

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

Benefits and limitations of Blockchain in smart contracts in the health systems. A literature review

Carlos E. Remolina-Medina

Universidad Tecnológica de Bolívar - Colombia
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4500-8925>
cremolina@utb.edu.co

Fecha de recepción: 29/10/2022

Fecha de evaluación: 10/11/2022

Fecha de aceptación: 30/11/2022

Cómo citar: Remolina-Medina, C. (2022). Beneficios y limitaciones del Blockchain en contratos inteligentes en el sector salud. Una revisión de la literatura. *Revista Científica Anfibios*, 5(2), 57-71. <https://doi.org/10.37979/afb.2022v5n2.113>



[Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Resumen

La aparición de los contratos inteligentes 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. Identificar los beneficios y limitaciones que se pueden establecer para esta tecnología Blockchain y Smart contract en el sector salud, como nuevo paradigma contractual. Para el desarrollo se ha realizado una revisión de la literatura donde se expone cómo funciona la tecnología Blockchain y los Smart contracts. 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.

Palabras clave

Cadena de bloques; contratos inteligentes; internet de las cosas; e-Salud; historia clínica electrónica

Abstract

The emergence of smart contracts within Blockchain technology is key for its various applications in the health sector, being of great utility 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 business logic. Some examples of their use are identity management to control access to medical records, traceability of pharmaceutical products, health insurance contracting, development of clinical trials, among others. 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. For the development, a literature review has been carried out where it is exposed how Blockchain technology and Smart contracts work. 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 issue that can benefit the situation of the different actors in the system.

Keywords

Blockchain; smart contract; internet of things; e health; electronic medical record

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. (Suárez Rozo, Puerto García, Rodríguez Moreno, & Ramírez Moreno, 2017, pág. 36) 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. (Suárez Rozo et al., 2017) Como podemos 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 importantes de corrupción, dentro de lo más importante está el inadecuado manejo y desviación de recursos por parte de las instituciones tanto públicas como privadas. (Suárez Rozo et al., 2017) 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. (Suárez Rozo et al., 2017) Asociado a lo anteriormente descrito existen fallas en el sistema regulatorio causado por un exceso de normas que generan incertidumbre y confusión. (Suárez Rozo et al., 2017) La ausencia de un sistema único de información desencadena una problemática relacionada con información incompleta, ineficiencia del sistema, datos desactualizados y desarticulados, con dificultades en la vigilancia de los diferentes procesos que se requieren para el buen funcionamiento del mismo. (Suárez Rozo et al., 2017)

Una muestra de esto 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. (Suárez Rozo et al., 2017) 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. (Merlano & Gorbaneff, 2011)

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. (Gobierno nacional de Colombia, 1996) 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. (LexSalud Colombia, 2010)

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. (Bernal Acevedo et al., 2010) Para 2019 se cuenta con 44 EPS y de estas 22 con medias especiales de vigilancia, con lo que podemos 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. (Montes, 2019)

Teniendo en cuenta lo anterior nos enfrentamos a un sistema complejo, con una gran cantidad de participantes con diferentes intereses, que requiere una estricta vigilancia en los diferentes procesos,

para garantizar su efectividad y transparencia, evitando los actos de corrupción o conveniencia.

Hoy la tecnología juega un papel importante en nuestra 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 cambio) podemos 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 esta problemática presentada en relación al sistema de salud, haciendo más eficientes y transparentes sus procesos.

Según (Chang López, 2019), 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.

A través del tiempo esta tecnología ha evolucionado por generaciones, una primera que la relacionamos con las criptomonedas, una segunda donde aparecen los Smart contracts (Contratos Inteligentes) y un 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, podemos ver que son 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. (Chang López, 2019)

En este artículo de reflexión hemos efectuado una revisión sobre cómo funciona la tecnología Blockchain y Smart contract con su utilidad en diferentes procesos realizados en el sector salud, y las diferentes posibilidades de aplicación. Posteriormente identificamos sus beneficios y limitaciones como nuevo paradigma contractual. Para esto desarrollamos una estructura que inicia con las definiciones, seguidamente veremos cómo ha sido su evolución, como funciona, cuáles son sus beneficios

y limitaciones, finalmente presentaremos los resultados y conclusiones.

Métodos

En este estudio de reflexión hemos hecho una revisión de la literatura donde exponemos cómo funciona la tecnología Blockchain y los Smart contracts, cuál es su utilidad, y como puede ser aplicada en el sector salud. Para esto tuvimos 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, identificamos los beneficios y limitaciones de esta tecnología, teniéndolos en cuenta como un nuevo paradigma contractual.

Nosotros realizamos 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 Escogido). Artículos asociados (3 escogidos). Para un total de 36 artículos seleccionados para revisión, fueron usados 34.

Para la estructura de la revisión, después de leer los artículos, primero vamos a hacer 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. (Hasselgren et al., 2020)

Planteamientos sobre la definición de Blockchain y Smart contract

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 (Pava Díaz et al., 2021), lo describe como un sistema de dinero electrónico llamado criptomonedas basada en una red distribuida y descentralizada, solucionando el problema del doble gasto.

Antonopoulos en 2014 (Pava Díaz et al., 2021), 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. (Pava Díaz et al., 2021)

Preukschat en 2017 (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020), 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.

Por su parte, Parrondo (2019), afirma 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.

Los Smart contracts son programa autoejecutable en la plataforma Blockchain, que automatiza los procesos comerciales y reemplaza el papel de inter-

mediarios, 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. (Wasim Ahmad et al., 2021)

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. (Hassan et al., 2021)

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” (Rengifo García, 2019).

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” (O’Shields, 2017)

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. (Gaitán Luque & Méndez Mahecha, 2019)

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. (Rengifo García, 2019)

Evolución del Blockchain

El sistema Blockchain empieza en 2008 con una proclamación de Nakamoto (Pava Díaz et al., 2021), en un foro de criptografía, describiendo un sistema de dinero electrónico llamado criptomone-

da basada en una red distribuida y descentralizada, solucionando el problema del doble gasto. Nace con el bitcoin, como un sistema de transacciones sin intermediarios. (Pava Díaz et al., 2021)

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 (Novikov et al., 2018), en su libro “Blockchain. Blueprint for a New Economy” donde identifica tres áreas condicionales para la aplicación de esta tecnología.

Es así como tenemos 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. (Moreno, 2020, pág. 5) El Bitcoin es considerado como tecnología Blockchain 1.0 o de primera generación. (Agbo et al., 2019)

En la segunda generación aparecen la ejecución del Smart contract y las aplicaciones descentralizadas. Su principal importancia radica en la posibilidad de certificación, trazabilidad, la gestión de acuerdos y las comunidades autónomas descentralizadas. (Moreno, 2020) 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. (Riveros et al., 2019, pág. 8) Esta segunda generación, puede ser usada en el cuidado de la salud y está asociada con la introducción de propiedades inteligentes y contratos inteligentes. (Agbo et al., 2019) 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. 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 hasta después del 2009 con la aparición del Blockchain (Buterin, 2014).

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. (Agbo et al., 2019)

En el grupo de tercera generación ya podemos ver como se resuelven problemas de escalabilidad, interoperabilidad, sostenibilidad, privacidad y gobernanza, mejorando la operatividad de las generaciones anteriores. (Moreno, 2020)

Cómo está estructurado el funcionamiento del Blockchain y los Smart contracts

El Blockchain y los Smart contracts puede 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 vamos a describir.

Existen diferentes tipos de redes de Blockchain, estas las podemos clasificar en redes públicas, privadas, semiprivadas y las construidas mediante un consorcio, cada una con características diferentes. (Riveros et al., 2019)

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. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

Privadas: esta red centra todos los accesos de la data únicamente para los usuarios de su propia red. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

Semiprivado: en este caso la operación se da por una sola entidad que otorga los accesos a los usuarios que cumplan con los requisitos. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

Consortios: Aquí el control lo tiene un grupo preseleccionado y los accesos pueden ser públicos o restringidos. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

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. (Xie et al., 2021)

Para que el Blockchain y los Smart contract 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 manejarán el mismo protocolo que los comunica entre sí y así 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. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020, pág. 3)

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. (Xu, Liu, & Han, 2020)

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 pro-

gramación ejecutables. (Gaitán Luque & Méndez Mahecha, 2019) Y el otro elemento es el Blockchain que ya fue mencionado previamente.

Funcionamiento

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. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

Esto genera una estructura, donde cada transacción o bloque produce un Hash, cadena alfanumérica que va enlaza con bloque anterior. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

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 es cuando todos los nodos anotan la transacción y certifican que será parte de todos los bloques. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

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. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

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 validación del anterior, debido a esto la cadena no es manipulable.

Los Smart contracts y el Blockchain son dos tecnologías independientes. (Xu, Liu, & Han, 2020) El objetivo del Smart contract es hacer que las transacciones sigan los términos del contrato preestablecidos y que se ejecuten de manera automática. (Xu, Liu, & Han, 2020) Cuando el Smart contract se combina con la tecnología Blockchain, algo que se puede realizar mediante la plataforma Ethereum, permitiendo evitar manipulaciones maliciosas, disminuyendo costos y mejorando la eficiencia. (Xu, Liu, & Han, 2020)

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. (Riveros et al., 2019)

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. (Riveros et al., 2019)

La procedencia y trazabilidad de la cadena de suministro farmacéutica: los medicamentos falsos y falsificados pueden ser un gran proble-

ma, 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. (Chang & Chen, 2020)

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. (Riveros et al., 2019)

El seguimiento de dispositivos implantables, que tienen costos elevados. El reuso ilegal de estos implantes plantea la necesidad de un sistema de seguimiento para saber la trazabilidad del implante y evitar la posibilidad de que sean vendidos de manera ilegal. (Riveros et al., 2019)

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. (Riveros et al., 2019)

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. (Chang López, 2019)

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 generando riesgos para la salud de los pacientes. (Mellizo Gómez & Minú Dussán, 2020)

En la tabla 1, podemos 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.

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

Aplicación	Autor	Nº
Health care	Hasselgren A. et al. (Hasselgren, Kravlevska, Gligoroski, Pedersen, & Faxvaag, 2020); Xie Y. et al. (Xie, y otros, 2021); Luan Pham H. et al. (Pham, Tran, & Nakashima, 2018); da Fonseca M. et al. (da Fonseca, Kovaleski, Picini, & Pedroso, 2021); Pava RA. et al. (Pava Díaz, Pérez Castillo, & Niño Vásquez, 2021); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020); Riveros D. et al. (Riveros, Martínez, González, & Cabrera, 2019); Novikov SP. et al. (Novikov, Kazakov, Kulagina, & Azarenko, 2018); Agbo C. et al. (Agbo, Mahmoud, & Eklund, 2019)	9
Health sciences	Hasselgren A. et al. (Hasselgren, Kravlevska, Gligoroski, Pedersen, & Faxvaag, 2020)	1
Health education	Hasselgren A. et al. (Hasselgren, Kravlevska, Gligoroski, Pedersen, & Faxvaag, 2020)	1
Monitoreo en salud	Xu J. et al. (Xu, Liu, & Han, 2020)	1
Blockchain para radiología	Ra-Abdullah S. et al. (Abdullah, Rothenberg, Siegel, & Kim, 2020)	1
Blockchain para oftalmología	Of-Yan Ng W. et al. (Yan Ng, y otros, 2021)	1
Control de calidad para vacunas	Qiu Z. et al. (Qiu & Zhu, 2021)	1
Telehealth	Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 2021)	1
COVID-19	Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 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

Fuente: Elaboración propia

Limitaciones y beneficios 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 los escasos 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. (Moreno, 2020, pág. 6)

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 este sistema de Blockchain los datos no pueden ser actualizados, rectificadados 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. (Moreno, 2020, págs. 7-8)

La globalización y aparición del internet, asociado a la velocidad vertiginosas 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. (Chang López, 2019, pág. 25). También lo vemos 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. (Parrondo, 2019, pág. 1)

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. (Agbo, Mahmoud, & Eklund, 2019)

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. (Moreno, 2020)

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. (Casma Injante & Irigoyen Villacorta, 2020)

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. (Chang López, 2019)

En la tabla 2 y 3 exponemos una importante variedad de beneficios y limitaciones por los diferentes autores, encontrados en las publicaciones revisadas.

Tabla 2. Beneficios del Blockchain y los Smart Contract

Beneficios	Autor	Nº
Descentralización	Xie Y. et al. (Xie, y otros, 2021); Abdullah S. et al (Abdullah, Rothenberg, Siegel, & Kim, 2020); Yan Ng W. et al. (Yan Ng, y otros, 2021); Pava R. et al (Pava Díaz, Pérez Castillo, & Niño Vásquez, 2021); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 2021); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020); Parrondo L. (Parrondo, 2019)	7
Autonomía	Xie Y. et al. (Xie, y otros, 2021)	1
Credibilidad	Xie Y. et al. (Xie, y otros, 2021); Qiu Z. et al. (Qiu & Zhu, 2021)	2
Transparencia	Xie Y. (Xie, y otros, 2021); Abdullah S. et al. (Abdullah, Rothenberg, Siegel, & Kim, 2020); Qiu Z. et al. (Qiu & Zhu, 2021); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 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, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 2021)	2
Aumento de la integridad de los datos	Hasselgren A. et al. (8)	1
Inmutabilidad	Yan Ng W. et al. (Yan Ng, y otros, 2021); Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 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, Pérez Castillo, & Niño Vásquez, 2021); Chang S. et al. (Chang & Chen, 2020)	2
Gobernanza	Pava R. et al. (Pava Díaz, Pérez Castillo, & Niño Vásquez, 2021)	1
Sistema de consenso	Pava R. et al. (Pava Díaz, Pérez Castillo, & Niño Vásquez, 2021)	1
Auditabilidad	Wasim R. et al. (Wasim Ahmad, Salah, Jayaraman, Yaqoob, & Ellahham, 2021); L.Parrondo (Parrondo, 2019)	2
Automatización	L.Parrondo (Parrondo, 2019)	1

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Limitaciones del Blockchain y los Smart Contract

Limitaciones	Autor	N°
Equilibrio entre escalabilidad, distribución y seguridad	Lin S. et al. (Lin, Zhang, Li, Ji, & Sun, 2022); Abdullah S. et al. (Abdullah, Rothenberg, Siegel, & Kim, 2020)	2
Supervisión de seguridad	Lin S. et al. (Lin, Zhang, Li, Ji, & Sun, 2022)	1
Costo del consenso	Lin S. et al. (Lin, Zhang, Li, Ji, & Sun, 2022)	1
Alto consumo de energía e impacto ambiental	Lin S. et al. (Lin, Zhang, Li, Ji, & Sun, 2022); Abdullah S. et al. (Abdullah, Rothenberg, Siegel, & Kim, 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, Rothenberg, Siegel, & Kim, 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

Fuente: elaboración propia

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. (Hasselgren et al., 2020)

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. (Chang López, 2019) Gran Bretaña ya lo incluyó en la contratación pública

con el G-Cloud. En la Isla de Man se está usando para hacer contratos. (Chang López, 2019) 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. (Chang López, 2019)

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. (Hasselgren et al., 2020) 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. (Hasselgren et al., 2020)

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. (Novikov et al., 2018) También encontramos un proyecto similar al de Estonia y apoyado por ellos mismos para el almacenamiento de datos médicos, en Emiratos Árabes Unidos. (Novikov et al., 2018) 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. (Novikov et al., 2018) En el Reino Unido, Google desarrollo un sistema de registro de datos médicos sobre la base de Blockchain, regulado por instituciones médicas. (Novikov et al., 2018) Y así de la misma manera podemos homologar estas iniciativas en otros países como Alemania y Rusia, con diferentes proyectos Blockchain desarrollándose en el área médica. (Novikov et al., 2018) 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 todos los participantes del sistema. (Novikov et al., 2018)

Teniendo en cuenta los beneficios para el sector salud de la segunda generación de Blockchain, fundamentado en los Smart contracts, podemos ver que son una tecnología clave con diversas aplicaciones en el sector salud. (Chang López, 2019) 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. (Smetanin et al., 2020) Con 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. (Hasselgren et al., 2020)

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. (Hasselgren et al., 2020)

Por esto el interés científico sobre esta tecnología lo podemos ver reflejado en una revisión realizada por Agbo (Agbo et al., 2019)

donde observo 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. Esto nos deja ver un poco sobre la actualidad del tema. (Agbo et al., 2019)

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 en un 6% entre otros. (Agbo et al., 2019)

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 (EPS) 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. (Riveros, Martínez et al., 2019; Chang & Chen, 2020)

Conclusiones

Como dice Chisaba Pereira (2017) “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”.

La aparición del Blockchain y los Smart contracts, pueden ayudar a solucionar dificultades re-

lacionada 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 del sistema. Los Smart contract pueden disminuir los niveles de corrupción, agilizando los procesos de trámite, haciéndolos más eficientes y transparentes. (Chang López, 2019)

Para que esto pueda darse tenemos que 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 hacemos esto se abre la puerta a la posibilidad que intermediarios tecnológicos del extranjero se beneficien del poco conocimiento que se tiene sobre el tema y se pierdan las oportunidades que esta tecnología nos puede aportar. (Chang López, 2019)

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.

Pero 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 anotar que debemos revisar muy cuidadosamente todas estas limitaciones que nos 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, esto así para poder encontrarnos a la vanguardia del desarrollo de esta nueva era de la revolución industria 4, y para esto debe haber voluntad e inversión de parte de los Gobiernos.

Referencias

- Abdullah, S., Rothenberg, S., Siegel, E., & Kim, W. (Enero de 2020). School of Block-Review of Blockchain for the Radiologists. *Academic Radiology*, 27(1), 47-57.
- Agbo, C. C., Mahmoud, Q. H., & Eklund, J. (2019). Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. *healthcare Review*, 1-30.
- Bernal Acevedo, O. A., Díaz-Granados, J. M., Giraldo Valencia, J. C., & Castaño Yepes, R. A. (septiembre de 2010). El futuro del aseguramiento: ¿Deben acabarse las EPS en Colombia? *Portada*, 22-29.
- Buterin, V. (junio de 2014). Ethereum White Paper. A nex generation Smart Contract & decentralized application platform. *Ethereum*, 1-36.
- Casma Injante, C. C., & Irigoyen Villacorta, M. d. (Noviembre de 2020). Aplicación de tecnología Blockchain para la trazabilidad de muestras de laboratorio. *Tesis de Maestría*. Lima, Perú.
- Chang López, R. E. (2019). Blockchain y su impacto en la economía: Sector Banca, Salud, Internet de las cosas y voto electrónico. *ICAP-Revista Centroamericana de Administración Pública*, 23-31.
- Chang, S. E., & Chen, Y. (2020). Blockchain in Health Care Innovation: Literature Review and Case Study From a Business Ecosystem Perspective. *Journal of Medical Internet Research*, 1-14.
- Chisaba Pereira, C. A. (julio-diciembre de 2017). La gestión en salud a través del blockchain: una herramienta del futuro inmediato. *Revista UnBosque*, 3(6), 51-56.
- da Fonseca, M. H., Kovalski, F., Picini, C. T., & Pedroso, B. (2021). E-Health Practices and Technologies: A Systematic Review from 2014 to 2019. *Healthcare*, 9, 1-32.

- Gaitán Luque, M., & Méndez Mahecha, C. (2019). Los desafíos que suponen los smart contracts en las relaciones comerciales actuales. *Los desafíos que suponen los smart contracts en las relaciones comerciales actuales*. Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.
- Gobierno nacional de Colombia. (1996). *Instituto Nacional de Salud*. Recuperado el 26 de marzo de 2022, de Instituto Nacional de Salud: <https://www.ins.gov.co/Normatividad/Decretos/DECRETO%202423%20DE%201996.pdf>
- Hassan, A., Ali, M. I., Ahammed, R., Monirujjaman Khan, M., Alsufyani, N., & Alsufyani, A. (2021). Secured Insurance Framework Using Blockchain and Smart Contract. *Hindawi Scientific Programming*, 1-11.
- Hasselgren, A., Krlevska, K., Gligoroski, D., Pedersen, S., & Faxvaag, A. (2020). Blockchain in healthcare and health sciences—A scoping review. *International Journal of Medical Informatics*, 1-10.
- LexSalud Colombia. (2010). Recuperado el 26 de marzo de 2022, de LexSalud Colombia: <http://lexsaludcolombia.files.wordpress.com/2010/10/tarifas-iss-2001.pdf>
- Lin, S.-Y., Zhang, L., Li, J., Ji, L.-l., & Sun, Y. (17 de enero de 2022). A survey of application research based on blockchain smart contract. *Wireless Networks*, 635-690.
- Mellizo Gómez, D., & Minú Dussán, J. (2020). Modelo basado en Blockchain para la implementación de una historia clínica electrónica familiar. *RITI Journal*, 10-22.
- Melo, L. (2019). Dossier sobre inteligencia artificial, robótica e internet de las cosas. Régimen jurídico de blockchain: una prueba atípica. *Revista Bioética y derecho*, 46, 101-116.
- Merlano, C., & Gorbaneff, Y. (2011). ¿Por qué se limita la integración vertical en el sector salud en Colombia? Obtenido de colaboracion.dnp.gov.co: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portalDNP/Documentos%20de%20consulta/¿Por%20qué%20se%20limita%20la%20integración%20vertical%20en%20el%20sector%20salud%20en%20Colombia.pdf>
- Montes, S. (21 de febrero de 2019). Superintendencia Nacional de Salud tiene 22 EPS con medidas especiales. *La República*.
- Moreno, A. M. (2020). Consideraciones a la hora de emprender un proyecto Blockchain en el contexto colombiano. *Corporación Unificada Nacional de Educación Superior*, 1-11.
- Novikov, S. P., Kazakov, O. D., Kulagina, N. A., & Azarenko, N. Y. (2018). Blockchain and Smart Contracts in a Decentralized Health Infrastructure. *Proceedings of the 2018 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies"*, (págs. 697-703). Estados Unidos.
- O'Shields, R. (2017). Smart Contracts: Legal Agreements for the Blockchain. *21 N.C. Banking Inst.*, 177-194.
- Parrondo, L. (2019). Ecosistemas empresariales y financieros en Blockchain. *La Revista de Economía de Catalunya*, 1-7.
- Pava Díaz, R. A., Pérez Castillo, J. N., & Niño Vásquez, L. F. (2021). Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajo un escenario soportado en IoT y blockchain. *Tecnura*, 112-130.
- Pham, H. L., Tran, T. H., & Nakashima, Y. (2018). A Secure Healthcare System for Hospital Using Blockchain Smart Contract. *2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* (págs. 1-6). Abu Dhabi: IEEE Xplore.
- Qiu, Z., & Zhu, Y. (20 de Marzo de 2021). A Novel Structure of Blockchain Applied in Vaccine Qua-

lity Control: Double-Chain Structured Blockchain System for Vaccine Anticounterfeiting and Traceability. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021, 1-10.

Rengifo García, E. (10 de Junio de 2019). ¿Qué es un contrato inteligente? Bogotá D.C, Cundinamarca, Colombia.

Riveros, D., Martínez, G., González, J. D., & Cabrera, N. (2019). Diseño e implementación de tecnologías Blockchain para el sector salud en Colombia. *Universidad de los Andes*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Smetanin, S., Ometov, A., Komarov, M., Masek, P., & Koucheryavy, Y. (junio de 2020). Blockchain Evaluation Approaches: State-of-the-Art and Future Perspective. *Sensors*, 20, 1-20.

Suárez Rozo, L. F., Puerto García, S., Rodríguez Moreno, L. M., & Ramírez Moreno, J. (enero-junio de 2017). La crisis del sistema de salud colombiano: una aproximación desde la legitimidad y la regulación. *Rev. Gerenc. Polit. Salud*, 16(32), 34-50.

Wasim Ahmad, R., Salah, K., Jayaraman, R., Yaqoob, I., & Ellahham, S. (2021). The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine. *International Journal of Medical Informatics*, 1-10.

Xie, Y., Zhang, J., Wang, H., Liu, P., Liu, S., Huo, T., . . . Ye, Z. (2021). Applications of Blockchain in the Medical Field: Narrative Review. *Journal of Medical Internet Research*, 23(10), 1-18.

Xu, J., Liu, H., & Han, Q. (2020). Blockchain technology and smart contract for civil structural health monitoring system. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(10), 1-18.

Yan Ng, W., Tan, T.-E., Xiao, Z., Movva, P. V., Foo, F. S., Yun, D., . . . Ting, D. S. (julio/agosto de 2021). Blockchain Technology for Ophthalmology: Coming of Age? *Asia-Pacific Academy of Ophthalmology*, 10(4), 343-347.