fallas en el sistema regulatorio causado por un exceso de normas que generan incertidumbre y confusión.⁽¹⁾ La ausencia de un sistema único de información desencadena una problemática relacionada con información incompleta, ineficiencia, datos desactualizados y desarticulados, con dificultades en la vigilancia de los diferentes procesos que se requieren para el buen funcionamiento del sistema.⁽¹⁾

Una muestra de todo lo anterior son las dificultades en las operaciones del sistema de salud por la gran diversidad de normas que existen al momento de regular los contratos, para lo que el Gobierno no tiene capacidad de vigilar su cumplimiento de manera efectivamente.⁽¹⁾ No obstante el sistema de contratación en el mercado de la salud funciona mediante la integración vertical entre las aseguradoras y los prestadores, para evitar prácticas restrictivas a la competencia, este tipo de contratación limita a las aseguradoras al 30% de los contratos con su propia red de prestadores.⁽²⁾

Otra situación confusa que se presenta con las operaciones del mercado de salud son las tarifas para la negociación de contratos. Existen unas tarifas de referencia, decretadas por el Gobierno Nacional para el uso principalmente del Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito (SOAT), que se actualizan anualmente.⁽³⁾ Estas tarifas según el decreto, también pueden ser usadas por las IPS públicas o privadas en la negociación de contratos para la prestación de servicios de salud, sin embargo no son las más populares, porque en la mayoría de los casos las aseguradoras prefieren negociar basándose en tarifas que fueron usadas por el extinto Seguro Social (ISS), incluso con descuentos de diferentes porcentajes sobre esta, según la contratación. El manual fue expedido en el año 2001 por un decreto del Gobierno Nacional para la venta de sus servicios y sin ningún tipo de actualización hasta la fecha, dejando la puerta abierta para que las aseguradoras manejen el mercado a su antojo.⁽⁴⁾

La reforma a la salud de 1993 logró de manera importante ampliar la cobertura del aseguramiento en salud mediante la afiliación de usuarios a las EPS, en el 2010 existían alrededor de 80 EPS, estas son vistas por algunas agremiaciones como intermediarios que no aportan beneficios y si aumentan los costos del sistema.⁽⁵⁾ Para 2019 se contaba con 44 EPS y de estas 22 con medidas especiales de vigilancia, con lo que es posible observar que la cantidad de prestadores tiende a disminuir, generando un aumento de la cobertura para las EPS que permanezcan en el sistema, acrecentando su carga administrativa y de prestación de servicios, para lo que las EPS que finalmente queden, deben volverse muy eficientes.⁽⁶⁾



Teniendo en cuenta lo planteado, se enfrenta un sistema complejo, con una gran cantidad de participantes con diferentes intereses, que requiere una estricta vigilancia en los procesos, para garantizar su efectividad y transparencia, evitando los actos de corrupción o conveniencia.

Hoy la tecnología juega un papel importante en la cotidianidad, permitiendo optimizar y facilitar procesos, haciéndolos más rápidos y eficientes y en muchos casos transparentes. En el caso de la tecnología Blockchain (cadenas de bloques) se puede decir que es una propuesta relativamente nueva, con una gran cantidad de utilidades en diferentes áreas como la banca, la salud, el internet de las cosas y el voto electrónico entre otros. Es probable que muchas de las cualidades de esta tecnología puedan generar un gran beneficio para ayudar en la problemática presentada en relación al sistema de salud, haciendo más eficientes y transparentes sus procesos.

Según Paz en 2018, Blockchain es una cadena de bloques, como un libro de contabilidad electrónico, similar a una base de datos que se comparte de forma abierta por una gran cantidad de usuarios, grabando todas las transacciones que posteriormente serán revisadas por nodos, sin la posibilidad de modificarlas, debido a que cada cadena está marcada temporalmente, enlazándose con el bloque anterior. ⁽⁷⁾

A través del tiempo la tecnología Blockchain ha evolucionado por generaciones, una primera que es relacionada con las criptomonedas, una segunda donde aparecen los Smart Contracts (Contratos Inteligentes) y una tercera más reciente que mejora la operatividad de las anteriores.

Teniendo en cuenta los posibles beneficios para el sector salud de la segunda generación de Blockchain, fundamentado en los Smart Contracts, puede notarse que constituye tecnología clave con diversas aplicaciones en este sector. La particularidad de estos contratos radica en que se ejecutan de manera automática en el momento que se cumplen las condiciones consensuadas por los participantes. ⁽⁷⁾ En este artículo de reflexión se ha realizado una revisión sobre cómo funciona la tecnología Blockchain y los Smart Contracts, con su utilidad en diferentes procesos del sector salud, así como las diferentes posibilidades de aplicación. Posteriormente se identifican sus beneficios y limitaciones como nuevo paradigma contractual. Para esto se ha desarrollado una estructura que inicia con las definiciones, seguidamente se verá cómo ha sido su evolución, como funciona, cuáles son sus beneficios y limitaciones, finalmente serán presentados los resultados y conclusiones.

Métodos

Se ha realizado una revisión de la literatura donde se expone cómo funciona la tecnología Blockchain y los Smart Contracts, cuál es su utilidad, y como puede ser



aplicada en el sector salud. Para ello se tuvieron en cuenta autores que se han destacado por ser referentes en el tema como Luz Parrondo, Reggie O'Shields, Melanie Swan y Nick Szabo, quien inicia con el concepto de Smart contract, entre otros. Además, se identificaron los beneficios y limitaciones de esta tecnología, teniéndolos en cuenta como un nuevo paradigma contractual.

Se realizó una búsqueda en la literatura de aproximadamente 10 años, a partir del 1 de enero de 2002. La revisión se efectuó en diferentes bases de datos como Scopus, Science Research, PubMed y Scielo, se tuvieron en cuenta artículos científicos en inglés y español tipo full text. Los términos usados para la búsqueda fueron: blockchain, blockchain AND salud, smart contracts y smart contracts AND health. Seguidamente se clasificaron los artículos, tomando como criterios, título, resumen y conclusiones. El grupo de artículos seleccionados presentaban como características principales temas de Blockchain, y Smart Contracts, asociado a esto se agregó bibliografía secundaria relacionada con los documentos revisados.

Estudios seleccionados

Scopus: Blockchain AND Smart Contracts, (275 Resultados) (10 Escogidos), Science Research: Blockchain AND salud (257 Resultados) (13 Escogidos), Smart contracts AND Health (625 Resultados) (3 Escogidos). Pubmed: Blockchain (893 Resultados) (4 Escogidos), Scielo: Blockchain AND salud (10 resultados) (2 Escogidos). Artículos asociados (3 escogidos). Para un total de 36 artículos seleccionados para revisión; fueron usados 34.

Para la estructura de la revisión, luego de leer los artículos, primero se realiza una descripción de las definiciones de Blockchain y Smart Contract, seguido de cómo ha sido su evolución en el tiempo, como es su funcionamiento, cuál es la utilidad en el sector salud, cuáles son los beneficios y limitaciones de esta tecnología, y finalmente se describe la discusión y las conclusiones.

Resultados

En su forma original el Blockchain, permite transacciones descentralizadas y gestión de datos, con estas cualidades ha ganado mucha atención para diversas aplicaciones, una de estas valiosas aplicaciones son los contratos inteligentes; contratos de ejecución automática que no requieren ninguna autoridad central, siendo la cadena de bloques Ethereum el mayor facilitador de contratos inteligentes en la cadena de bloques. ⁽⁸⁾

Planteamientos sobre la definición de Blockchain y Smart contracts

Existen muchos planteamientos sobre la definición de lo que es el Blockchain y Smart Contract para lo que vamos a citar a diferentes autores con sus puntos de vista.



Inicialmente en un foro de criptografía Nakamoto 2008, lo describe como un sistema de dinero electrónico llamado criptomoneda basada en una red distribuida y descentralizada, solucionando el problema del doble gasto. ⁽⁹⁾

Antonopoulos en 2014, lo define como un registro de datos distribuido y descentralizado que preserva un conjunto de transacciones almacenadas en unidades llamadas bloques, enlazadas secuencialmente en el tiempo. Las transacciones son verificadas y aprobadas mediante un protocolo de consenso entre los miembros de la red antes de ser registradas, y una vez agregado un bloque no podrá ser eliminado o modificado sin consentimiento de la mayoría. ⁽⁹⁾

Preukschat en 2017, determina que el Blockchain es una base de datos que está distribuida entre diferentes participantes, protegida criptográficamente y organizada en bloques de transacciones relacionadas entre sí matemáticamente, de manera descentralizada e inalterable. ⁽¹⁰⁾

Parrondo en 2021, plantea que el Blockchain se podría definir como un ecosistema empresarial de intercambio de información. Este sistema logra mostrar a todos los participantes de una plataforma, la misma información en tiempo real, transferencias de todo tipo de activos y diferentes programas. ⁽¹¹⁾

Los Smart contracts son programa autoejecutables en la plataforma Blockchain, que automatizan los procesos comerciales y reemplazan el papel de intermediarios, siendo ejecutados con reglas acordadas que ya están predefinidas entre las organizaciones participantes, y se traducen en función del contrato inteligente para establecer la confianza. ⁽¹²⁾

Estos contratos se consideran como scripts simples que se aplican cuando se cumplen las condiciones pactadas y se consignan en una cadena de bloques utilizándose para implementar la automatización de un acuerdo, donde todas las partes tienen garantizada una conclusión oportuna sin intermediarios ni pérdida de tiempo, pudiendo automatizar un flujo de trabajo iniciando el siguiente paso cuando se cumplen ciertos parámetros. ⁽¹³⁾

Nick Szabo en 1994 por primera vez determina que los Smart Contracts son “Un protocolo transaccional computarizado que ejecuta los términos de un contrato. Los objetivos generales de su diseño son satisfacer las condiciones contractuales comunes, minimizar las excepciones temerarias y fortuitas, y minimizar la necesidad de terceros o de intermediarios fiables”. ⁽¹⁴⁾

También Reggie O’Shields, piensa en los Smart Contracts como instrucciones electrónicas escritas en códigos de programación que “autoejecutan las condiciones de un convenio cuando los acuerdos predeterminados para tal efecto se cumplen”. ⁽¹⁵⁾ Los Smart Contracts, son contratos redactados en códigos de programación, ejecutados



mediante una plataforma Blockchain de manera automática, teniendo en cuenta que la ejecución de las obligaciones no depende de la voluntad de las partes o de un tercero.⁽¹⁶⁾

A diferencia de lo anterior, Tur Faúndez, determina de igual manera como todas las definiciones anteriores, que los Smart Contracts son secuencias de códigos que se almacenan en cadenas de bloques, pero no cumplen con las condiciones de un contrato, simplemente son soportes lógicos que ejecutan un contrato.⁽¹⁴⁾

Evolución del Blockchain

El sistema Blockchain empieza en 2008 con una proclamación de Nakamoto, en un foro de criptografía, describiendo un sistema de dinero electrónico llamado criptomoneda basada en una red distribuida y descentralizada, solucionando el problema del doble gasto. Nace con el bitcoin, como un sistema de transacciones sin intermediarios.⁽⁹⁾

Los protocolos de Blockchain se han ido modificando a través del tiempo a medida que ocurre su desarrollo, esto con el fin de mejorar su funcionamiento y poder responder de mejor manera a los retos que se van presentando. Como consecuencia de esto podemos encontrar diferentes generaciones de Blockchain, que son descritas por la fundadora del instituto de investigación Blockchain Melanie Swan en 2015 en su libro "Blockchain. Blueprint for a New Economy" donde identifica tres áreas condicionales para la aplicación de esta tecnología.⁽¹⁷⁾

Es así como se tienen tecnologías Blockchain de primera generación, cuyas características son la eliminación de la intermediación, evita la posibilidad de falsificación resolviendo el problema del doble gasto, el registro es inmutable y consolida el sistema a prueba de ataques. Su única aplicación es el sistema de pagos y transacciones con criptomonedas.⁽¹⁸⁾ El Bitcoin es considerado como tecnología Blockchain 1.0 o de primera generación.⁽¹⁹⁾

La segunda generación aparece con la ejecución del Smart Contract y las aplicaciones descentralizadas. Su principal importancia radica en la posibilidad de certificación, la trazabilidad, la gestión de acuerdos y la existencia de comunidades autónomas descentralizadas.⁽¹⁸⁾ Esta generación se soporta en un nuevo sistema, el Ethereum, una generación más avanzada de Blockchain, donde su principal utilidad son los Smart Contracts, los cuales se autoejecutan, además pueden llamar a otros Smart Contracts y permiten que múltiples usuarios interactúen.⁽²⁰⁾ Esta segunda generación, puede ser usada en el cuidado de la salud y está asociada con la introducción de propiedades inteligentes y contratos inteligentes.⁽¹⁹⁾ Nick Szabo en 2005 presentó el concepto de "títulos de propiedad seguros con autoridad del propietario", permitiendo un sistema basado en blockchain de almacenamiento de registros de quién posee qué tierra, configurando un marco que incluye conceptos como el de ocupación, usufructo e impuesto sobre la tierra.⁽²¹⁾ Sin embargo, en ese momento no se tenía un sistema de



base de datos replicado efectivo disponible, por lo que esto solo se pudo implementar después del 2009 con la aparición del Blockchain.

Las propiedades inteligentes, se consideran como activos digitales cuya propiedad puede ser controlada por una plataforma basada en Blockchain, mientras que los Smart Contracts son programas de software que codifican las reglas de cómo se controlan y administran las propiedades inteligentes, algunos ejemplos son plataformas como Ethereum, Ethereum Classic, NEO y QTUM. ⁽¹⁹⁾

En el grupo de tercera generación ya se puede ver como se resuelven problemas de escalabilidad, interoperabilidad, sostenibilidad, privacidad y gobernanza, mejorando la operatividad de las generaciones anteriores. ⁽¹⁸⁾

Cómo está estructurado el funcionamiento del Blockchain y los Smart Contracts

El Blockchain y los Smart Contracts pueden funcionar a través de diferentes tipos de redes, además está conformado por una serie de elementos que son necesarios para su adecuado funcionamiento, y que a continuación se describirán.

Existen diferentes tipos de redes de Blockchain, estas se pueden clasificar en redes públicas, privadas, semiprivadas y las construidas mediante un consorcio, cada una con características diferentes. ⁽²⁰⁾ A continuación, se describen estas características y el funcionamiento de cada una de las diferentes redes:

Públicas: aquí no está restringida la lectura de los datos. Cualquier usuario puede leer y generar transacciones. ⁽¹⁰⁾

Privadas: esta red centra todos los accesos de la data únicamente para los usuarios de su propia red. ⁽¹⁰⁾

Semiprivado: en este caso la operación se da por una sola entidad que otorga los accesos a los usuarios que cumplan con los requisitos. ⁽¹⁰⁾

Consortios: Aquí el control lo tiene un grupo preseleccionado y los accesos pueden ser públicos o restringidos. ⁽¹⁰⁾

Hasselgren et Al, revisaron el uso actual de los diferentes tipos de redes de Blockchain en el área médica y encontraron que la red tipo consorcio es la más usada en salud. ⁽²²⁾

Para que el Blockchain y los Smart Contracts puedan ser ejecutados en los diferentes tipos de redes, se necesitan una serie de elementos indispensables para su funcionamiento.

Partes del Blockchain

El nodo: Un ordenador personal o una megacomputadora servirían como nodo, dependiendo de la complejidad de la red. Independientemente todos los nodos



manejaran el mismo protocolo que los comunica entre sí para poder corroborar la autenticidad de la transacción, inclusive siendo validada por la gran mayoría de nodos, para que pueda ser escrita en la red.

El protocolo estándar: consiste en una serie de reglas con el fin de que los nodos se comuniquen entre sí. Esto es importante debido a su naturaleza descentralizada para asegurar el adecuado funcionamiento de la red, su conectividad y asegurar la integridad del registro.

La red P2P o comunicación entre iguales: aquí es donde los ordenadores se conectan sin usar un servidor central, aprovechando la capacidad de la red, escogiendo la mejor ruta entre los nodos que la conforman.

El Hash: es una cadena alfanumérica producida por una función matemática que convierte los datos en cadenas de longitud fija, es como una huella dactilar. ⁽¹⁰⁾

Árbol de Merkle: la estructura de los datos tiene forma de árbol, compuesto por nodos hoja, nodos intermedios y nodos raíz. La hoja tiene la información de la transacción, el nodo intermedio contiene el valor hash y el nodo raíz contiene el valor de la raíz del árbol. Los valores se transmiten secuencialmente desde las hojas hasta la raíz, si alguno cambia, cambian todos y así cualquier manipulación será fácilmente detectada. ⁽²³⁾

Para los Smart contracts existen dos elementos claves en su composición, para su adecuado funcionamiento:

El Contractware que incluye los términos del contrato en el software, mediante códigos de programación ejecutables. ⁽¹⁶⁾ Y el otro elemento es el Blockchain que ya fue mencionado previamente.

El funcionamiento del Blockchain, primero realiza la transacción, que comienza con un nodo que comparte datos con otro mediante una red P2P.

Después debe haber una verificación de parte de los nodos para ver si la transacción es válida o no. ⁽¹⁰⁾ Esto genera una estructura, donde cada transacción o bloque produce un Hash, cadena alfanumérica que va a enlazar con el bloque anterior. ⁽¹⁰⁾

La validación es la transmisión del bloque a todos los nodos para que sea aprobada su validez, si la mayoría lo aprueba es agregado a la cadena.

La minería consiste en que todos los nodos anotan la transacción y certifican que será parte de todos los bloques. ⁽¹⁰⁾ Entonces se da la cadena donde el bloque se añade a todos los nodos.

La protección no es más que la sincronización entre todos los nodos donde se evita que la transacción sea modificada, cuando se detecta una alteración en la cadena, se rechaza el bloque. ⁽¹⁰⁾



En resumen, el primer paso se da cada vez que se hace una transacción, esta queda en un grupo de transacciones, que cuando se completan forman un bloque de datos, registrando la información previamente seleccionada. En una segunda fase cada bloque queda conectado con su antecesor y con el posterior, formándose una cadena de datos segura, donde está almacenado el tiempo exacto y la secuencia de transacciones. Finalmente, esta cadena de bloques es irreversible, un cambio en cualquier bloque altera la validación, en este punto cada bloque adicional refuerza la validez del anterior, debido a esto la cadena no es manipulable.

Los Smart Contracts y el Blockchain son dos tecnologías independientes. ⁽²³⁾ El objetivo del Smart Contract es hacer que las transacciones sigan los términos del contrato preestablecidos y que se ejecuten de manera automática. ⁽²³⁾ Cuando el Smart Contract se combina con la tecnología Blockchain, algo que se puede realizar mediante la plataforma Ethereum, se permite evitar manipulaciones maliciosas, disminuyendo costos y mejorando la eficiencia. ⁽²³⁾

Cuáles son las diferentes aplicaciones de los contratos inteligentes

En el sector salud pueden identificarse diferentes problemas para los que potencialmente el Blockchain debería ser una solución.

Citando algunas ventajas encontramos que es útil para el seguimiento y la trazabilidad de los componentes sanguíneos. Los bancos de sangre necesitan llevar un seguimiento de las unidades de sangre y sus componentes cuando son entregados, pero se encuentran con un problema en el momento de hacerlo cuando las unidades son entregadas a otras instituciones, perdiendo el rastro de las mismas. ⁽²⁰⁾

La historia clínica se considera el documento más importante en el acto médico ya que posee toda la información del paciente y es el espacio donde interactúan muchos profesionales que prestan la atención. Esta es un documento privado que registra cronológicamente el estado del paciente, y las intervenciones médicas. Este documento solo será conocido por terceros si el paciente lo autoriza. Un problema constante en este proceso es que la información debe ser renovada y completada cada vez que se presenta una nueva atención por el médico o la entidad prestadora. La información también se puede ver comprometida al no ser legible, al estar incompleta o al ser contradictoria. Es un problema constante la falta de un mecanismo eficiente que consiga actualizar los procedimientos y actuaciones realizadas permanentemente, para que se pueda acceder fácilmente a información confiable. ⁽²⁰⁾

La procedencia y trazabilidad de la cadena de suministro farmacéutica: los medicamentos falsos y falsificados pueden ser un gran problema, ya que la procedencia de los medicamentos puede ser difícil de rastrear. Una gran cantidad de entregas de fabricantes, transportistas, distribuidores, minoristas y farmacias pueden causar imprecisiones y disputas en las operaciones de entrega médica. Si estos procesos no se ejecutan correctamente, puede ser riesgoso para la salud de los pacientes. Blockchain



puede proporcionar soluciones para la autenticidad y la trazabilidad de los activos transferidos junto con registros de transacciones auditables y seguros entre las partes interesadas. ⁽²⁴⁾

También están los recobros, que son cuentas relacionadas con servicios prestados por las Empresas Promotoras de Salud (EPS) y que deben ser pagadas por el Ministerio de Salud y Protección Social. Este es un proceso complicado porque hay que validar muchos elementos para que el proceso pueda darse con seguridad. ⁽²⁰⁾

El seguimiento de dispositivos implantables, que tienen costos elevados. El reuso ilegal de estos implantes plantea la necesidad de un sistema de seguimiento para conocer la trazabilidad y evitar la posibilidad de que sean vendidos de manera ilegal. ⁽²⁰⁾

El monitoreo de la cuenta de alto costo para enfermedades como cáncer, artritis y enfermedades huérfanas entre otras. Se requiere evitar cobros de tratamientos no realizados o innecesarios, para lo que se debe tener un registro completo y confiable sobre los procedimientos realizados, con el fin de agilizar procesos de recolección y validación de datos para la toma oportuna de decisiones. ⁽²⁰⁾

Gestión de datos durante los ensayos clínicos: cuando se implementan los ensayos clínicos, diferentes dispositivos producen numerosos datos a través de la operación del personal médico. La forma en que estos datos se almacenan es fundamental para la creación de manuales de conductas médicas. Durante la construcción de ensayos clínicos se pueden producir alteraciones maliciosas o errores no intencionales. Las fallas ocurren cuando su diseño se da de manera incorrecta por sesgos de los actores o registros inconsistentes de los informes médicos. Blockchain en este caso podría lograr que la documentación sea altamente confiable. ⁽²⁴⁾

En Colombia y a nivel internacional el sistema de historias clínicas es centralizado en cada institución de salud, con datos no estandarizados, gestión de historia clínica a nivel individual, produciendo vacíos en la información lo que genera riesgos para la salud de los pacientes. ⁽²⁵⁾

En la tabla 1, se puede ver como los autores revisados describen una variedad de aplicaciones del Blockchain y los Smart contracts en sus diferentes publicaciones, dándole una gran importancia al cuidado de la salud. ^{(8-10), (17), (19), (20),(22),(24), (26),(30)}



Tabla 1- Utilidad del Blockchain y Smart contract en la salud.

Aplicación	Autor	Nº
Health care	Hasselgren A. et al. (Hasselgren, et al., 2020) Xie Y. et al. (Xie, et al., 2021); Luan Pham H. et al. (Pham, et al., 2018); da Fonseca M. et al. (da Fonseca, et al., 2021); Pava RA. et al. (Pava Díaz, et al., 2021); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020); Riveros D. et al. (Riveros, et al., 2019); Novikov SP. et al. (Novikov, et al., 2018); Agbo C. et al. (Agbo, et al., 2019)	9
Heath sciences	Hasselgren A. et al. (Hasselgren, et al., 2020)	1
Health education	Hasselgren A. et al. (Hasselgren, et al., 2020)	1
Monitoreo en salud	Xu J. et al. (Xu, et al., 2020)	1
Blockchain para Radiología	Abdullah S. et all. (Abdullah, et al., 2020)	1
Blockchain para Oftalmología	Yan Ng W. et all. (Yan Ng, et al., 2021)	1
Control de calidad para vacunas	Qiu Z. et all. (Qiu & Zhu, 2021)	1
Telehealth	Wasim R. et all. (Wasim Ahmad, et al., 2021)	1
COVID-19	Wasim R. et all. (Wasim Ahmad, et al., 2021)	1
Historia clínica electrónica	Mellizo D. et al. (Mellizo Gómez & Minú Dussán, 2020)	1
Laboratorio sanguíneo	Casma C. et al. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)	1

Cuáles son las limitaciones y beneficios que se pueden identificar en el funcionamiento del Blockchain y los Smart Contracts

Algunas limitaciones pueden ser identificadas en el desarrollo y funcionamiento de proyectos de este tipo, la más importante es la escasez de mano de obra calificada o desarrolladores de Blockchain, el tiempo que se requiere para crear una DApp es muy largo, en promedio 1800 horas por persona de trabajo para un desarrollador con experiencia, el valor de la mano de obra es muy costosa, por consiguiente, todos estos factores dificultan la producción de esta nueva tecnología con fluidez. ⁽¹⁸⁾

En la parte legal en Colombia el Blockchain es reconocido como un sistema de información, siendo cobijado por la ley de protección de la información y de los datos, por lo que su vulneración se considera un delito en el Código Penal (Ley 1273 de 2009). En relación a la inmutabilidad de datos, debido a que en el sistema Blockchain los datos no pueden ser actualizados, rectificados o suprimidos, se plantea un problema legal, ocasionado por la Ley de Régimen General de Protección de Datos Personales (Ley 1581 de 2012) que tiene cobertura nacional. En relación a los criptoactivos también hay un



vacío jurídico en Colombia causado por la falta de regulación. En Colombia no se puede usar fácilmente el sistema de recolección de fondos de manera participativa ICO (Initial Coin Offering) sin previa autorización de la Superintendencia Financiera, porque puede ser considerado captación masiva de activos sin autorización. ⁽¹⁸⁾

La globalización y aparición del internet, asociado a la velocidad vertiginosa del desarrollo de nuevas tecnologías, ha encaminado a la sociedad en la búsqueda constante de su implementación con el fin de generar beneficios comunes, aquí se plantea la necesidad del intercambio de información, y de la realización de transacciones de valor seguras, transparentes y confiables, por lo que aparece el Blockchain como una importante opción que permite solucionar gran parte de estas situaciones. ⁽²⁴⁾

También puede verse como una solución no solo para el intercambio de información, sino para la realización de transacciones de valor confiables que pueden ser auditadas fácilmente. Una de las cualidades más importante es su capacidad de descentralización y automaticidad. ⁽¹¹⁾

Uno de los beneficios principales de esta tecnología para el sector salud, se fundamenta en el hecho de eliminar la necesidad de centralización de los diferentes procesos, abriendo las puertas a la posibilidad de que dos o más partes realicen transacciones en un entorno sin una autoridad centralizada, lo que mejora el problema del punto único, acelera la velocidad de las transacciones y disminuye su costo. En lugar de una autoridad única se usa un mecanismo de consenso. ⁽¹⁹⁾

El Blockchain muestra una nueva variedad de posibilidades para diferentes proyectos que permitan transferir valor entre usuarios, certificar propiedad, trazar productos o gestionar la explotación de activos digitales. ⁽¹⁸⁾

Existen alrededor de seis ventajas que caracterizan el Blockchain:

- El intercambio sin que intervengan terceros, reduciéndolo a un intercambio de activos entre dos partes, reduciendo los riesgos de manera considerable.
- La inviolabilidad, es invulnerable a los ataques maliciosos, ya que carece de puntos débiles, debido a que se usan redes descentralizadas.
- Es transparente, porque los datos están disponibles de manera global, se pueden verificar y se transmiten en tiempo real.
- El usuario tiene el control, ellos pueden controlar las transacciones y su información.
- La inmutabilidad, las transacciones no pueden ser modificadas o eliminadas.
- Las transacciones son eficientes, por la seguridad, rapidez y eficacia, lo que hace que se disminuyan los gastos y costos de intermediarios innecesarios con menor seguimiento y control. ⁽¹⁰⁾



En las tablas 2 y 3 se expone una importante variedad de beneficios y limitaciones por los diferentes autores, encontrados en las publicaciones revisadas. ^{(9), (11), (22), (24), (28-32)}

Tabla 2- Beneficios del Blockchain y los Smart Contract.

Beneficios	Autor	Nº
Descentralización	Xie Y. et al. (Xie, et al., 2021); Abdullah S. et al (Abdullah, et al., 2020); Yan Ng W. et al. (Yan Ng, et al., 2021); Pava R. et al (Pava Díaz, et al., 2021); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, et al., 2021); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020); Parrondo L. (Parrondo, 2019)	7
Autonomía	Xie Y. et al. (Xie, et al., 2021)	1
Credibilidad	Xie Y. et al. (Xie, et al., 2021); Qiu Z. et al. (Qiu & Zhu, 2021)	2
Transparencia	Xie Y. (Xie, et al., 2021); Abdullah S. et al. (Abdullah, et al., 2020); Qiu Z. et al. (Qiu & Zhu, 2021); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, et al., 2021); L.Parrondo (Parrondo, 2019)	5
Control de acceso de datos	Hasselgren A. et al. (8); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020)	2
Interoperabilidad	Hasselgren A. et al. (8)	1
Mejorar la procedencia de datos	Hasselgren A. et al. (8); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, et al., 2021)	2
Aumento de la integridad de los datos	Hasselgren A. et al. (8)	1
Inmutabilidad	Yan Ng W. et al. (Yan Ng, et al., 2021); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, et al., 2021)	2
Trazabilidad	Qiu Z. et al. (Qiu & Zhu, 2021); Casma C. et al. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)	2
Privacidad	Pava R. et al. (Pava Díaz, et al., 2021); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020)	2
Gobernanza	Pava R. et al. (Pava Díaz, et al., 2021)	1
Sistema de consenso	Pava R. et al. (Pava Díaz, et al., 2021)	1
Auditabilidad	Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, et al., 2021); L.Parrondo (Parrondo, 2019)	2
Automatización	L.Parrondo (Parrondo, 2019)	1



El sector salud podría beneficiarse ampliamente de los contratos inteligentes, algunos ejemplos de su uso son la administración de identidad para controlar el ingreso a las historias clínicas, la trazabilidad de productos farmacéuticos, la contratación de seguros médicos, el desarrollo de ensayos clínicos, entre otros. ⁽²⁴⁾

Tabla 3- Limitaciones del Blockchain y los Smart Contracts.

Limitaciones	Autor	Nº
Equilibrio entre escalabilidad, distribución y seguridad	Lin S. et al. (Lin, et al., 2022); Abdullah S. et al. (Abdullah, et al., 2020)	2
Supervisión de seguridad	Lin S. et al. (Lin, et al., 2022)	1
Costo del consenso	Lin S. et al. (Lin, et al., 2022)	1
Alto consumo de energía e impacto ambiental	Lin S. et al. (Lin, et al., 2022); Abdullah S. et al. (Abdullah, et al., 2020)	2
Situación legal	O'Shields R. (O'Shields, 2017); Melo L. (Melo, 2019); AM. Moreno (Moreno, 2020); Gaitán M. et al. (Gaitán Luque & Méndez Mahecha, 2019)	4
Ataques de hackers	Abdullah S. et al. (Abdullah, et al., 2020)	1
Mano de obra costosa y escasa	AM. Moreno (Moreno, 2020)	1
Altos costos de infraestructura, operación y mantenimiento	AM. Moreno (Moreno, 2020)	1
Políticas públicas	AM. Moreno (Moreno, 2020)	1

Discusión

En el mundo existe una gran sensibilización hacia la utilización del Blockchain y los Smart Contracts, generándose una cantidad de proyectos que podrían beneficiar el sector salud. En esta revisión se identificaron una serie de aplicaciones de la tecnología Blockchain y los Smart Contracts en diferentes aspectos del sector salud. Su creciente evolución, que ha sido potenciada en los últimos años, refleja un mayor ímpetu en los lugares más desarrollados del mundo como Norte América, Europa y un auge creciente en Asia. La mayoría de estos ejemplos podrían ser un estímulo para que otros países den el siguiente paso hacia estas nuevas tecnologías. El Bitcoin es uno de los casos más representativos y sólidos en el funcionamiento de la tecnología Blockchain, esto ha llevado a un sin número de discusiones y propuestas sobre la utilidad del uso de esta tecnología en diferentes áreas incluyendo la atención médica. ⁽⁸⁾ El crecimiento del Blockchain en el mundo se ha popularizado de manera importante, sobre todo en función de las criptomonedas en países como Japón, que usa el bitcoin expandiéndolo



a los sistemas financieros, al igual que en Estados Unidos donde es importante la oferta y la demanda para la economía. ⁽²⁴⁾ Gran Bretaña ya lo incluyó en la contratación pública con el G-Cloud. En la Isla de Man se está usando para hacer contratos. ⁽²⁴⁾ En Singapur a través de esta tecnología se está intentando evitar el fraude bancario, por otra parte, en Estonia se usa para solicitar la residencia electrónica desde cualquier parte del mundo para establecer negocios, incluso para la realización de otros trámites legales como el matrimonio. ⁽²⁴⁾

El sector salud no es ajeno a este crecimiento, en general la mayoría de las actividades relacionadas con su funcionamiento están estrechamente ligadas con las instituciones dedicadas a la educación de personal de salud, a la investigación y a la ingeniería biomédica. ⁽⁸⁾ Todas estas actividades requieren de un intercambio de consentimientos, datos y pruebas relacionadas con el paciente y procesos administrativos, lo que genera un intercambio de datos altamente confidenciales que superan las fronteras de las instituciones. ⁽⁸⁾

Es así como Empresas en Europa de la talla de la Royal en Holanda y la Philips tienen programas como el Research Lab, laboratorio que investiga el uso de Blockchain en el área médica. Estonia también desarrolló una plataforma donde se pueden ver los registros médicos en tiempo real; el denominado Blockchain Guardtime y el eHealth Foundation que tienen como función afianzar la seguridad de la información médica en el sistema. ⁽¹⁷⁾ También encontramos un proyecto similar al de Estonia y apoyado por ellos mismos para el almacenamiento de datos médicos, en Emiratos Árabes Unidos. ⁽¹⁷⁾ En Estados Unidos el Ministerio de Salud pide la modernización de los registros médicos con el fin de mejorar la transferencia de datos entre estados. ⁽¹⁷⁾ En el Reino Unido, Google desarrolló un sistema de registro de datos médicos sobre la base de Blockchain, regulado por instituciones médicas. ⁽¹⁷⁾ Y así de la misma manera se pueden homologar estas iniciativas en otros países como Alemania y Rusia, con diferentes proyectos Blockchain desarrollándose en el área médica. ⁽¹⁷⁾ Esta tecnología definitivamente resuelve los problemas de transparencia y confiabilidad de los sistemas de almacenamiento de información, sin embargo, su implementación necesita el apoyo de la administración pública para proteger a los participantes del sistema. ⁽¹⁷⁾

Teniendo en cuenta los beneficios para el sector salud de la segunda generación de Blockchain, fundamentado en los Smart contracts, se puede ver que son una tecnología clave con diversas aplicaciones en el sector. ⁽²⁴⁾ El creciente interés en Blockchain ha aumentado la cantidad de empresas de este tipo en el sector público y privado, aumentando la inversión de un millón de dólares en 2012, a más de mil millones en 2017, poniendo en la actualidad a Estados Unidos como el líder en esta tecnología con una inversión actual de más de \$23,7 mil millones. ⁽³³⁾ A partir de este rápido crecimiento, se espera que para 2022 el mercado global del Blockchain en la industria de la salud supere los 500 millones de dólares. ⁽⁸⁾



En un análisis realizado por la IBM, el 70 % de los líderes de atención médica pronostican que el mayor impacto de Blockchain dentro del dominio de la salud, será la mejora de la gestión de ensayos clínicos, el cumplimiento normativo y la provisión de un marco descentralizado para compartir registros de salud electrónicos. ⁽⁸⁾ Por esto el interés científico sobre esta tecnología se refleja en una revisión realizada por Agbo donde observó que el volumen de publicaciones relacionado con esta tecnología inicia aproximadamente en 2015, con un pico entre 2017 y 2018 del 43% y el 49% de artículos publicados, mientras que en 2016 solo se publicaron el 8% de los artículos. Todo ello refleja la actualidad del tema. ⁽¹⁹⁾

Los países que más se han interesado en investigar el tema de Blockchain en el área de la salud son China y Estados Unidos quienes cuentan con la mayor cantidad de publicaciones científicas sobre el tema, representadas en un 26% y 23% de los trabajos, seguidos por el Reino Unido y la India con un 6% entre otros. ⁽¹⁹⁾

Definitivamente la tecnología Blockchain con los Smart contracts, podría mejorar la eficiencia, la falta de confianza, la privacidad y la comunicación entre los actores que están involucrados en diferentes procesos en el sector salud.

Entre los problemas o dificultades más frecuentes que se podrían resolver con el Blockchain y los Smart contracts en este sector, queda claro que esta tecnología es de gran utilidad para el seguimiento y la trazabilidad de los componentes sanguíneos en los bancos de sangre, el manejo seguro de la historia clínica, la trazabilidad de medicamentos, también están los recobros, que son cuentas relacionadas con servicios prestados por las Empresas Promotoras de Salud y que deben ser pagadas por el Ministerio de Salud y Protección Social, el seguimiento de dispositivos implantables, el monitoreo de enfermedades como cáncer, artritis y enfermedades huérfanas entre otras, y la gestión de datos durante los ensayos clínicos. ^{(20), (24)}

Conclusiones

Chisaba plantea “En la actualidad el sistema de salud colombiano exige nuevos retos y compromisos. La innovación y reestructuración de los centros de salud implica un reconocimiento holístico de las necesidades en el área”. ⁽³⁴⁾

La aparición del Blockchain y los Smart Contracts, pueden ayudar a solucionar dificultades relacionadas con la trazabilidad, la falta de confianza, la automaticidad de procesos de las empresas del sector salud públicas o privadas, pudiendo disminuir la corrupción, y los tiempos de realización de diferentes operaciones, permitiendo que sean efectuadas con mayor seguridad y confianza entre los participantes. ⁽²⁴⁾

Para que esto pueda darse se debe impulsar en los diferentes sectores el desarrollo de esta tecnología, con el fin de disminuir la brecha de la competitividad en relación a los países más desarrollados que ya van un paso adelante. Sí no se actúa así se abre la puerta a la posibilidad de que intermediarios tecnológicos del extranjero se beneficien del poco



conocimiento que se tiene sobre el tema y se pierdan las oportunidades que esta tecnología puede aportar. ⁽²⁴⁾ Los beneficios que el Blockchain y los Smart Contracts pueden dar al sector salud son muy amplios, abarcando diferentes áreas, mejorando y haciendo más eficientes los procesos, aportando a una problemática sensible que puede mejorar la situación de los diferentes actores del sistema.

Como todo lo novedoso al inicio se presentan una gran cantidad de obstáculos que deben ser superados y el Blockchain no es ajeno a esto, por lo que es importante notar que es preciso revisar muy cuidadosamente todas las limitaciones que plantea este nuevo reto y empezar a trabajarlas.

Es imperativo inclinar la balanza hacia los beneficios del Blockchain haciendo así cada vez menos importantes las limitaciones, para poder entrar a la vanguardia del desarrollo de esta nueva era de la revolución industrial 4; para lo cual debe haber voluntad e inversión de parte de los Gobiernos.

Referencias

1. Suárez Rozo LF, Puerto García S, Rodríguez Moreno LM, Ramírez Moreno J. La crisis del sistema de salud colombiano: una aproximación desde la legitimidad y la regulación. Rev Gerenc Polit Salud. 2017 enero-junio; 16(32): p. 34-50.
2. Merlano C, Gorbaneff Y. ¿Por qué se limita la integración vertical en el sector salud en Colombia?;2011. [Internet]. [Consultado 8 Marzo 2022] Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/Documentos%20de%20consulta/¿Por%20qué%20se%20limita%20la%20integración%20vertical%20en%20el%20sector%20salud%20en%20Colombia.pdf>.
3. Gobierno nacional de Colombia. Instituto Nacional de Salud. Decreto 2423 del 31 de diciembre de 1996:Instituto Nacional de Salud;1996. [Internet]. [Consultado 26 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Normatividad/Decretos/DECRETO%202423%20DE%201996.pdf>.
4. Consejo directivo del Instituto de Seguros Sociales. Acuerdo N° 256 de 2001: LexSalud Colombia;2001. [Internet]. [Consultado 26 marzo 2022]. Disponible en: <http://lexsaludcolombia.files.wordpress.com/2010/10/tarifas-iss-2001.pdf>.
5. Bernal Acevedo OA, Díaz-Granados JM, Giraldo Valencia JC, Castaño Yepes RA. El futuro del aseguramiento: ¿Deben acabarse las EPS en Colombia?. Portada [Internet]. 2010 septiembre: p. 22-29. [Consultado 8 marzo 2022]; Disponible en: <https://biblioteca.uniandes.edu.co/es/mantenimiento/DSIT>.
6. Montes S. Superintendencia Nacional de Salud tiene 22 EPS con medidas especiales: La República; 2019 febrero 21.[Internet]. [Consultado 10 marzo 2022]. Disponible en:



<https://www.larepublica.co/empresas/superintendencia-nacional-de-salud-tiene-22-eps-con-medidas-especiales-2830580>.

7. Chang López RE, Murillo Ramoas YL, Mejía Ortega JA. Blockchain y su impacto en la economía: Sector Banca, Salud, Internet de las cosas y voto electrónico. ICAP-Rev Centroam de Adm Pública. 2019; (77): [Consultado 10 marzo 2022]. p. 23-31. Disponible en: <https://ojs.icap.ac.cr/index.php/RCAP/article/view/116>.

8. Hasselgren A, Kravlevska K, Gligoroski D, Pedersen SA, Faxvaag A. Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review. Int J of Med Inform. 2020;(134): [Consultado 26 marzo 2022]. p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104040>

9. Pava Díaz RA, Pérez Castillo JN, Niño Vásquez LF. Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajo un escenario soportado en IoT y blockchain. Tecnura[Internet]. 2021;25(67): [Consultado 26 marzo 2022]. p. 112-130. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2021000100112

10. Casma Injante CC, Irigoyen Villacorta MdC. Aplicación de tecnología Blockchain para la trazabilidad de muestras de laboratorio.[Tesis de Maestría].Lima, Perú:Universidad de Lima; 2020. Disponible en: [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/12339/Casma Injante Irigoyen Villacorta.pdf](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/12339/Casma_Injante_Irigoyen_Villacorta.pdf) Aprox 81 p

11. Parrondo L. Ecosistemas empresariales y financieros en Blockchain. Rev Ecòn Catalunya[Internet]. 2019;Junio: p. 1-7. [Consultado 26 marzo 2022]. Disponible en [https://www.academia.edu/38938714/Ecosistemas_empresariales financieros_en_Blockchain](https://www.academia.edu/38938714/Ecosistemas_empresariales_financieros_en_Blockchain).

12. 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[Internet]. 2021 Apr;148:104399. [Cited 10 nov 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348852694_The_Role_of_Blockchain_Technology_in_Telehealth_and_Telemedicine

13. Hassan A, Ali MI, Ahammed R, Monirujjaman Khan M, Alsufyani N, Alsufyani A. Secured Insurance Framework Using Blockchain and Smart Contract. Scientific Programming[Internet]. 2021: p. 1-11. [Cited 10 nov 2022] Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/sp/2021/6787406/>

14. Rengifo García E. ¿Qué es un contrato inteligente?.Revista de la propiedad inmaterial:Universidad Esternado de Colombia, Bogotá D.C. 2019. [Internet]. [Consultado 26 marzo 2022]. Disponible en: <https://propintel.uexternado.edu.co/ques-un-contrato-inteligente/>.

15. O'Shields R. Smart Contracts: Legal Agreements for the Blockchain. 21 N.C. Banking Inst. 2017;21(1): p. 177-194. [Cited 10 nov 2022]. Available at: <https://scholarship.law.unc.edu/ncbi/vol21/iss1/11>



16. Gaitán Luque M, Méndez Mahecha C. Los desafíos que suponen los smart contracts en las relaciones comerciales actuales [Tesis de especialización]. Bogotá: Universidad Javeriana;2019. Recuperado a partir de: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/45700>.
17. Novikov SP, Kazakov OD, Kulagina NA, Azarenko NY. Blockchain and Smart Contracts in a Decentralized Health Infrastructure. In Proceedings of the 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"; 2018; Estados Unidos. p. 697-703.
18. Moreno AM. Consideraciones a la hora de emprender un proyecto Blockchain en el contexto colombiano. Corporación Unificada Nacional de Educación Superior. 2020: [Consultado 26 marzo 2022]. p. 1-11. Disponible en: https://biblioteca.cun.edu.co/cun/documentos/Consideraciones_emprender_blockchain_AvalPUB.pdf
19. Agbo C, Mahmoud Q, Eklund J. Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. Healthcare [Internet] 2019;7(2):56. [Cited 10 nov 2022]. Available from: [http://dx.doi.org/10.3390/healthcare7020056;7\(2\)](http://dx.doi.org/10.3390/healthcare7020056;7(2)): [Consultado 26 marzo 2022]. p. 1-30.
20. Riveros D, Martínez G, González JD, Cabrera N. Diseño e implementación de tecnologías Blockchain para el sector salud en Colombia.[Tesis de grado].Bogotá DC, Colombia:Universidad de los Andes; 2019. Riveros Lancheros, D, Martínez Zarama, G, González Arteta, J y Cabrera Venegas, N. (2019). Diseño e implementación de tecnologías Blockchain para el sector salud en Colombia. Universidad de los Andes.
21. Buterin V. Ethereum White Paper. A next generation Smart Contract & decentralized application platform. Ethereum. 2014; junio: p. 1-36. [Consultado 26 marzo 2022] Disponible en: https://blockchainlab.com/pdf/Ethereum_white_paper_a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf Aprox 36 p
22. Xie Y, Zhang J, Wang H, Liu P, Liu S, Huo T, et al. Applications of Blockchain in the Medical Field: Narrative Review. J Med Internet Res. 2021; 23(10): p. 1-18. [Cited 10 nov 2022]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8555946/>
23. Xu J, Liu H, Han Q. Blockchain technology and smart contract for civil structural health monitoring system. Comput-Aided Civ Inf. 2020; 36(10): p. 1-18. [Cited 10 nov 2022]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mice.12666>
24. Chang SE, Chen Y. Blockchain in Health Care Innovation: Literature Review and Case Study From a Business Ecosystem Perspective. J Med Internet Res[Internet]. 2020;22(8): p. 1-14.[Cited 10 nov 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340856693_Blockchain_in_Health_Care_Innovation_Literature_Review_and_Case_Study_From_a_Business_Ecosystem_Perspective_Preprint
25. Mellizo Gómez D, Minú Dussán J. Modelo basado en Blockchain para la implementación de una historia clínica electrónica familiar. Revista de Investigación en



- Tecnologías de la Información. 2020;8(16): [Consultado 10 marzo 2022]. p. 10-22. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/368/3681730002/html/>
26. Pham HL, Tran TH, Nakashima Y. A Secure Healthcare System for Hospital Using Blockchain Smart Contract. In 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps); 2018; Abu Dhabi: IEEE Xplore. p. 1-6.
27. da Fonseca MH, Kovalski F, Picini CT, Pedroso B. E-Health Practices and Technologies: A Systematic Review from 2014 to 2019. Healthcare. 2021; 9: p. 1-32. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.811707/full>
28. Abdullah S, Rothenberg S, Siegel E, Kim W. School of Block-Review of Blockchain for the Radiologists. Acad Radiol. 2020 Enero; 27(1): p. 47-57.
29. Yan Ng W, Tan TE, Xiao Z, Movva PVH, Foo FSS, Yun D, et al. Blockchain Technology for Ophthalmology: Coming of Age? Asia-Pac J Ophthalmol. 2021; 10(4): p. 343-347.
30. Qiu Z, Zhu Y. A Novel Structure of Blockchain Applied in Vaccine Quality Control: Double-Chain Structured Blockchain System for Vaccine Anticounterfeiting and Traceability. J Healthc Eng. 2021;Marzo 20: p. 1-10. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2021/6660102/>
31. Lin SY, Zhang L, Li J, Ji LI, Sun Y. A survey of application research based on blockchain smart contract. Wirel Netw. 2022; enero 17: p. 635-690.
32. Melo L. Dossier sobre inteligencia artificial, robótica e internet de las cosas. Régimen jurídico de blockchain: una prueba atípica. Revista Bioética y derecho[Internet]. V46:p. 101-116 2019[Consultado 9 marzo 2022]; Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1886-588720190002&lng=es&nrm=iso
33. Smetanin S, Ometov A, Komarov M, Masek P, Koucheryavy Y. Blockchain Evaluation Approaches: State-of-the-Art and Future Perspective. Sensors. [Internet]. 2020 [citado 15 octubre 2022];(20 2020):1–20. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/12/3358>
34. Chisaba Pereira CA. La gestión en salud a través del blockchain: una herramienta del futuro inmediato. Revista UnBosque. 2017 julio-diciembre; 3(6): p. 51-56.

Conflictos de interés

El autor declara que no existen conflictos de interés.

Declaración de autoría

Carlos Emilio Remolina Medina es autor del trabajo en todas sus partes.

