



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Arquitectura de información para asegurar la trazabilidad en la distribución de
medicina en el Ministerio de Salud Pública basado en Blockchain**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: Roberto Israel Lara Moran

TUTOR: Joe Frand Llerena Izquierdo, Ing., Msc.

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Roberto Israel Lara Moran con documento de identificación N° 0924522311 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 23 de julio del año 2024

Atentamente,



Roberto Israel Lara Moran

0924522311

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Roberto Israel Lara Moran con documento de identificación N° 0924522311, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: **“Arquitectura de información para asegurar la trazabilidad en la distribución de medicina en el Ministerio de Salud Pública basado en Blockchain”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de julio del año 2024

Atentamente,



Roberto Israel Lara Moran

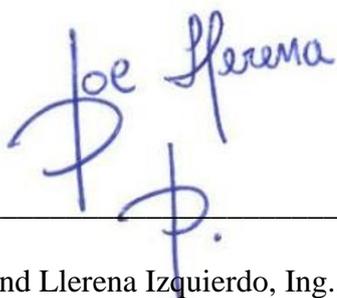
0924522311

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Joe Frand Llerena Izquierdo con documento de identificación N° 0914884879, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **Arquitectura de información para asegurar la trazabilidad en la distribución de medicina en el Ministerio de Salud Pública basado en Blockchain**, realizado por Roberto Israel Lara Moran con documento de identificación N° 0924522311, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de julio del año 2024

Atentamente,



Joe Frand Llerena Izquierdo, Ing., Msc.

0914884879

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, quien ha sido y fue una constante fuente de apoyo y sabiduría en mi vida. Le agradezco por motivarme a alcanzar mis metas y por creer en mí en todo momento aun sabiendo de mis limitaciones nunca me desamparo.

Agradezco a mis familiares y amigos, que con cuya consideración han sido muy importante en momentos de alegría como en momentos difíciles. Su presencia ha convertido mi trayectoria académica y laboral en una experiencia gratificante y enriquecida de conocimientos y progresos.

Mi reconocimiento también va dirigido a mis profesores, quienes con paciencia y dedicación han guiado mi aprendizaje y ampliado mi comprensión.

Les estoy agradecido por ser fuentes de inspiración y sabiduría.

Roberto Israel Lara Moran

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos los docentes, aquellos que han sido fundamentales para mi instrucción académica y por dichas enseñanzas me han permitido desarrollar este artículo. Su dedicación y apoyo han sido invaluable, y estoy agradecido por la oportunidad de aprender bajo su tutela.

Expreso mi gratitud a mi familia por su constante motivación y por ser mi fuente de inspiración. Mi madre fue mi impulso para superar los desafíos y perseverar en la consecución de mis metas académicas. Por consiguiente, agradezco a todos aquellos que me han ayudado en mis objetivos. Cada aporte ha sido valioso y ha contribuido al éxito de este trabajo. Gracias a todos por su colaboración y apoyo.

Roberto Israel Lara Moran

RESUMEN

A nivel general, los medicamentos falsos o de mala calidad constituyen un grave problema para los pacientes y sus familiares. La cadena de suministro requiere una alternativa en el sistema de seguimiento y trazabilidad de medicamentos de extremo a extremo, para aumentar la seguridad de los productos y descartar los medicamentos malos o falsos. Los medicamentos deben cumplir ciertos niveles de luz, temperatura, presión y humedad. El objetivo general de esta investigación es diseñar una arquitectura para garantizar la seguridad e integridad de información durante la distribución de medicina en el Ministerio de Salud Pública basado en Blockchain. Se utiliza la revisión de literatura, se adopta de los artículos científicos seleccionados de la revisión de literatura, los componentes de Blockchain como tipo de red, tipo de plataforma, funciones del smart contract, mecanismo de consenso, definición del ledger. En este artículo, se sugiere utilizar la tecnología Blockchain, se propone una arquitectura llamada “Red Blockchain Ethereum MedichainUPS” basada en Ethereum, formada por participantes como la fábrica, distribuidor, ministerio, centros de salud y clientes; almacena la temperatura y humedad; puede desarrollar la trazabilidad y visibilidad durante la cadena de suministro de los medicamentos, y evitar la falsificación de los productos, además con potencial para trazabilidad de los medicamentos; se presenta una ilustración para visualizar el funcionamiento sugerido y la funcionalidad de los diferentes participantes. Entre los 19 artículos, el 68% de los modelos presentados cumplen la factibilidad teórica de su implementación. Por otra parte, la arquitectura propuesta “Red Blockchain Ethereum MedichainUPS”, tiene 12 puntos y tiene la característica de la factibilidad teórica.

Palabras claves: Trazabilidad, Distribución de medicina, Ministerio de Salud Pública, Blockchain.

ABSTRACT

In general, fake or poor quality medicines are a serious problem for patients and their families. The supply chain requires an alternative in the end-to-end drug tracking and traceability system, to increase product safety and discard bad or fake drugs. Medications must meet certain levels of light, temperature, pressure, and humidity. The general objective of this research is to design an architecture to guarantee the security and integrity of information during the distribution of medicine in the Ministry of Public Health based on Blockchain. Literature review is used, it is adopted from the scientific articles selected from the literature review, the components of Blockchain such as network type, platform type, smart contract functions, consensus mechanism, ledger definition. In this article, it is suggested to use Blockchain technology, an architecture called "Ethereum MedichainUPS Blockchain Network" based on Ethereum is proposed, formed by participants such as the factory, distributor, ministry, health centers and customers; stores temperature and humidity; it can develop traceability and visibility during the supply chain of medicines, and prevent counterfeiting of products, in addition to having the potential for traceability of medicines; An illustration is presented to visualize the suggested operation and functionality of the different participants. Among the 19 articles, 68% of the models presented meet the theoretical feasibility of their implementation. On the other hand, the proposed architecture "Ethereum Blockchain Network MedichainUPS", has 12 points and has the characteristic of theoretical feasibility.

Key words: Traceability, Distribution of medicine, Ministry of Public Health, Blockchain.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1. Blockchain.....	13
2.2. Seguimiento de medicina con Blockchain	13
3. METODOLOGÍA	16
4. RESULTADOS.....	17
4.1. Análisis de referencias científicas para identificar y categorizar arquitecturas de Blockchain sobre trazabilidad y distribución de medicinas	17
4.2. Diseño de una arquitectura de información para delimitar la C.I.D. de las transacciones en la entrega de medicina en el MSP basado en Blockchain.....	21
4.3. Evaluar el diseño propuesto para definir su viabilidad mediante una encuesta a profesionales y una tabla de factibilidad.	25
5. DISCUSIÓN.....	29
6. CONCLUSIÓN.....	31
REFERENCIAS	32

1. INTRODUCCIÓN

La distribución de medicamentos o productos farmacéuticos es un problema muy importante y complicado de gestionar dentro de los mercados nacionales e internacionales (Zerega-Prado & Llerena-Izquierdo, 2022). Los medicamentos tienen el riesgo de ser desviados o ser etiquetados en forma falsa desde su origen físico o fábrica de producción con el propósito de engañar a los clientes o consumidores, y caer en la apariencia que reciben y tienen un producto real. Otro principal determinante en que los medicamentos llegan al mercado del consumidor es la complicada estructura de una cadena de suministro durante la atención médica (Melendrez-Caicedo & Llerena-Izquierdo, 2022). A nivel general, los medicamentos falsos o de mala calidad constituyen un grave problema para los pacientes y sus familiares. La Organización Mundial de la Salud, expresa que un millón de personas a nivel mundial fallecen por la utilización de medicamentos falsos o fraudulentos o mal gestionados (Mamoon & Shah, 2023).

Los actuales sistemas de gestión en la cadena de suministro para la atención médica mantienen barreras o desafíos importantes debido a estos tipos de medicamentos falsos, que provocan varios fallecimientos y pérdidas financieras en los sectores de salud y atención médica. La seguridad sanitaria de los pacientes, centros de salud y la salud pública en forma general pueden percibirse muy afectados por los resultados de medicamentos falsos o mal gestionados durante la distribución (Emmanuel et al., 2023).

Además, la cadena de suministro en la atención sanitaria o médica es una red de negocios con activos y procesos implicados en la adquisición, fabricación, bodegaje y distribución de los productos y servicios médicos. Esta cadena, envuelve todos los procedimientos y marcos mínimos para garantizar la entrada de los medicamentos y satisfacer las necesidades de los pacientes, los trabajadores e instalaciones de salud. Se considera un desafío rastrear o conocer la trazabilidad de los productos dentro de la red sanitaria porque existe una variedad de problemas, como el no registro de los medicamentos, la centralización de la gestión y la competencia entre fabricas-distribuidores. Esta complejidad en la cadena de suministros genera ineficiencias, y puede ser difícil contener la proliferación de malos medicamentos durante la cadena en la atención médica (Musamih et al., 2021).

Por otra parte, el ciclo de vida general de un medicamento es seis etapas: investigación, fabricación, distribución, venta mayoritaria, uso y eliminación. Cada una de estas etapas debería ser bien regulada y controlada. En la realidad, esta regulación y control es difícil de lograr.

Además, los interesados en la cadena de suministro de los medicamentos envuelven a: proveedores de materias primas, fabricantes, almacenes, distribuidores, farmacias y clientes-pacientes.

Algunos de los problemas en la distribución de medicamentos son: a) La Autenticidad de los datos en los medicamentos, porque los repositorios de datos están registrados por las empresas farmacéuticas, puede existir el evento de manipulación o falsificación de los datos básicos como la fabricación, origen y caducidad; estos datos son concluyentes para los clientes, e incluyen la seguridad sobre el uso de los medicamentos. b) La Integridad de los datos para la trazabilidad debido a la complicada estructura que tiene la cadena de suministro de medicamentos, pueden existir ciclos de vida es muy largos, el registro de los datos durante todo el ciclo de vida es complicado, puede existir un proceso gris no registrado, y alguna posibilidad de mezclar el medicamento con drogas falsas. c) La Privacidad de datos confidenciales debido a las empresas farmacéuticas mantienen el uso de plataformas de trazabilidad que no son propias o pertenecen a terceros, y contienen la información de medicamentos en aquella base de datos; en este sentido, los datos confidenciales de medicinas pueden analizarse, clasificarse y ejecutar transacciones grises por parte de terceros. d) La Confiabilidad del sistema informático o plataforma, si es una base de datos centralizada tradicional, o si en alguna ocasión falla el servidor u otro accidente, entonces el sistema de trazabilidad no puede brindar servicios, incluso puede haber pérdida de datos o no puede recuperarse la base. e) Difícil de regular, el control y supervisión de los medicamentos está basada en las inspecciones aleatorias, con quejas e informes de los pacientes. Estos controles si pueden prevenir accidentes respecto a la seguridad de los medicamentos, pero este enfoque regulatorio no es suficiente (Xu et al., 2023).

De acuerdo al Instituto de Estadísticas del Ecuador (INEC, 2022), hasta el año 2022 hubo 1130000 atenciones médicas, de estos 730 mil corresponden al sector público distribuidos en 180 centros de salud del Ministerio de Salud Pública (MSP-Ecuador). Se necesita asegurar la información en la distribución de medicinas para esta magnitud de personas. Para la atención médica, el MSP-Ecuador realiza la distribución de la medicina, los problemas principales que tiene el MSP son: sistema informático centralizado, uso de aplicaciones informáticas basadas en bases de datos, sistema vulnerable en ingreso de los medicamentos, distribución tardía hacia las unidades de salud, cambio de datos en el sistema informático, posible cambio de fecha de medicamentos, las cantidades ingresadas pueden ser modificadas, no se puede realizar

trazabilidad de los medicamentos en el mismo sistema informático, la trazabilidad debe iniciar desde la fabricación.

Los medicamentos que están en la cadena de suministro deben ser monitoreados o verificar la trazabilidad en forma constante, controlada cuidadosamente y registrada para evitar de manera eficiente los medicamentos falsificados. La cadena de suministro requiere una alternativa en el sistema de seguimiento y trazabilidad de medicamentos de extremo a extremo, para aumentar la seguridad de los productos y descartar los medicamentos malos o falsos. Los medicamentos deben cumplir ciertos niveles de luz, temperatura, presión y humedad al ser almacenados algunos medicamentos líquidos. También, se debe poner atención a la temperatura durante el tránsito y la maniobra, además es necesario atender las necesidades de temperatura de almacenamiento. La necesidad de aplicar trazabilidad desde el origen de los medicamentos a través de una cadena de suministro eficiente en el mercado introduce el potencial de Blockchain en una perspectiva amplia del futuro mercado de la atención médica.

Objetivo general de esta investigación: Diseñar una arquitectura para garantizar la seguridad e integridad de información durante la distribución de medicina en el Ministerio de Salud Pública basado en Blockchain.

Objetivos específicos de esta investigación:

- I. Analizar referencias científicas para identificar y categorizar arquitecturas de Blockchain sobre trazabilidad y distribución de medicinas mediante la revisión de literatura
- II. Diseñar una arquitectura de información para delimitar la confiabilidad, integridad y disponibilidad de las transacciones en la entrega de medicina en el MSP basado en Blockchain
- III. Evaluar el diseño propuesto para definir su viabilidad mediante una encuesta a profesionales y una tabla de factibilidad en contraste con los trabajos relevantes de la literatura.

Con la tecnología blockchain, se puede diseñar o desarrollar un sistema informático de gestión de la cadena de suministro en la atención sanitaria. Blockchain ofrece una confirmación de seguridad que se mantiene a prueba de manipulaciones. En una nueva generación de distribución de medicamentos basadas en Blockchain, cada participante que genera los datos

debe cargarlos en la cadena de bloques. La tecnología permite lograr la transparencia y los mecanismos de marca de tiempo, además se garantiza que los datos se mantengan inalterados.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Blockchain

Es una estructura de almacenamiento que permanece encadenada entre cada bloque. Los datos se mantienen guardados en una copia completa sobre una estructura llamada “libro de transacción mayor” (ledger) que es algo similar a una base de datos, donde cada nodo tiene un fragmento de la información. Existe un bloque que es un tipo especial en la cadena de bloques, se llama nodo minero que se genera a través de algoritmos de consenso. El nodo minero empaqueta los datos o transacciones dentro de la red blockchain en bloques y las envía hacia el resto de los nodos, mientras tanto los otros nodos adicionan la transacción a la red generada a su copia. Blockchain es una cadena de bloques que se mantiene descentralizada mediante un mecanismo de consenso. En la red, una institución centralizada no mantiene el libro de transacciones maestro (ledger), sino que cada nodo participante mantiene su libro de transacciones (ledger), de modo que el verdadero estado del libro de transacciones puede estar garantizado contra la falsificación, siempre y cuando que menos de la mitad de los nodos participantes no sean nodos maliciosos (Hashim & Harous, 2021).

2.2. Seguimiento de medicina con Blockchain

Los investigadores describen una aplicación informática sobre la gestión de la cadena de suministro que controla en forma eficaz la cadena de frío para productos sensibles bajo la temperatura y ayuda a minimizar la problemática de los medicamentos falsos. El método de consenso se utiliza para maximizar el rendimiento de la aplicación, aquí la red distribuida Blockchain mantiene una óptima escalabilidad de la red (Singh et al., 2020).

El esquema blockchain es utilizado para obtener, mantener y preservar la información de los sensores, el objetivo del esquema es garantizar la seguridad y la apertura entre los participantes en diferentes lugares. El esquema es evaluado con respecto a mantener el éxito ante un ataque, la capacidad del esquema para confirmar una agresión y un ataque de falsificación (Rathee et al., 2021).

La propuesta es una aplicación informática que trabaja posterior a la cadena de suministros, se presenta un sistema de gestión de propiedad de medicamentos basado en Blockchain, aquí los esfuerzos de los defraudadores que copian las etiquetas reales son inútiles porque no logran establecer la propiedad de los productos (Toyoda et al., 2021).

El autor llamado Pun, concluyó que el uso de Blockchain y la participación del gobierno beneficia a los fabricantes y consumidores, porque los costos de implementación son menores para el fabricante, y un menor riesgo para los consumidores que sean víctimas de engaño al adquirir un producto falso (Pun et al., 2021).

El nuevo sistema informático de suministro basado en tecnología blockchain, tiene la capacidad de monitorear y rastrear productos, además puede identificar ataques que involucraban replicación de etiquetas, clonación y alteración. La herramienta es eficaz en redes de gran magnitud, se considera una buena opción para cadenas de distribución masivas que demandan una mejora en la centralización (Alzahrani & Bulusu, 2021).

El trabajo de Jayaraman se enfocó utilizar IoT y Blockchain para el seguimiento y rastreo de productos, para mantener unidos a los participantes dentro de una sola plataforma, la cadena utiliza un Contrato Inteligente para la gestión de atención médica (Jayaraman et al., 2021).

La investigación introduce un enfoque novedoso e integrado con Blockchain para una cadena de suministro del sistema sanitario. La estrategia genera buenos resultados en términos de disminuir el tiempo de respuesta y latencia, y aumentar el rendimiento (Nanda et al., 2023).

El sistema basado en bloques obtuvo evaluaciones funcionales realizadas con éxito en la transparencia de los datos durante la cadena de suministro, el sistema aumenta la seguridad de los medicamentos y minimiza el trabajo humano, esto resulta en información que es transparente para los participantes dentro de la cadena de suministro (Shi et al., 2019).

En forma general, el proceso de transacción generado por todos los participantes registra los datos en forma precisa e inmutable dentro de este modelo, este modelo asegura que los datos son precisos y estén validados para cada bloque de transacción. También, los datos se pueden utilizar otros participantes validados previamente y son actores independientes. Las transacciones son registradas y confirmadas en forma adecuada durante el proceso de distribución de medicamentos que salen desde el productor hasta llegar al cliente final (Fernando1 et al., 2020).

Los investigadores propusieron un mecanismo que utiliza Contratos Inteligentes para mantener en forma segura las claves criptográficas que pertenecen a cada participante. Aquí, se utiliza la cadena de bloques Ethereum que presenta una solución para almacenar y consultar datos farmacogenómicos mediante un Contrato Inteligente (Dwivedi et al., 2020). Este es un método alternativo con tiempos de consulta que rápidos y mejor escalabilidad (Gürsoy et al., 2020).

Jamil, describe una plataforma para la gestión de la cadena de frío basada en tecnología de transacciones distribuidas Hyperledger Framework, que mejora las transacciones para gestión de datos, y esto es útil como base para la solución. Esta red mantiene permisos para que las empresas sean confiables, comunicarse entre sí y realizar el seguimiento de productos a través de una infraestructura escalable y económica (Jamil et al., 2019).

Se diseñó un sistema único de gestión para la cadena de suministro de medicamentos basado en tecnología Blockchain Hyperledger Fabric, este sistema gestiona los datos en forma segura dentro de la cadena de suministro de medicamentos; el entorno de atención médica está construido para ser eficiente a través de la realización de transacciones de medicamentos que se almacenan en una cadena de bloques de transacciones, esta plataforma sugerida encuentra la solución al problema de información segura. La plataforma tiene un Contrato Inteligente para brindar acceso a registros médicos electrónicos, acceso a los pacientes y acceso a registros farmacéuticos durante un lapsos de tiempos (Pham et al., 2019).

Las redes Blockchain Ethereum son la base para una solución, que mantiene seguridad a prueba de alteraciones o manipulaciones, y un rastreo confiable de los medicamentos genuinos. Además, los investigadores mejoran el enfoque de las características de productos basado en Contratos Inteligentes de plataforma Ethereum. Además, los investigadores entregan otro enfoque en la generación de la prueba de propiedad, esta investigación previene la falsificación de los medicamentos en la cadena de suministro (Hulea et al., 2019).

Se presenta una arquitectura para control de los accesos y seguridad basada en Contratos Inteligentes, el modelo evita la modificación o divulgación de información sobre prescripciones médicas en los nodos de Blockchain; se utilizó Hyperledger Fabric para desarrollar el protocolo propuesto, también, el mecanismo de consenso se mejora en la acumulación de puntos (Zhu et al., 2020).

3. METODOLOGÍA

Para analizar las referencias científicas y conocer arquitecturas de Blockchain sobre trazabilidad y distribución de medicinas, se utiliza la revisión de literatura de (Budree, 2020). Se basa en cuatro fases: Definir la búsqueda, seleccionar artículos, evaluar los artículos y extraer información ver figura 1.

Preguntas de investigación:

¿Qué tipo de plataforma se utiliza en distribución de medicina? (ejemplo Ethereum o Hyperledger u otro)

¿Cuáles son los componentes de Blockchain en distribución de medicina? (ejemplo Smart contract, consenso, ledger u otros)

¿Cuáles son los actores principales en la distribución de medicina? (ejemplo Fabrica, Comprador, Vendedor, Paciente, otros)

¿Se utilizan otras tecnologías adicionales en la distribución de medicina?

¿Qué datos se consideran en la distribución de medicina?

Para diseñar una arquitectura de información y lograr aumentar la confiabilidad, integridad y disponibilidad de las transacciones en la entrega de medicina en el MSP, se adopta de los artículos científicos seleccionados de la revisión de literatura, los componentes de Blockchain como tipo de red (pública, privada o mixta), tipo de plataforma (Ethereum o Hyperledger u otro), funciones del smart contract, mecanismo de consenso, definición del ledger (datos de almacenamiento), se deben definir actores, definir los niveles o capas de la arquitectura.

Para evaluar la arquitectura y mejorar su posible factibilidad se realiza una encuesta a profesionales en Ingeniería de Sistemas, al menos 10 preguntas para al menos 30 ingenieros. Las preguntas están basadas en los componentes de la arquitectura. Se evalúan las preguntas y se aplican las recomendaciones de los ingenieros para mejorar la arquitectura encaminada a su futura implementación.



Figura 1. Proceso de revisión de literatura.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de referencias científicas para identificar y categorizar arquitecturas de Blockchain sobre trazabilidad y distribución de medicinas

Se utilizó la revisión de literatura de (Budree, 2020), estructurada en cuatro pasos: Definir la búsqueda, seleccionar artículos, evaluar los artículos y extraer información. El primer paso, se definió la búsqueda, con las palabras claves “Blockchain”, “Medicine”; se buscaron artículos científicos en la biblioteca IEEE Xplore. El segundo paso, en la selección de artículos, se obtuvieron 79 artículos en forma inicial. Se aplicaron los criterios de inclusión que son: artículos desde el año 2021, artículos en idioma inglés. Se aplicaron los criterios de exclusión que son: artículos resumen, libros, memorias, artículos menores al 2020, artículos diferentes al idioma inglés. El tercer paso, quedaron 25 artículos para la evaluación de cada uno, se realizó la lectura completa de cada uno; se descartaron 6 artículos por no apearse a los objetivos de esta investigación. Finalmente, quedaron 19 artículos para la extracción de datos. El cuarto paso, se extrajo de cada artículo los datos de acuerdo con las preguntas de investigación, los datos se asentaron en una hoja de cálculo para generar gráficos de estadísticas. Los datos extraídos son los siguientes. Plataformas: Ethereum, Hyperledger, No específica. Componentes de Blockchain: Smart Contract, Consenso, Ledger, Certificado de identidad. Actores en la cadena de suministro: Fábrica, Distribuidor, Hospital, Farmacia, Paciente. Otras tecnologías adicionales: Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial. Otros datos en la cadena de suministro: Temperatura, Humedad, Fabricante, Componentes, QR, RFID, Solo transporte. La tabla 1 presenta los artículos que fueron finalmente seleccionados en la revisión de literatura.

Tabla 1. Artículos filtrados

País	Artículo	Cantidad
Bangladesh	(Alam et al., 2021)	1
Canadá	(Alhoshan et al., 2023)	1
China	(Xu et al., 2023), (Long et al., 2022), (Liu et al., 2021)	3
Emiratos Árabes	(Hashim & Harous, 2021)	1
India	(Mamoon & Shah, 2023), (Dasgupta & Mukherjee, 2022), (Saibhavana et al., 2023), (Nawale & Konapure, 2021), (Subramanian & SreekantanThampy, 2021), (Shah et al., 2023),	6
Indonesia	(Meyliana et al., 2021)	1
Korea	(Kumiawan et al., 2021)	1
Pakistan	(Ahmed et al., 2021)	1
IEEE	(Noman et al., 2021), (Yao et al., 2023), (Abisha et al., 2023), (Rao et al., 2023)	4
	Total	19

Fuente: Autor.

Los 19 artículos obtenidos en la revisión de literatura responden las preguntas de investigación para conocer sobre la tecnología Blockchain y Cadena de distribución de medicinas.

¿Qué tipo de plataforma se utiliza en distribución de medicina?

De acuerdo con los 19 artículos analizados, 47% presentan trabajos sobre Ethereum, 32% presentan trabajos sobre Hyperledger, y 21% de los trabajos no especificaron la plataforma solo se presentaron como modelos en Blockchain. Aquí, los 9 artículos sobre Ethereum es un tipo de Blockchain público, es decir toda persona puede entrar y actualizar la información de la red. Los 6 artículos sobre Hyperledger es un tipo privado, es decir solo los participantes pueden entrar y actualizar la información, la entrada es con credenciales de identidad ver figura 2.

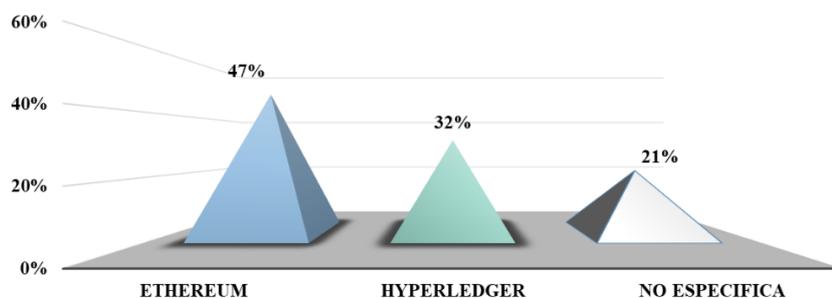


Figura 2. Plataformas.

¿Cuáles son los componentes de Blockchain en distribución de medicina?

De acuerdo con los 19 artículos analizados los modelos revisados: 42% (15 artículos) presenta Smart Contract, 17% (6 artículos) presenta Consenso, 19% (7 artículos) presenta Ledger, y 22% (8 artículos) presenta Certificado de identidad. En 15 artículos, es decir, la mayoría de los modelos diseña o implementa las reglas del negocio en la distribución de medicinas sobre el Smart Contract, como el registro de la fábrica, registro de la medicina, venta de la medicina, registro de componentes de la medicina. El Certificado de Identidad también llamado Certificado de Autenticación, es presentado en 8 artículos, presentan interfaces de validación de participantes, o validación de los dispositivos IoT como teléfonos inteligentes o sensores. Los consensos nombrados o utilizados en 6 artículos son algoritmos de acuerdo equitativo entre todos los participantes de la red sobre el estado actual del repositorio (ledger), estos algoritmos alcanzan la confiabilidad en la red Blockchain que es distribuido y establece la confianza entre los participantes que son desconocidos. El ledger que es nombrado o utilizado en 7 artículos,

es el repositorio que cada nodo participante mantiene como un libro de transacciones, esto garantiza el verdadero estado del repositorio contra falsificaciones ver figura 3.

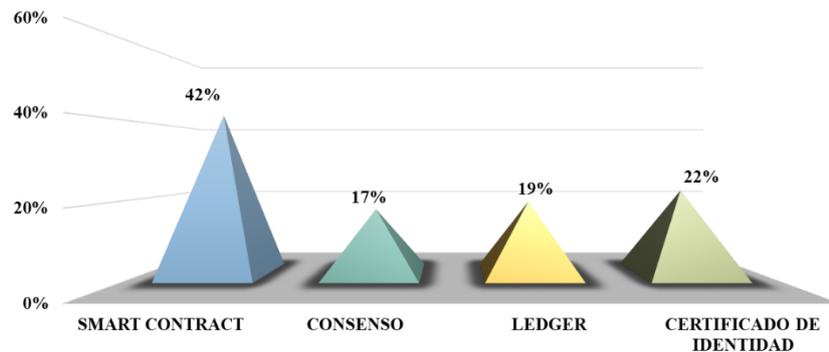


Figura 3. Componentes de Blockchain.

¿Cuáles son los actores principales en la distribución de medicina?

De acuerdo con los 19 artículos analizados, existen hasta cinco participantes en una cadena de distribución de medicamentos, son: 21% (14 artículos) nombra la Fábrica, 21% (14 artículos) nombra al Distribuidor, 13% (9 artículos) nombra al Hospital, 21% (14 artículos) nombra la Farmacia, y 24% (16 artículos) nombra al Paciente. Es decir, en 14 artículos analizados los participantes como la fábrica, el distribuidor, la farmacia y los pacientes son los actores básicos en una cadena de distribución. El hospital es solo nombrado en 9 artículos. Los datos generales que las fábricas guardan son: marca de la medicina, nombre de la empresa, serie del medicamento, fecha de registro, fecha de vencimiento, nombre la producción, número de lote, composición del medicamento ver figura 4.

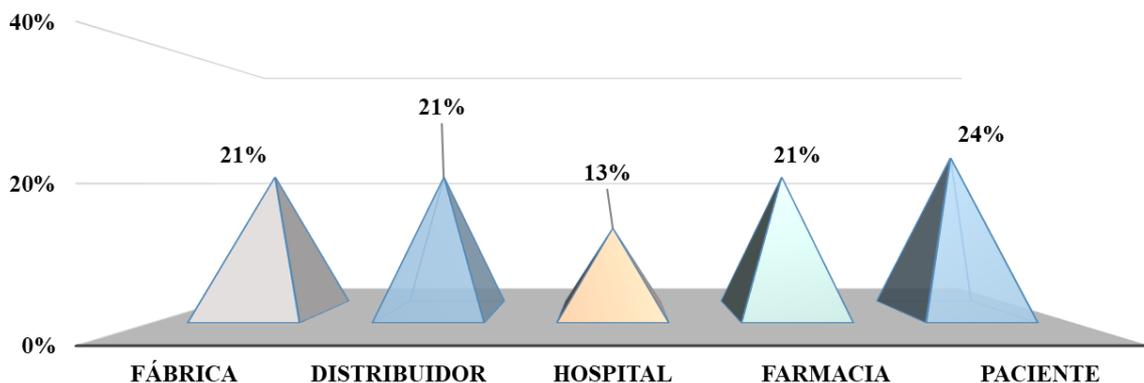


Figura 4. Actores en la cadena de distribución.

¿Se utilizan otras tecnologías adicionales en la distribución de medicina?

Blockchain se utiliza en los 19 artículos analizados, además, entre estos el 90% (9 artículos) utilizan Internet de las Cosas (IoT) y 10% (1 artículo) utilizan Inteligencia Artificial, como tecnologías adicionales. Son 9 artículos: (Mamoon & Shah, 2023), (Xu et al., 2023), (Dasgupta & Mukherjee, 2022), (Noman et al., 2021), (Alam et al., 2021), (Saibhavana et al., 2023), (Nawale & Konapure, 2021), (Subramanian & SreekantanThampy, 2021), (Rao et al., 2023), que utilizan Blockchain con IoT a través de dispositivos como sensores de temperatura, sensores de humedad, radio frecuencia, dispositivos de lectura para código QR.

Solo un artículo (Shah et al., 2023) utiliza Blockchain con Inteligencia Artificial a través de algoritmos de Machine Learning como: Random Forest, Logistic Regression, SVM y KNN; aquí KNN los datos se clasifican en forma rápida y precisa. Logistic Regression clasifica los datos mediante conjuntos de datos continuos y discretos. Random Forest utiliza varios árboles de decisión e incrementa la precisión ver figura 5.

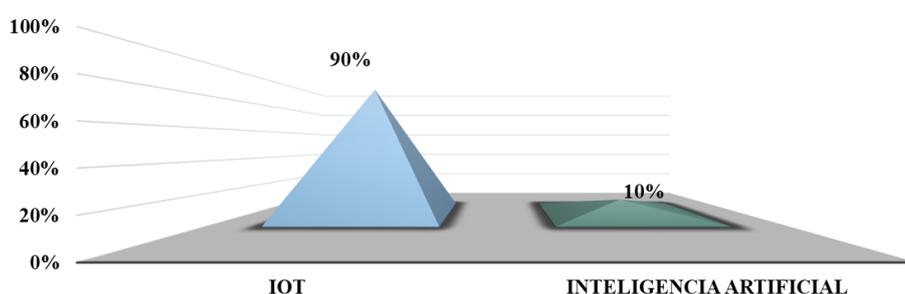


Figura 5. Tecnologías adicionales.

¿Qué datos se consideran en la distribución de medicina?

Entre los 19 artículos analizados, 9% (3 artículos) guarda la Temperatura, 3% (1 artículo) guarda la Humedad, 32% (12 artículos) guarda los datos del Fabricante, 5% (2 artículos) guarda datos sobre los Componentes de las medicinas, 16% (6 artículos) guarda datos obtenidos del código QR, 3% (1 artículo) guarda datos obtenidos desde las etiquetas RFID, y 32% (12 artículos) se interesan solo en el transporte de las medicinas.

Solo tres modelos (Mamoon & Shah, 2023), (Dasgupta & Mukherjee, 2022), (Nawale & Konapure, 2021) utilizan sensor de temperatura durante la distribución de medicamentos. El modelo de (Dasgupta & Mukherjee, 2022) utiliza sensor de temperatura y sensor de humedad

en el seguimiento de las medicinas. Además, 12 artículos almacenan los datos del fabricante en la red Blockchain. Sólo dos artículos (Meyliana et al., 2021) y (Liu et al., 2021) guardan los componentes de las medicinas como el nombre, cantidad, unidades y proveedor del componente. Los códigos QR y las etiquetas RFID son considerados dentro de la tecnología IoT porque se utilizan dispositivos de lectura que envían a la nube los datos leídos. Solo un artículo (Ahmed et al., 2021) utiliza las etiquetas RFID permiten una conexión y acelerar la lectura y validación sobre el origen de la medicina, es posible optimizar la gobernanza de esta clase de productos durante la cadena de suministro ver figura 6.

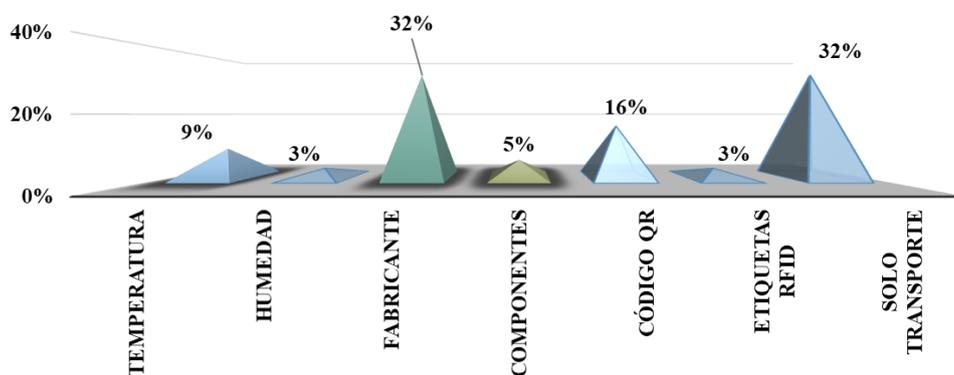


Figura 6. Otros datos en la distribución.

4.2. Diseño de una arquitectura de información para delimitar la C.I.D. de las transacciones en la entrega de medicina en el MSP basado en Blockchain

La arquitectura se denomina “**MedichainUPS**” por seguimiento de Medicina en Blockchain de la UPS-Sede Guayaquil.

Para integrar la tecnología Blockchain dentro de una cadena de suministro de las medicinas, se inicia con la autenticación que es principalmente utilizado como mecanismo de identidad; el certificado de autenticación por cada participante de la red que son: el fabricante, los distribuidores, el MSP, los centros de salud y los pacientes. Figura 7.

De acuerdo a (Noman et al., 2021) en el área médica, una Blockchain autorizada o privada es la mejor opción. Aunque, para el modelo propuesto en esta investigación, se utiliza el permiso Blockchain Ethereum para que los pacientes o clientes puedan consultar la trazabilidad de las medicinas, sin tener que registrarse o pedir acceso. Los medicamentos son gestionados como productos; se adiciona un código QR para identificación del medicamento.

A continuación, se describen los participantes de la red **MedichainUPS**:

Fabricante. Es el participante que produce la medicina, éste marca la medicina con las características como: identificación de la medicina, marca de la medicina, nombre de la empresa, serie del medicamento, fecha de registro, fecha de vencimiento, nombre la producción, número de lote, composición del medicamento, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad mínima, humedad máxima. Entre los participantes pueden existir la fábrica de producción, especialista, productor, envasador, entre otros. Estos participantes deben tener su certificado de autenticación ante la red MedichainUPS para que las características de la medicina se adicionen a la red. También, deben adicionar la temperatura y humedad del espacio en que está almacenada la medicina.

Distribuidor. Puede verificar el origen de la medicina mediante el código QR, puede ser cualquier empresa o persona que debe tener su certificado de autenticación ante la red MedichainUPS. El distribuidor adiciona la temperatura y humedad en que es transportada la medicina. Además, en coordinación con el MSP, debe entregar en forma directa las medicinas a los centros de salud.

Ministerio de Salud Pública. Es la entidad rectora que se encarga la gestión de compra, almacenamiento, coordinación de distribución y entrega de las medicinas hacia los centros de salud. El SMP puede consultar toda la trazabilidad de las medicinas. Y puede adicionar los centros de salud.

Centro de Salud. En Ecuador la salud pública tiene tres tipos de centros de salud. El tipo A son los centros que ofrecen atención básica y principal. El tipo B son los centros que ofrecen servicios de recuperación, prevención, promoción, entre otros. El tipo C son los hospitales primarios que mantienen atención permanente. El centro de salud puede verificar el origen de la medicina mediante el código QR, además debe tener su certificado de autenticación ante la red MedichainUPS. Luego de recibir y almacenar las medicinas, el centro de salud adiciona la temperatura y humedad del lugar en que es puesta la medicina.

Cliente. Es cualquier paciente o doctor o enfermera o usuario que recibe la medicina, y puede verificar el origen y camino que recorrió la medicina. No es necesario que el cliente se registre en la red MedichainUPS, porque solo puede consultar el seguimiento de la medicina por medio del código QR.

A continuación, se describen los componentes de la red **MedichainUPS**:

Smart Contract: Es un acuerdo electrónico o condiciones predefinidas que están almacenadas en la cadena de transacciones inmutable; además, define las actividades lógicas y mínimas para la carga de datos y posibles acciones monetarias (Saibhavana et al., 2023). La red **MedichainUPS** tiene en el Smart Contract las siguientes funciones: Registro de la fábrica, Registro de la medicina, Registro de componentes de la medicina, Registro del distribuidor, Registro del ministerio, Registro del centro de salud, Buscar historia de medicina, Tiempo desde de la fase anterior.

Consenso: Se recomienda utilizar Prueba de Trabajo (POW) que un método diseñado para combatir los ataques digitales e interrupciones diseñados para extinguir los recursos de los entornos informáticos a través de actividades fraudulentas.

Código QR: Es una buena técnica para verificar medicamentos, y está comprobado contra manipulaciones; estos códigos almacenan datos en gran escala. Pueden contener datos sencillos, datos complejos o instrucciones especiales de los medicamentos. Pueden existir diferentes fabricantes para cada medicina. Para lidiar contra la falsificación de medicamentos, los hospitales pueden entregar al paciente los detalles originales del fabricante y datos de la descripción del medicamento. Los datos de la medicina son esenciales para los pacientes. Entonces, se propone incluir una función de código QR para validar la autenticidad de medicamento que reciben los participantes en cada fase, esto combate los medicamentos falsificados y el seguimiento de la trazabilidad. El código QR presenta los datos desde el fabricante, distribuidor, centro de salud y temperatura/humedad que fue almacenada por cada participante.

Ledger: Se le conoce como un libro de registro; almacena cada transacción generada por los participantes en orden secuencial. Este repositorio es compartido por los participantes de la red. Este ledger es una plataforma confiable, absoluta y segura para que los participantes intercambien los datos, colaboren y generen transacciones. Este ledger utiliza clave criptográfica, es una red peer-to-peer, hace su propiedad como consenso, inmutable, y firma digital (Nawale & Konapure, 2021). Las entidades que puede tener el ledger son: Medicamentos, Fabricantes, Distribuidores, Centros de salud, Ministerios, Entrega de medicinas. No es necesario almacenar los clientes o pacientes porque entran con acceso de solo consulta del medicamento ver figura 7.

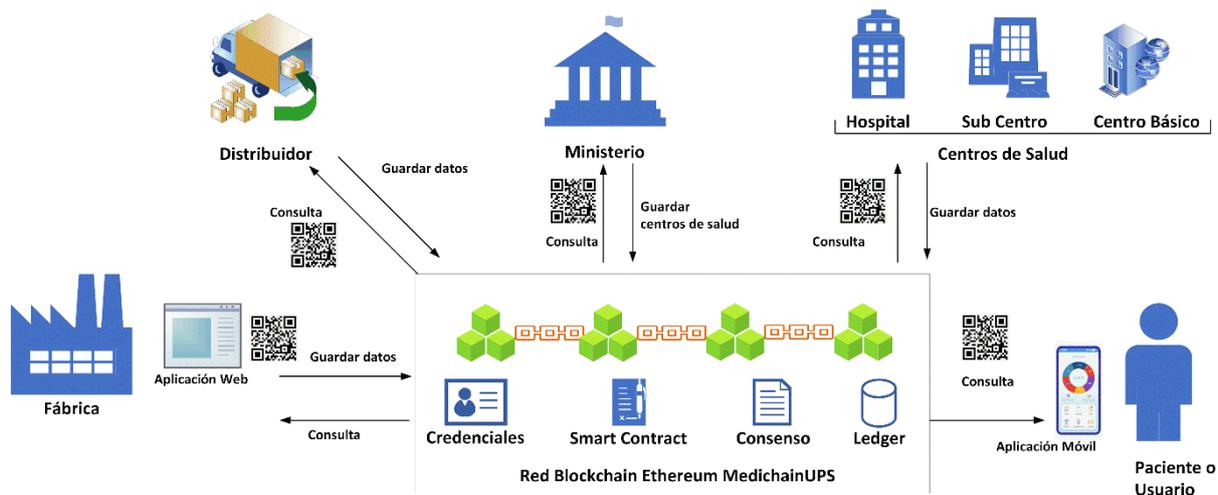


Figura 7. Arquitectura MedichainUPS.

El diagrama de flujo sobre los medicamentos para verificación de la originalidad y condiciones de distribución como temperatura y humedad. Después de la fabricación del medicamento y un código QR, la aplicación informática contiene la lista de medicamentos. Las medicinas, los fabricantes, distribuidores, MPS, centros de salud y el paciente pueden utilizar la aplicación informática en cualquier momento. Primero, el fabricante adiciona los datos de la medicina en la red MedichainUPS. Luego, el distribuidor utiliza la aplicación informática del teléfono inteligente para confirmar la coincidencia del código QR. Si se confirma el código QR, entonces la red MedichainUPS indica la validación para el Distribuidor que utiliza la aplicación. Si es una medicina falsa o con valores de temperatura/humedad fuera del rango, entonces se debe verificar si el medicamento es auténtico o falso; debe asegurarse que la cadena de bloques de transacciones se actualice. El MSP puede verificar la trazabilidad de la medicina durante la cadena de distribución, y verificar las condiciones de temperatura/humedad. El distribuidor y el centro de salud utilizan la aplicación informática del teléfono inteligente para confirmar la coincidencia del código QR; y adicionar las condiciones de temperatura/humedad que se almacena la medicina. El cliente solo puede consultar la medicina y sus condiciones de temperatura/humedad. Se determina, si el medicamento es legítimo al escanear el código QR con una aplicación informática del teléfono inteligente, además se verifica los valores de temperatura/humedad ver figura 8.

A continuación, se presentan los pasos y el diagrama:

Paso 1: El fabricante marca cada medicina con un código QR único. Los datos se almacenan en Blockchain.

Paso 2: El distribuidor verifica el origen y condiciones de los medicamentos. La transacción se adiciona a Blockchain.

Paso 3: El MSP verifica el origen y condiciones de los medicamentos.

Paso 4: El centro de salud verifica el origen y condiciones de los medicamentos. La transacción se adiciona a Blockchain.

Paso 5: El cliente o paciente verifica el origen de los medicamentos.

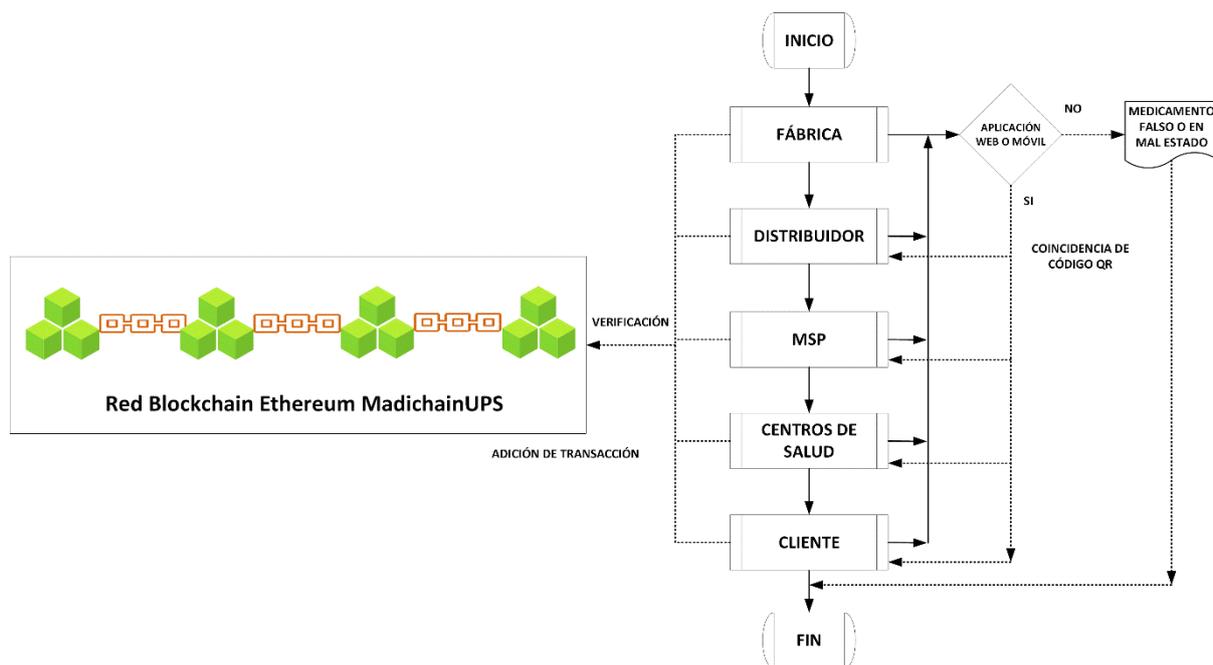


Figura 8. Diagrama de flujo MedichainUPS.

4.3. Evaluar el diseño propuesto para definir su viabilidad mediante una encuesta a profesionales y una tabla de factibilidad.

Se realizó una encuesta a 35 ingenieros de sistemas que respondieron durante una semana. Las respuestas son entre Completamente de acuerdo y Completamente en desacuerdo. Se presenta el análisis de la encuesta.

1.- La plataforma pública Ethereum es adecuada para la trazabilidad de medicinas

El 89% (31 personas) están completamente de acuerdo y 11% (4 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo con utilizar Blockchain Ethereum en esta arquitectura.

Aunque un ingeniero expreso que utiliza Blockchain Hyperledger es buena opción en área de salud, pero por los clientes que no necesitan autenticación, si se justifica Ethereum.

2.- Los participantes nombrados Fábrica, Distribuidor, Ministerio, Centros de Salud y Clientes son adecuados

El 80% (28 personas) están completamente de acuerdo y 20% (7 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo con los participantes, aunque un ingeniero expreso que se puede adicionar las farmacias.

3.- Las acciones de los participantes son adecuados

El 80% (28 personas) están completamente de acuerdo y 20% (7 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo con las consultas y guardado de datos que tienen asignados los participantes, aunque un ingeniero expreso que se el cliente debería ingresar algún comentario.

4.- Los componentes como Credenciales, Smart Contract, Consenso y Ledger son adecuados

El 80% (28 personas) están completamente de acuerdo, 17% (6 personas) están de acuerdo, y 3% (1 persona) está ni de acuerdo ni en desacuerdo. El 97% está de acuerdo con los componentes, aunque un ingeniero expreso que se faltarían detalles del consenso.

5.- Las funciones del Smart Contract son adecuados

El 80% (28 personas) están completamente de acuerdo, 17% (6 personas) están de acuerdo, y 3% (1 persona) está ni de acuerdo ni en desacuerdo. El 97% está de acuerdo con las funciones, aunque un ingeniero expreso que se faltaría una calificación al fabricante del medicamento.

6.- Utilizar Código QR es adecuado

El 86% (30 personas) están completamente de acuerdo y 14% (5 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo que el QR es útil en este proceso de trazabilidad. Aunque, un ingeniero expreso que RFID también se puede utilizar.

7.- Esta red blockchain permite la trazabilidad de los medicamentos

El 80% (28 personas) están completamente de acuerdo y 20% (7 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo que la trazabilidad es posible con esta propuesta.

8.- Es suficiente con obtener los datos de temperatura y humedad de los medicamentos durante la cadena de distribución

El 74% (26 personas) están completamente de acuerdo, 23% (8 personas) están de acuerdo, y 3% (1 persona) está ni de acuerdo ni en desacuerdo. El 97% está de acuerdo obtener los datos sobre temperatura y humedad, aunque un ingeniero expresó que se puede adicionar el control del registro sanitario y fecha de caducidad.

9.- Es posible conocer los datos de temperatura y humedad de los medicamentos durante la cadena de distribución

El 86% (30 personas) están completamente de acuerdo y 14% (5 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo que no existen problemas para captar o leer la temperatura y humedad. Aunque, un ingeniero expresó que se debe realizar seguimiento de más datos.

10.- Es posible utilizar esta arquitectura con otros productos en una cadena de distribución

El 83% (29 personas) están completamente de acuerdo y 17% (6 personas) están de acuerdo. En general todos están de acuerdo que este modelo se puede utilizar con productos como frutas, alimentos empacados para refrigeración, lácteos, verduras, entre otros.

Para obtener la tabla de factibilidad, se utiliza la misma matriz de hoja electrónica que fue llenada con los datos del análisis en la fase de revisión de literatura. Esta tabla contiene los 19 artículos científicos analizados; en cada columna (factor) que el modelo presentado en el artículo si cumple entonces se asigna el valor 1. La penúltima columna es la “Suma de Artículo” que es la suma horizontal (fila) de los valores del artículo. Por ejemplo, el primer artículo tiene 8 puntos. El segundo artículo tiene 12 puntos. Para determinar la Factibilidad, se aplicó el promedio de la columna “Suma de Artículo”, este promedio es 8.90 puntos. Si “Suma de Artículo” es mayor al promedio 8.90 entonces el artículo se considera factible para su futura implementación. Entre los 19 artículos, existen 13 que tienen puntaje mayor al promedio, entonces se consideran factibles. Es decir, el 68% de los modelos presentados cumplen la factibilidad teórica de su implementación ver figura 9.

Por otra parte, el artículo número 20 es la arquitectura propuesta “Red Blockchain Ethereum MedichainUPS” que cumple con los factores: Ethereum, Smart Contract, Consenso, Ledger, Certificado de identidad, Fábrica, Distribuidor, Hospital, Paciente, Temperatura, Humedad y

Código QR. Es decir, tiene 12 puntos en “Suma de Artículo”, y tiene la característica de la factibilidad teórica de implementación.

Artículos			Plataformas				Componentes de Blockchain			Actores				Otras tecnologías		Datos durante la cadena de distribución						Suma de Artículo	Factibilidad					
Item	Año	Título del artículo	Referencias	Ethereum	Hyperledger	No específica	Smart Contract	Consenso	Ledger	Certificado de identidad	Fabrica	Distribuidor	Hospital	Farmacia	Paciente	IoT	Inteligencia Artificial	Temperatura	Humedad	Fabricante	Componentes			Código QR	Etiquetas RFID	Solo transporte		
1	2023	A Pharmaceutical Supply Chain Management using Blockchain and IoT	25	1			1	1			1	1				1		1							1	8	SI	
2	2023	A Survey on Application of Blockchain Technology in Drug Supply Chain	64		1		1	1	1	1	1	1			1	1				1						1	12	SI
3	2022	An Approach for Transparent Logistic Solution for Life Saving Medicines	10	1			1									1		1	1							1	5	SI
4	2021	An Intelligent Application for Preventing the Counterfeit Medicines Through	28	1							1	1				1				1		1				1	9	SI
5	2021	Blockchain based counterfeit medicine authentication system	21	1			1				1	1				1				1		1				1	10	SI
6	2023	Blockchain Based Medical Records System and QR Based Medicine Verification	15	1			1	1		1			1	1	1	1						1		1		1	11	SI
7	2021	Blockchain Based RFID Prototype For Medicine Traceability along the Supply	22	1			1			1	1	1				1				1				1	1	1	9	SI
8	2021	Blockchain IoT based drugs traceability for pharma industry	18			1					1	1	1	1	1	1			1				1			1	9	SI
9	2023	Blockchain-based Electronic Medical Record Security Sharing Scheme	10	1			1													1						1	6	SI
10	2022	Blockchain-Based Trace the Source System for Chinese Medicinal Materials	8			1						1		1	1											1	6	SI
11	2023	Blockchain-Enabled Pharmacy Supply Chain Management: Ensuring Transparency	20	1			1			1		1		1	1					1						1	8	SI
12	2021	Crypto Pharmacy – Digital Medicine: A Mobile Application Integrated With	30		1		1			1	1	1	1	1	1	1						1				1	10	SI
13	2023	Enhancing Parcel Tracking with Blockchain: A Secure and Efficient Solution	10	1				1			1	1	1	1	1					1						1	10	SI
14	2021	Medicine Information Record Based on Blockchain Technology	16	1			1			1											1						5	SI
15	2021	Precision medicine blockchain	35			1	1	1	1	1	1									1						1	9	SI
16	2023	Supply Chain for Safe & Timely Distribution of Medicines using Blockchain	15			1					1	1	1	1	1		1			1						1	9	SI
17	2021	Traceability System for Rare Chinese Herbal Medicines Based on Blockchain	11		1		1		1		1	1	1	1	1						1					1	9	SI
18	2023	Using Blockchain Technology to Improve Drug Traceability in the Health Sector	25		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							1			1	12	SI
19	2021	Utilization of the blockchain network in the public community health center	9		1		1	1	1	1	1	1	1	1	1					1						1	12	SI
		Sumatoria		9	6	4	15	6	7	8	14	14	9	14	16	9	1	3	1	12	2	6	1	12	8.9			
				47%	32%	21%	42%	17%	19%	22%	21%	21%	13%	21%	24%	90%	10%	9%	3%	32%	5%	16%	3%	32%				
20	2024	Red Blockchain Ethereum MedichainUPS		1			1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1			1			1	12	SI	

Figura 9. Tabla de factibilidad.

5. DISCUSIÓN

El uso de la tecnología Blockchain para entornos automatizados brinda el beneficio de seguridad como el “protocolo de conocimiento cero”, que certifica las determinadas declaraciones en el Smart Contract sean verdaderas. La cadena de transacciones Ethereum utiliza “prueba de conocimiento cero”, que optimiza la privacidad y el mantenimiento de datos seguros. Existen en el mercado diferentes propuestas en Blockchain para la distribución de medicina; desde las universidades e investigadores son: Drug Recall Chain, Pharmacosurveillance Blockchain System, PharmaCrypto, BRUINchain, Smart Hospital Supply Chain, Vaccine production chain. Propuestas desde la industria: MediLedger, FarmaTrust, Modum, Waltonchain. Aunque, no existe una solución unificada y estándar en la integración de estas soluciones de trazabilidad de medicamentos, esto genera problemas en la gestión; y pueden formar repositorios de datos complejos en la interacción.

La característica de Blockchain como datos permanentes e inmutables, minimiza a cero la falsificación o manipulación de datos; aunque pueden ser costosas al momento de expandir el negocio o actualizar los sistemas. Otra característica fuerte, es el Contratos Inteligentes porque no permite cambios durante la implementación en la cadena.

Este modelo propuesto puede satisfacer la demanda pública de privacidad, transparencia y visibilidad en la cadena de suministro de medicamentos. Aunque, existen datos confidenciales que las compañías fabricantes de medicamentos no desean exponer a los clientes ni a la competencia. Por otra parte, la transparencia puede optimizar la eficiencia y mejorar la confianza dentro de una empresa. Se garantiza el nivel de autenticidad de los datos desde la entrada en la cadena de suministro, si bien se garantiza la inalterabilidad de los datos, también puede ser cierto que los datos desde un participante- nodo aún se cargan manualmente. Aun, existe la posibilidad de falsificación en esta última milla.

De acuerdo con la literatura, la tecnología Blockchain se mantiene en continuo desarrollo, la academia está mejorando activamente la arquitectura para hacerla una tecnología más perfecta. Además, faltan de leyes y regulaciones sobre las tecnologías emergentes, como generación de nuevas transacciones en la red, definición de jurisdicción, compromisos legales entre los interesados, actualizar leyes sobre los medicamentos, y los reguladores del estado se convierte más complejo al utilizar Blockchain en la trazabilidad de los medicamentos.

Este trabajo se enfocó en el diseño de la red blockchain, no se contempla tiempos de posible implementación, ni recursos humanos para el desarrollo, ni costos monetarios en plataformas, ni otros recursos, esto puede ser trabajo de un nuevo Artículo de factibilidad económica para determinar si es viable su implementación.

Una posible capacitación a los participantes de la red como: fabricante, distribuidor, personal técnico en el Ministerio de Salud Pública, personal del centro de salud y paciente, doctor o enfermera; generaría una socialización sobre el cuidado y conservación de las medicinas. Sería necesario una sanción sobre los participantes, en caso de pérdida o caducidad de las medicinas; además la actualización de la ley para seguimiento de las medicinas que cubra desde la compra hasta el consumo de los pacientes.

6. CONCLUSIÓN

En la revisión de literatura se obtuvo 19 artículos que responden las preguntas de investigación para conocer sobre la tecnología Blockchain como plataformas, componentes de la red Blockchain, participantes en una cadena de distribución, tecnologías adicionales que se utilizan en combinación con IoT e IA, y otros datos adicionales.

En este artículo, se sugiere utilizar la tecnología Blockchain, se propone una arquitectura llamada “Red Blockchain Ethereum MedichainUPS” basada en Ethereum, formada por participantes como la fábrica, distribuidor, ministerio, centros de salud y clientes; almacena la temperatura y humedad; puede desarrollar la trazabilidad y visibilidad durante la cadena de suministro de los medicamentos, y evitar la falsificación de los productos, además con potencial para trazabilidad de los medicamentos; se presenta una ilustración para visualizar el funcionamiento sugerido y la funcionalidad de los diferentes participantes.

Entre los 19 artículos, el 68% de los modelos presentados cumplen la factibilidad teórica de su implementación. Por otra parte, la arquitectura propuesta “Red Blockchain Ethereum MedichainUPS” que cumple con los factores: Ethereum, Smart Contract, Consenso, Ledger, Certificado de identidad, Fábrica, Distribuidor, Hospital, Paciente, Temperatura, Humedad y Código QR. Es decir, tiene 12 puntos y tiene la característica de la factibilidad teórica.

REFERENCIAS

- Abisha, D., Varshini, S., Thejaswini, A., Sineka, P., Navedha Evanjalini, R., & Ida Christy, J. (2023). Blockchain-Enabled Pharmacy Supply Chain Management: Ensuring Transparency and Efficiency. *International Conference on Sustainable Communication Networks and Application, ICSCNA 2023 - Proceedings, Icsna*, 37–42. <https://doi.org/10.1109/ICSCNA58489.2023.10370104>
- Ahmed, A., Aamir, A., Raza, T., & Khan, M. H. D. (2021). Blockchain Based RFID Prototype For Medicine Traceability along the Healthcare Supply Chain. *2021 7th International Conference on Aerospace Science and Engineering, ICASE 2021*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICASE54940.2021.9904249>
- Alam, N., Hasan Tanvir, M. R., Shanto, S. A., Israt, F., Rahman, A., & Momotaj, S. (2021). Blockchain based counterfeit medicine authentication system. *ISCAIE 2021 - IEEE 11th Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics*, 214–217. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE51753.2021.9431789>
- Alhoshan, S., Alalem, M., Jokhdar, E., Kharrat, D., Nasser, N., & Karim, L. (2023). Enhancing Parcel Tracking with Blockchain: A Secure and Efficient Solution for Large Shipments of Medicines and Drugs. *2023 5th International Conference on Blockchain Computing and Applications, BCCA 2023*, 302–306. <https://doi.org/10.1109/BCCA58897.2023.10338898>
- Alzahrani, N., & Bulusu, N. (2021). Block-Supply Chain: A New Anti-Counterfeiting Supply Chain Using NFC and Blockchain. *Proceedings of the 1st Workshop on Cryptocurrencies and Blockchains for Distributed Systems*, 30–35. <https://doi.org/10.1145/3211933.3211939>
- Budree, A. (2020). *A Review of Literature on Critical Factors That Drive the Selection of Business Intelligence Tools*.
- Dasgupta, A., & Mukherjee, S. (2022). An Approach for Transparent Logistic Solution for Life Saving Medicines and Essential Goods using IoT and Blockchain. *Proceedings of 4th International Conference on Cybernetics, Cognition and Machine Learning Applications, ICCMLA 2022*, 370–375. <https://doi.org/10.1109/ICCMLA56841.2022.9989121>
- Dwivedi, S. K., Amin, R., & Vollala, S. (2020). Blockchain based secured information sharing protocol in supply chain management system with key distribution mechanism. *Journal of Information Security and Applications*, 54, 102554. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2020.102554>
- Emmanuel, A. A., Awokola, J. A., Alam, S., Bharany, S., Agboola, P., Shuaib, M., & Ahmed, R. (2023). A Hybrid Framework of Blockchain and IoT Technology in the Pharmaceutical Industry: A Comprehensive Study. *Mobile Information Systems, 2023*, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/3265310>
- Fernando1, E., Meyliana, Warnars, H. L. H. S., & Abdurachman. (2020). BLOCKCHAIN TECHNOLOGY FOR PHARMACEUTICAL DRUG DISTRIBUTION IN INDONESIA: A PROPOSED MODEL. *ICIC International*, 14(12), 113–120. <https://doi.org/10.24507/icicel.14.02.113>
- Gürsoy, G., Brannon, C. M., & Gerstein, M. (2020). Using Ethereum blockchain to store and query pharmacogenomics data via smart contracts. *BMC Medical Genomics*, 13(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s12920-020-00732-x>
- Hashim, F., & Harous, S. (2021). Precision medicine blockchained: A review. *Proceedings of 2nd International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management, ICCAKM 2021*, 48–52. <https://doi.org/10.1109/ICCAKM50778.2021.9357760>
- Hulea, M., Rosu, O., Miron, R., & Astilean, A. (2019). Pharmaceutical cold chain management:

- Platform based on a distributed ledger. *2018 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/AQTR.2018.8402709>
- INEC. (2022). *Cifras Ecuador Atenciones hospitalarias*.
- Jamil, F., Hang, L., Kim, K., & Kim, D. (2019). A Novel Medical Blockchain Model for Drug Supply Chain Integrity Management in a Smart Hospital. *Electronics*, 8(5), 505. <https://doi.org/10.3390/electronics8050505>
- Jayaraman, R., Salah, K., & King, N. (2021). Improving Opportunities in Healthcare Supply Chain Processes via the Internet of Things and Blockchain Technology. *International Journal of Healthcare Information Systems and Informatics*, 14(2), 49–65. <https://doi.org/10.4018/IJHISI.2019040104>
- Kumiawan, H., Kim, J. Y., & Ju, H. (2021). Utilization of the blockchain network in the public community health center medicine supply chain. *APNOMS 2020 - 2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium: Towards Service and Networking Intelligence for Humanity*, 235–238. <https://doi.org/10.23919/APNOMS50412.2020.9237042>
- Liu, H., Dong, J., & Ge, S. (2021). Traceability System for Rare Chinese Herbal Medicines Based on Blockchain Structure. *Proceedings - 2021 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture, AIAM 2021*, 382–385. <https://doi.org/10.1109/AIAM54119.2021.00083>
- Long, Y., Chu, D., Wang, H., Fu, J., & Yan, H. (2022). Blockchain-Based Trace the Source System for Chinese Medicinal Materials. *Proceedings - 2022 14th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2022*, 1007–1010. <https://doi.org/10.1109/ICMTMA54903.2022.00204>
- Mamoon, M., & Shah, I. (2023). A Pharmaceutical Supply Chain Management using Blockchain and IoT. *2023 Global Conference on Information Technologies and Communications, GCITC 2023*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/GCITC60406.2023.10426356>
- Melendrez-Cacedo, G., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Secure Data Model for the Healthcare Industry in Ecuador Using Blockchain Technology. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 252, 479–489. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_43
- Meyliana, Surjandy, Fernando, E., Cassandra, C., & Marjuki. (2021). Medicine Information Record Based on Blockchain Technology. *2021 2nd International Conference on Innovative and Creative Information Technology, ICITech 2021*, 169–173. <https://doi.org/10.1109/ICITech50181.2021.9590133>
- Musamih, A., Salah, K., Jayaraman, R., Arshad, J., Debe, M., Al-Hammadi, Y., & Ellahham, S. (2021). A Blockchain-Based Approach for Drug Traceability in Healthcare Supply Chain. *IEEE Access*, 9, 9728–9743. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3049920>
- Nanda, S. K., Panda, S. K., & Dash, M. (2023). Medical supply chain integrated with blockchain and IoT to track the logistics of medical products. *Multimedia Tools and Applications*, 82(21), 32917–32939. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-14846-8>
- Nawale, S. D., & Konapure, R. R. (2021). Blockchain IoT based drugs traceability for pharma industry. *2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2021 - Proceedings*, 2–5. <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC52061.2021.9570251>
- Noman, M. A. Al, Hossain, M. J., Kalimulla, M. M., Azad, S., & Wadud, M. A. H. (2021). An Intelligent Application for Preventing the Counterfeit Medicines Through a Distributed Blockchain. *2021 3rd International Conference on Sustainable Technologies for Industry*

- 4.0, *STI 2021*, 0, 1–6. <https://doi.org/10.1109/STI53101.2021.9732594>
- Pham, H. L., Tran, T. H., & Nakashima, Y. (2019). Practical Anti-Counterfeit Medicine Management System Based on Blockchain Technology. *2019 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-ICON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TIMES-ICON47539.2019.9024674>
- Pun, H., Swaminathan, J. M., & Hou, P. (2021). Blockchain Adoption for Combating Deceptive Counterfeits. *Production and Operations Management*, 30(4), 864–882. <https://doi.org/10.1111/poms.13348>
- Rao, K. S., Vanathi, A., & Andiran, V. (2023). Using Blockchain Technology to Improve Drug Traceability in the Healthcare Supply Chain. *3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications, ICIMIA 2023 - Proceedings, Icimia*, 217–223. <https://doi.org/10.1109/ICIMIA60377.2023.10426156>
- Rathee, G., Balasaraswathi, M., Chandran, K. P., Gupta, S. D., & Boopathi, C. S. (2021). A secure IoT sensors communication in industry 4.0 using blockchain technology. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12(1), 533–545. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02017-8>
- Saibhavana, A., Archana, P. E., Poduval, V. R., Pillai, V. A., & Kumar, S. S. (2023). Blockchain Based Medical Records System and QR Based Medicine Validation. *2023 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing, PICC 2023*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/PICC57976.2023.10142324>
- Shah, Y., Verma, Y., Sharma, U., Sampat, A., & Kulkarni, V. (2023). Supply Chain for Safe & Timely Distribution of Medicines using Blockchain & Machine Learning. *Proceedings - 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2023, Icssit*, 1123–1129. <https://doi.org/10.1109/ICSSIT55814.2023.10061049>
- Shi, J., Yi, D., & Kuang, J. (2019). Pharmaceutical Supply Chain Management System with Integration of IoT and Blockchain Technology. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11911 LNCS, 97–108. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34083-4_10
- Singh, R., Dwivedi, A. D., & Srivastava, G. (2020). Internet of Things Based Blockchain for Temperature Monitoring and Counterfeit Pharmaceutical Prevention. *Sensors*, 20(14), 3951. <https://doi.org/10.3390/s20143951>
- Subramanian, G., & SreekantanThampy, A. (2021). Crypto Pharmacy – Digital Medicine: A Mobile Application Integrated With Hybrid Blockchain to Tackle the Issues in Pharma Supply Chain. *IEEE Open Journal of the Computer Society*, 2(January), 26–37. <https://doi.org/10.1109/OJCS.2021.3049330>
- Toyoda, K., Mathiopoulos, P. T., Sasase, I., & Ohtsuki, T. (2021). A Novel Blockchain-Based Product Ownership Management System (POMS) for Anti-Counterfeits in the Post Supply Chain. *IEEE Access*, 5, 17465–17477. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2720760>
- Xu, X., Tian, N., Gao, H., Lei, H., Liu, Z., & Liu, Z. (2023). A Survey on Application of Blockchain Technology in Drug Supply Chain Management. *2023 IEEE 8th International Conference on Big Data Analytics, ICBDA 2023*, 62–71. <https://doi.org/10.1109/ICBDA57405.2023.10104779>
- Yao, Y., Cen, X., Liu, Y., Yuan, J., & Ye, Y. (2023). Blockchain-based Electronic Medical Record Security Sharing Scheme. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EMBC40787.2023.10340218>
- Zerega-Prado, J., & Llerena-Izquierdo, J. (2022). Arquitectura de consolidación de la información para seguros de la salud mediante Big Data. *Memoria Investigaciones En*

Ingeniería, 0(23 SE-Artículos). <https://doi.org/10.36561/ING.23.3>

Zhu, P., Hu, J., Zhang, Y., & Li, X. (2020). A Blockchain Based Solution for Medication Anti-Counterfeiting and Traceability. *IEEE Access*, 8, 184256–184272. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3029196>