



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# APLICACIÓN DE BLOCKCHAIN EN DIFERENTES SECTORES: REVISIÓN LITERARIA

## *Application of blockchain in different sectors: Literary review*

MARIA ISABEL VALDERRAMA HOYOS<sup>1</sup>, JORGE ALEJANDRO ARAQUE CELY<sup>2</sup>

Recibido: 02 de diciembre de 2023. Aceptado: 16 de enero de 2024

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2024.v11.n21.a154>

### RESUMEN

La tecnología Blockchain se basa en una cadena de bloques descentralizada, tiene características como no ser corrompida, tecnología descentralizada, seguridad mejorada, registros distribuidos, consenso, acuerdos más rápidos, inmutabilidad, tolerancia a fallas y transparencia. Ha tenido diferentes aplicaciones y aparece como una de las tendencias tecnológicas que orienta el interés de investigación de empresas y universidades. El presente artículo indagó una colección de 63 Fuentes documentales como: Artículos, tanto de investigación como de revistas y revisión, libros, encuestas y actas de conferencias. Esto, a través de bases de datos como Mendeley, Google Académico, ACM, Scopus y Virtualpro. Los criterios de búsqueda fueron: 1) Palabra clave "Blockchain" y, 2) Artículos publicados entre los años 2019 y 2023. Donde se asigna como objetivo proporcionar una visión general de las investigaciones y publicaciones sobre el mundo del Blockchain. Tiene como resultado generar un panorama que permita determinar las brechas tanto en investigación y publicación, como en desarrollo tecnológico relacionados con esta temática, identificando los sectores con mayor y menor producción de investigaciones y publicaciones.

**Palabras clave:** Blockchain; datos; privacidad; tecnología; seguridad.

### ABSTRACT

Blockchain technology is based on a decentralized blockchain, it has features such as non-corruption, decentralized technology, enhanced security, distributed records, consensus, faster agreements, immutability, fault tolerance and transparency. It has had different applications and appears as one of the technological trends guiding the research interest of companies and universities. This article investigated a collection of 63 documentary sources such as: research, journal and review articles, books, surveys and conference proceedings. This was done through databases such as Mendeley, Google Scholar, ACM, Scopus and Virtualpro. The search criteria were: 1) Keyword «Blockchain» and, 2) Articles published between the years 2019 and 2023. Where it is assigned as an objective to provide an overview of research and publications on the Blockchain world. It has as a result to generate an overview that allows to determine the gaps both in research and publication, as well as in technological development related to this topic, identifying the sectors with the highest and lowest production of research and publications.

**Keywords:** Blockchain; data; privacy; technology; security.

## I. INTRODUCCIÓN

BLOCKCHAIN ES un libro descentralizado y distribuido conjuntamente, conformado por nodos que registran el historial de transacciones[1]. Estos nodos se conectan por enlaces llamados cadenas[2]. Se considera un tema de gran interés para la práctica y la investigación científica[3].

La historia de Blockchain comenzó por David Chaum quien fue la primera persona en presentar un protocolo parecido a Blockchain en 1982. En 1991 se describió una cadena segura de bloques criptográficamente. Ya para el 2008 fue introducido el Bitcoin con una red peer-to-peer y la cadena de bloques como un libro mayor distribuido detrás de las transacciones[4]. La primera aplicación

1 Estudiante de Ingeniería de Sistemas Semillero de investigación SENSORAMA de la Universidad Libre Seccional Bogotá, Bogotá D.C., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6169-8659> Correo electrónico: [mariai-valderramah@unilibre.edu.co](mailto:mariai-valderramah@unilibre.edu.co)

2 Estudiante de Ingeniería de Sistemas Semillero de investigación SENSORAMA de la Universidad Libre Seccional Bogotá, Bogotá D.C., Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1360-0406> Correo electrónico: [jorgea-araquec@unilibre.edu.co](mailto:jorgea-araquec@unilibre.edu.co)

de una cadena de bloques fue en 2009. Involucró a la criptomoneda Bitcoin, y desde entonces se han difundido dos tipos de cadenas de bloques, sin permiso y con permiso[5].

Esta tecnología tiene el potencial de ser pionera en la contribución a los desafíos futuros en diferentes sectores, en especial aquellos donde la confianza y la transparencia son de gran importancia[6].

Una cadena de bloques registra y valida cada 'bloque' de información en tiempo real, creando un historial de transacciones inmutable, cronológico y transparente. Los datos no se pueden censurar, eliminar ni editar y cualquiera que descargue el software puede verlos, lo que hace que todas las transacciones sean abiertas y transparentes. Las cadenas de bloques pueden almacenar y cifrar todo tipo de datos, desde criptomonedas hasta bienes muebles de alto valor, y facilitan el uso de contratos inteligentes. Si las cadenas de bloques se difunden ampliamente, podría haber implicaciones disruptivas para las empresas y el conjunto de la sociedad[7].

La tecnología Blockchain puede mejorar la trazabilidad, permitir un retiro más eficiente y ayudar a reducir el riesgo de falsificaciones y otras formas de comercio ilícito[8].

Cada bloque en una cadena de bloques contiene inicialmente tres elementos: ID del bloque, cierta información de transacción e ID del bloque anterior. Cada ID se identifica de forma única mediante un hash valor. Cada bloque incluye un conjunto de árbol de Merck en el que cada el valor hash se calcula a partir de la información de la transacción. Este esquema asegura que tanto los datos de transacción en cada bloque y los bloques vinculados en la cadena de bloques no se pueden manipular[9].

## II. METODOLOGÍA

Se basa en una revisión documental, donde al hacer una búsqueda exhaustiva fueron seleccionados 63 documentos entre: a) Artículos de investigación, b) Artículos de revista, c) Artículos de revisión, d) Libros, e) encuesta, f) acta de conferencia, entre los cuales destaca que hay mayor cantidad de artículos de investigación. La búsqueda

en las bases de datos: Mendeley, Google Scholar, ACM, Scopus y Virtualpro, se segmentó por un periodo de publicación entre el año 2019 y 2023 y por la palabra "Blockchain". Fig. 1.

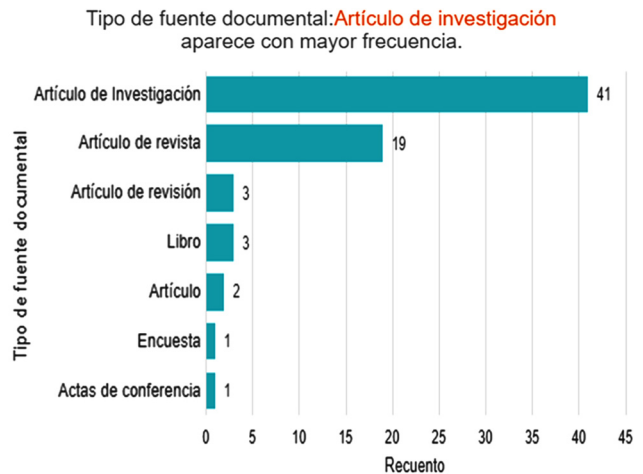


Fig. 1. Recuento por Tipo de Fuente documental.

Es importante destacar que, al segmentar la búsqueda por año, en el 2020 marcado por la pandemia del COVID-19 hubo un pico de publicaciones el cual aumentó de forma drástica en los años postpandemia. Fig. 2.



Fig. 2. Recuento por Año de publicación.

A través de la técnica de nube de palabras se puede graficar los términos que aparecen con más frecuencia y determinar las palabras claves más utilizadas. Fig. 3.



de los artículos revisados proporcionó una visión general de los conceptos clave en esta área. En conjunto, este enfoque metodológico brindó una base sólida para la redacción y el análisis crítico que se plasma en el artículo.

### A. Blockchain, IoT y Metaverso

El metaverso brinda experiencias personalizadas en mundos virtuales tridimensionales 3D a los usuarios con apoyo de muchas tecnologías, una duda que surge para muchas personas es cómo asegurar el contenido y datos digitales de los usuarios. Blockchain es una buena alternativa ya que, a través de redes de cadenas cruzadas permite que los dispositivos de IoT comuniquen datos en el metaverso y permite el almacenamiento de datos en tiempo real de forma segura en diferentes mundos virtuales[10].

Blockchain e Internet of Things (IoT) se consideran por separado tecnologías populares de gran capacidad. Blockchain es una base de datos utilizada para transacciones descentralizadas. Proporciona direcciones novedosas para almacenar y administrar datos, mientras que IoT se relaciona con la propagación de máquinas vinculadas al proporcionar información a través de Internet. Una mezcla de Blockchain e IoT parece esperanzadora, aunque blockchain requiere una aplicación de datos en tiempo real, e IoT describe procesos para almacenar y administrar sobrecargas de información de manera segura y competente[11].

En la visión de Internet de las cosas (IoT), los dispositivos convencionales se vuelven inteligentes y autónomos. Esta visión se está convirtiendo en una realidad gracias a los avances tecnológicos, pero aún existen desafíos que abordar, particularmente en el dominio de la seguridad, por ejemplo, la confiabilidad de los datos. Teniendo en cuenta la evolución prevista del IoT en los próximos años, es necesario generar confianza en esta enorme Fuente de información entrante. Blockchain se ha convertido en una tecnología clave que transformará la forma en que compartimos información. Generar confianza en entornos distribuidos sin necesidad de autoridades es un avance tecnológico que tiene el potencial de cambiar muchas industrias, entre ellas la IoT. IoT ha aprovechado tecnologías disruptivas como big data y computación en la nube para superar sus limitaciones des-

de su concepción, y creyendo que blockchain será uno de los próximos[12].

El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) promete innovar en múltiples ámbitos mediante la conectividad global, datos inteligentes, análisis predictivos y sistemas de decisión para mejorar el rendimiento. Sin embargo, las arquitecturas IIoT tradicionales son vulnerables a ataques, lo que plantea problemas de seguridad y privacidad. Por ello, se busca implementar un sistema ligero basado en la combinación de Inteligencia Artificial y cadena de bloques (AILBSM) para asegurar sistemas IIoT. Este enfoque único aborda los desafíos de seguridad y privacidad en sistemas IIoT basados en la nube o en el borde de las redes. Se combina la cadena de bloques con la red neuronal COSNN y operaciones de seguridad mejoradas, reduciendo impacto de ataques mediante análisis autenticados (AIA). Experimentos validan la propuesta, evaluando separadamente privacidad y mecanismos de IA, usando múltiples indicadores[13].

Con el avance constante de la tecnología y la creciente interconexión de dispositivos en la era de la Internet Industrial de las Cosas (IIoT), surge la necesidad imperante de abordar los desafíos inherentes a la seguridad y la privacidad de los datos generados y compartidos en este vasto ecosistema. En este contexto, en[14], se presenta un enfoque innovador que busca revolucionar la forma en que se manejan y comparten los datos en la IIoT, mediante la aplicación de la tecnología Blockchain.

El escrito[15] introduce SymbIoT, una plataforma híbrida extensible que combina simulación y emulación para investigar la convergencia de la tecnología blockchain y la contabilidad distribuida (DLT) en el contexto del Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Al fusionar elementos de software y hardware, se logra la conjunción de la flexibilidad de las soluciones basadas en software con la aplicabilidad en escenarios reales que brinda la incorporación de componentes de hardware en IoT. La destacada característica de SymbIoT reside en su capacidad de extensión, lo cual brinda flexibilidad en parámetros como algoritmos de consenso, tamaño de bloque, configuración y disposición de nodos, rendimiento limitado e implementación de casos de uso específicos. La función principal de SymbIoT es posibilitar análisis empíricos profun-



dos en la implementación de blockchain en el IIoT, poniendo énfasis en aspectos como rendimiento, escalabilidad y seguridad. Este entorno experimental se convierte en un espacio propicio para la exploración innovadora y pragmática de la interacción entre blockchain e IIoT, anticipando la gestación de futuras soluciones y aplicaciones en este campo multidisciplinario. Además, se presentan resultados preliminares de experimentación, los cuales confirman la aplicabilidad de esta plataforma en contextos que van más allá del IIoT, abarcando desde IoT hasta la nube.

Conforme avanza la convergencia entre Internet de las Cosas (IoT) y la tecnología blockchain, su influencia se expande hacia diversos ámbitos. La combinación de estas dos tecnologías tiene el potencial de fortalecer la seguridad, elevar la privacidad y optimizar procesos, generando un marcado interés académico y resultando en una vasta compilación literaria. Sin embargo, hay una carencia significativa de investigaciones que empleen la asignación latente de Dirichlet (LDA) para analizar y categorizar esta área. Este artículo se propone cubrir esta brecha mediante un análisis profundo de 4455 artículos extraídos exclusivamente de la base de datos Scopus, centrados en aplicaciones de IoT y blockchain. Al aplicar LDA, se han identificado 14 temas diversos en esta colección, ofreciendo una panorámica amplia de los temas explorados en este campo multidisciplinario. El estudio[16] resalta un aumento en la investigación relacionada con IoT y blockchain, resaltando la creciente relevancia de esta convergencia tecnológica. Temas recurrentes incluyen la integración de IoT y blockchain en la gestión de la cadena de suministro, así como en la seguridad y administración de datos médicos, señalando el potencial para transformar cadenas de suministro y salvaguardar información médica. En contraste, áreas menos exploradas abordan el control de acceso en sistemas de IoT basados en blockchain y la eficiencia energética en redes de sensores inalámbricos con blockchain e IoT. Se destaca que este documento es el primero en aplicar LDA en la investigación de IoT y blockchain, aportando perspectivas únicas a la literatura existente. Además, los descubrimientos orientan hacia futuras direcciones de investigación, estimulando un mayor estudio en aspectos menos abordados y fomentando el crecimiento continuo en este campo dinámico.

En la actualidad, la mayoría de los sistemas basados en blockchain adoptan protocolos que demandan considerables recursos para alcanzar el consenso entre los mineros. Por ejemplo, se utilizan esquemas como la Prueba de Trabajo (PoW) y el Práctico Bizantino Tolerante a Fallos (PBFT), los cuales implican un consumo elevado de recursos computacionales y de comunicación, y requieren interacciones confiables con tiempos de respuesta limitados. No obstante, estos protocolos podrían no ser la mejor elección para las redes de Internet de las Cosas (IoT), ya que los dispositivos en estos entornos suelen ser livianos, operan con Fuentes de energía limitadas como baterías y se desenvuelven en un entorno inalámbrico poco predecible. En este sentido,[17] se adentra en el análisis de un protocolo de consenso altamente eficiente diseñado específicamente para la tecnología blockchain en las redes IoT, aprovechando las capacidades del Aprendizaje por Refuerzo.

Con un enfoque específico, la investigación profundiza en el análisis de un protocolo de consenso que se basa en un esquema de Prueba de Comunicación (PoC), directamente implementado en una red inalámbrica de un solo salto y funcionando en condiciones donde las comunicaciones no son necesariamente confiables. La contribución clave de este estudio radica en la propuesta de un algoritmo distribuido de Aprendizaje por Refuerzo de Múltiples Agentes (MARL), diseñado para mejorar tanto la eficiencia como la equidad en el proceso de consenso entre los mineros en el marco de un sistema blockchain. Dentro de este algoritmo innovador, cada agente utiliza una matriz para representar la eficiencia y equidad del consenso más reciente, realizando ajustes detallados en sus acciones y recompensas mediante un enfoque basado en el marco de actor-crítico. Esto persigue lograr un rendimiento efectivo y optimizado. Los resultados empíricos derivados de una serie de simulaciones confirman que el algoritmo propuesto garantiza un nivel adecuado de equidad en el proceso de consenso y logra una eficiencia que se acerca notablemente a lo que se podría alcanzar con una solución centralizada y óptima[18].

## **B. Blockchain, Sector Financiero y Cadena de Suministro**

Aunque la aplicación de la tecnología Blockchain (BCT) se ha establecido fuertemente en el área de

las criptomonedas, investigadores y profesionales han visto el potencial de esta tecnología en la gestión de la cadena de suministro. La tecnología Blockchain es particularmente valiosa para bienes de alto valor. Además, si el volumen de comercio de los bienes respectivos es bajo, se maximizan las ventajas de BCT[19].

En este sector se busca explorar las ventajas y aplicaciones de la tecnología Blockchain en diferentes sectores en Colombia y a nivel global. Se resalta la seguridad, confiabilidad y facilidad de transacciones que ofrece Blockchain, con el propósito de mejorar la productividad y competitividad en organizaciones públicas y privadas. Se examina su uso en la financiación de la cadena de suministro, donde se propone un marco teórico y se ilustra con un estudio de caso cómo Blockchain puede aumentar eficiencia y transparencia. Además, se analiza su potencial en la industria logística, destacando aplicaciones como la trazabilidad, gestión documental y automatización de procesos. Se subrayan desafíos y oportunidades de mejora. En el contexto de la manufactura, se considera cómo Blockchain puede mejorar la gestión de datos, enfocándose en la eficiencia, transparencia y seguridad en esta industria.

### C. Blockchain en el Sector Energético

Con el continuo progreso en el desarrollo de las infraestructuras de Power Blockchain, diversas compañías a nivel nacional han implementado variadas aplicaciones de blockchain, como Contratos Inteligentes, Finanzas Inteligentes, Nube Energética, entre otras. No obstante, pese a estar en una fase de desarrollo, estas aplicaciones de cadena de bloques presentan varios desafíos, entre los que se encuentra la monitorización de datos de la cadena, una tarea siempre compleja. Para abordar esta situación, se propone un enfoque de supervisión basado en un mecanismo de retransmisión, diseñado para monitorear los datos de la cadena de manera adaptable, identificando y gestionando de manera oportuna cualquier información anómala. Este método genera datos conforme a la estructura del sistema de automatización de distribución de energía, posibilitando la detección de anomalías. Los resultados experimentales validan la eficacia del algoritmo propuesto al identificar oportunamente datos de potencia anómalos[20].

Con el crecimiento de la energía renovable y el desarrollo acelerado del mercado eléctrico, es crucial mejorar el intercambio instantáneo de información y la gestión en el despacho de energía. La tecnología blockchain surge como una solución para asegurar un intercambio confiable y rastreable de datos clave, fomentando la eficiencia en la colaboración de despacho de energía y la transparencia en su proceso. Este estudio explora la aplicabilidad de blockchain en el despacho de energía y propone un modelo que integra una jerarquía de gestión y almacenamiento basada en blockchain, respaldado por contratos inteligentes personalizados para automatizar valoraciones y evaluaciones. Además, se implementa un mecanismo de verificación para asegurar la coherencia de los datos clave relacionados con la seguridad y estabilidad de los dispositivos de control. Mediante la evaluación de dos escenarios representativos, se demuestra que el modelo de despacho de energía basado en blockchain mejora significativamente la eficiencia y transparencia operativa, al tiempo que mitiga los impactos negativos de problemas en los dispositivos de control en la red eléctrica, contribuyendo a un funcionamiento seguro y estable del sistema de energía[21].

La tecnología blockchain descentralizada ha ganado reconocimiento como un factor transformador en entornos previamente centralizados, incluido el ámbito de la energía tradicional. Paralelamente, el sector energético está viviendo una transición de sistemas de suministro centralizados a una estructura de recursos energéticos distribuidos. Este estudio tiene como objetivo explorar el impacto de la tecnología blockchain descentralizada en el cambiante sector energético, abordando tanto la investigación teórica como las aplicaciones prácticas. Después de establecer el contexto de la tecnología blockchain, el análisis se centra en la cantidad de publicaciones, categorías temáticas, áreas de investigación y colaboraciones a través de un enfoque bibliométrico y análisis visual. Además, se presentan casos de aplicación del mundo real que corresponden a los aspectos críticos de investigación identificados[22].

### D. Blockchain en el Sector de la Salud

Uno de los descubrimientos y avances creativos de mayor trascendencia en el panorama profesional actual es la tecnología blockchain. Esta innova-

ción se perfila como un agente de cambio y revolución incesantes. El concepto de cadena de bloques abarca la información y establece confianza entre individuos, sin importar la distancia que los separe. En los últimos años, el ascenso meteórico de la tecnología blockchain ha impulsado a académicos y especialistas a explorar nuevas aplicaciones en diversos campos. Por ello, el espectacular crecimiento de la tecnología blockchain ha generado una serie de oportunidades innovadoras, entre las que se destacan aquellas en el ámbito de la atención médica. Este estudio ofrece un análisis profundo de las tecnologías emergentes en el sector de la salud, basadas en blockchain, y sus aplicaciones asociadas. Al centrarse en esta indagación, se resaltan las cuestiones de investigación pendientes en este campo en expansión, brindándoles una exploración detallada. Además, se expone el potencial transformador que la tecnología blockchain posee para revolucionar la industria de la salud[23].

En[24] se destaca una revisión exhaustiva y sistemática que aborda el aprovechamiento de la tecnología blockchain en el contexto del mundo posterior a la pandemia de COVID-19. Los investigadores llevaron a cabo una búsqueda minuciosa en diversas bases de datos académicas, identificando un conjunto significativo de 36 artículos relevantes. Estos trabajos fueron sometidos a un análisis minucioso y detallado por parte de los autores, los cuales se enfocan en iluminar y comprender los intrincados vínculos entre la tecnología blockchain y la realidad emergente después de la crisis sanitaria global. A medida que las sociedades se adaptan a las transformaciones aceleradas por la pandemia, la investigación se centra en identificar las áreas clave en las que blockchain puede desempeñar un papel crucial. Para lograrlo, se exploran una serie de aspectos cruciales.

Entre los elementos examinados se encuentran los desafíos fundamentales que surgen al implementar blockchain en el panorama post-COVID. Estos desafíos pueden abordar cuestiones como la interoperabilidad con sistemas ya establecidos, la escalabilidad para manejar flujos de datos en expansión y la seguridad robusta en un entorno digital cada vez más complejo. Mediante un análisis profundo, los autores destacan estos desafíos y, de manera constructiva, plantean soluciones y recomendaciones para superarlos, por ello, la revisión también arroja luz sobre las oportu-

nidades y perspectivas que ofrece la tecnología blockchain en este nuevo contexto. Se explora su potencial para redefinir la gestión de datos en áreas como la logística, la atención médica, la cadena de suministro y más. Los autores examinan cómo blockchain puede mejorar la transparencia, la trazabilidad y la confianza en estas áreas clave de la economía y la sociedad[24].

En la actualidad, la implementación de un sistema fiable y seguro de verificación de pasaportes de vacunas o inmunidad se ha vuelto de vital importancia para numerosos países. El sistema de[25] tiene como objetivo principal permitir un control de acceso seguro y una verificación precisa de los registros de vacunación, elementos cruciales para las partes de confianza involucradas. A pesar de estos objetivos, los desafíos en torno a la escalabilidad del sistema para manejar un gran volumen de solicitudes de acceso a datos, la implementación del consentimiento del usuario para compartir información y la flexibilidad en la delegación de la autorización de acceso a partes confiables aún permanecen sin resolver por los esfuerzos previos.

En[25], se presenta una propuesta innovadora: el Sistema Universal de Verificación de Pasaportes de Vacunas (UniVAC). El enfoque busca respaldar un control de acceso descentralizado, seguro, detallado y escalable para el intercambio y verificación de datos relativos a los pasaportes de vacunas Covid-19. En el núcleo del esquema, se integró el cifrado basado en atributos de política de texto cifrado (CP-ABE) con el fin de garantizar un control de acceso minucioso y seguro. A su vez, se utilizó la tecnología de cadena de bloques para registrar las transacciones de acceso y ofrecer una indexación efectiva de los datos. Adicionalmente, se presentó un enfoque de recuperación de texto cifrado basado en la segmentación regional en la cadena de bloques, abordando la entrega segura y escalable de los pasaportes de vacunas cifrados mediante el proceso de recifrado de proxy (PRE), permitiendo la entrega segura del pasaporte cifrado bajo el código público del solicitante.

En el ámbito de la atención médica, tanto pacientes como profesionales de la salud se encuentran ante la compleja tarea de acceder, gestionar, integrar y compartir sus registros médicos de manera segura y eficaz. Los pacientes aspiran a

administrar sus historiales médicos globalmente, monitorear su historial de salud, otorgar acceso controlado a sus datos y compartirlos con profesionales médicos de manera confidencial. Proporcionar un acceso directo a la información médica de los pacientes y establecer una infraestructura sólida para compartir datos podría preparar al sistema de salud para enfrentar eficazmente amenazas a la salud pública, como el surgimiento de enfermedades letales, por ejemplo, el COVID-19[26].

En el sector de la salud, la construcción de modelos de clasificación global precisa se ha visto limitada por la escasez y diversidad de los datos médicos. Las preocupaciones sobre la privacidad y los obstáculos legales han restringido el intercambio de datos entre instituciones de atención médica. Además, los datos provenientes de una sola Fuente son insuficientes para desarrollar un modelo de diagnóstico universal. El aprendizaje federado se ha propuesto como una solución para abordar estos desafíos, permitiendo el entrenamiento de modelos distribuidos. Sin embargo, el proceso de agregación de datos médicos heterogéneos y de múltiples clases en este enfoque está en una etapa temprana[27].

### E. Blockchain en el Sector Agroalimentario

La tecnología blockchain se erige como una solución idónea para elevar la integridad de declaraciones de credibilidad en diversos contextos, tales como las afirmaciones provenientes de Fuentes sostenibles, orgánicas o con connotaciones religiosas, como kosher o halal. Al amalgamar la Fuente autorizada de dichas declaraciones en la blockchain, como el organismo de certificación o el propietario de la certificación, se logra una verificación integral que infunde confianza tanto en los actores comerciales como en los consumidores finales. El enfoque de esta investigación reside en explorar a fondo los beneficios y desafíos que conlleva la implementación de la tecnología blockchain en las cadenas de suministro de alimentos (FCSs)[16].

No obstante, la implementación de blockchain en las FCSs no está exenta de desafíos. Estos desafíos abarcan una amplia gama de áreas, que van desde consideraciones técnicas, como la escalabilidad y la interoperabilidad con sistemas

preexistentes, hasta factores organizacionales, como la adopción y el cambio de mentalidad de los actores involucrados. Además, los aspectos regulatorios también presentan retos, ya que la adopción de una nueva tecnología en una industria altamente regulada puede requerir ajustes y alineaciones con marcos legales y normativos[16].

La convergencia entre el Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura y la tecnología blockchain ha surgido como una piedra angular para la agricultura precisa. La salvaguardia de la privacidad de los datos y la seguridad de la Fuente de información destacan como desafíos clave en el IoT agrícola. Para abordar estos desafíos, se propone un marco integral que combina técnicas criptográficas, blockchain y el Sistema de Archivos Interplanetarios (IPFS). Un componente novedoso es un enfoque adaptable y detallado para controlar el acceso a los datos terminales mediante un algoritmo de cifrado basado en atributos de política de texto cifrado (CP-ABE). En resumen, esta solución simplifica la administración de claves, facilita el intercambio eficiente de datos encriptados y permite el almacenamiento de archivos voluminosos en el IoT agrícola[28].

Por medio de[29], se ofrece una perspectiva global de los desarrollos recientes en la aplicación de tecnologías digitales en el procesamiento de productos agroalimentarios. En un contexto de creciente demanda de alimentos, la industria agroalimentaria enfrenta el desafío de producir más con menos recursos y al mismo tiempo abordar cuestiones de sostenibilidad. En este escenario, las tecnologías digitales, tales como el Internet de las cosas, la inteligencia artificial, la cadena de bloques y la robótica, están revolucionando la manera en que se produce, procesa y distribuye la comida.

### F. Blockchain y la Privacidad de Datos

Los contratos inteligentes se presentan en el contexto de mostrar cómo juegan un papel importante en la implementación de reglas con respecto a la cadena de bloques de Ethereum, lo que permite al usuario regular los activos digitales[30].

Con la evolución de la tecnología de Internet, las actividades comerciales en línea de China están ganando una creciente popularidad. Nuevos



formatos y modelos, como el comercio electrónico social y la transmisión en vivo de productos, están emergiendo constantemente. Estos formatos divergen de las actividades comerciales en línea tradicionales en términos de participación, estructura comercial, proceso de transacción e incluso métodos de difusión de información. Si bien infunden dinamismo en el mercado, también generan una serie de controversias legales. Este artículo realiza un análisis conciso de la lógica y características de los mecanismos de transacción en línea y la tecnología legal de blockchain. Además, explora las disputas legales que involucran esta tecnología, abordando aspectos como la filtración de datos y la salvaguardia de los derechos del consumidor[31].

En[32], se contribuye de manera significativa a la presente investigación al introducir y analizar detalladamente una plataforma innovadora fundamentada en la tecnología blockchain, diseñada específicamente para abordar el desafío de compartir recursos de computación en el ámbito del Edge Computing. Este enfoque emerge como un hito en la evolución de la computación distribuida al proponer un sistema que reconfigura fundamentalmente la asignación de tareas y reduce drásticamente la dependencia de los tradicionales centros de datos centralizados.

Uno de los componentes cruciales de esta plataforma es la aplicación de contratos inteligentes, que automatizan y ejecutan con precisión las condiciones previamente establecidas para la asignación de tareas y la recompensa a los proveedores de recursos. Esta funcionalidad asegura una distribución equitativa y transparente de las tareas y la compensación, evitando así cualquier forma de manipulación o arbitrariedad en el proceso[32].

Respaldando lo mencionado,[33] desempeña un papel esencial en la validación y el avance de la investigación en seguridad de datos en la nube al presentar un sistema innovador y robusto basado en la tecnología blockchain. Este sistema se erige como una solución prometedora para abordar las preocupaciones fundamentales relacionadas con el almacenamiento y la compartición segura de datos en entornos de nube.

La utilización de la tecnología blockchain en este contexto se revela como un componente clave que

impulsa la confianza y la integridad en el manejo de datos en la nube. Al proporcionar un sistema de autenticación y verificación descentralizado, la blockchain establece una capa de seguridad adicional que elimina la necesidad de confiar en una entidad central y minimiza los riesgos de acceso no autorizado o manipulación de datos. Esta innovadora aplicación de la tecnología blockchain crea un entorno en el que los usuarios pueden tener plena confianza en la autenticidad y la integridad de los datos almacenados y compartidos[33].

En[34], se presenta un enfoque de colaboración pionero destinado a asegurar el intercambio de archivos en la nube mediante una combinación de blockchain y un cifrado basado en atributos (ABE). La utilización de blockchain permite la implementación de un control de acceso inteligente, actuando como un contrato entre los dueños de datos y los usuarios. Dentro de este marco, cada poseedor de datos establece su propio contrato inteligente, donde los usuarios pueden solicitar acceso a archivos específicos mediante transacciones registradas. A cambio, el propietario concede al usuario una credencial que capacita al desciframiento del archivo correspondiente en el almacenamiento en la nube. Diseñada con una arquitectura descentralizada y resistente a fallos, esta propuesta también se blindada contra ataques de denegación de servicio (DoS). El componente clave del cifrado, necesario para la protección de archivos, se fusiona en una serie de coeficientes dentro de un polinomio conocido como «polinomio de acceso», el cual se adhiere al archivo cifrado como metadato en el almacenamiento en la nube. Al combinar esta información con la credencial, el usuario puede recobrar la clave de cifrado. A través del empleo del esquema ABE, el propietario puede aplicar su política de acceso al archivo, al mismo tiempo que preserva el anonimato del usuario en la respuesta a la transacción.

En los últimos tiempos, se ha sido testigo de la evolución sustancial de los modelos de aprendizaje automático, pero esta evolución también ha elevado la demanda de grandes conjuntos de datos para entrenar dichos modelos. No obstante, estos conjuntos de datos de entrenamiento a menudo encierran información de carácter confidencial, desencadenando inquietudes sobre la privacidad de estos. En esta coyuntura, el aprendizaje federado ha surgido como una solución potencial para atenuar los riesgos asociados a la privacidad. A pesar

de sus méritos, el aprendizaje federado sigue enfrentando desafíos que incluyen la vulnerabilidad inherente del agregador como único punto de falla, la presencia latente de participantes con intenciones maliciosas y la carencia de incentivos efectivos[35].

### G. Blockchain en la Industria 4.0

Se han realizado investigaciones sobre varias tecnologías de la Industria 4.0 como la Inteligencia Artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), Big data y Blockchain, y cómo podrían crear interrupciones significativas en los últimos años. Estas tecnologías brindan diversas posibilidades en el mundo de la fabricación y la cadena de suministro. Blockchain es una tecnología que ha ganado mucho reconocimiento y puede mejorar el entorno de fabricación y cadena de suministro. Varios campos ahora tienen ideas fascinantes sobre las ventajas de blockchain[36].

Un elemento esencial en el entorno de la Industria 4.0, el Internet de las Cosas (IoT), ha encontrado aplicaciones extensas en diversas esferas industriales. Sin embargo, la nube, que sustenta el almacenamiento, procesamiento y comunicación de datos en IoT, engendra múltiples desafíos: demoras en la transmisión, puntos únicos de fallo y preocupaciones por la privacidad. Además, el control de acceso centralizado en IoT restringe su flexibilidad y escalabilidad. En este contexto, el blockchain, una base de datos descentralizada, a prueba de alteraciones, transparente e inmutable, ha emergido como solución. La convergencia de Blockchain e IoT ha dado lugar a aplicaciones distribuidas sólidas, abarcando campos como la salud inteligente, finanzas inteligentes, cadena de suministro inteligente, ciudades inteligentes, manufactura inteligente, gobierno inteligente, agricultura inteligente, transporte inteligente, educación inteligente y comercio electrónico inteligente. Sin embargo, para abordar los desafíos de la transformación digital en la Industria 4.0, es esencial amalgamar el blockchain con tecnologías como 5G e inteligencia artificial[37].

### H. Blockchain, Servicios Gubernamentales y Adopción organizacional

La tecnología Blockchain ha ido creciendo en importancia y aceptabilidad en los últimos años.

Sin embargo, existe una investigación empírica limitada sobre los factores organizacionales y tecnológicos específicos que juegan un papel fundamental para impulsar su adopción en la cadena de suministro[38].

Gran parte de la atención que rodea a blockchain hoy en día se centra en los servicios financieros, con muy poca discusión sobre las empresas de servicios no financieros y cómo la tecnología blockchain puede afectar a las organizaciones, sus modelos comerciales y cómo crean y entregan valor. Además, sigue existiendo cierta confusión entre la cadena de bloques (con artículo definido) y la cadena de bloques (sin artículo), las tecnologías de registros distribuidos y sus aplicaciones. Este artículo ofrece una introducción a la tecnología blockchain dirigida a gerentes generales y ejecutivos. Las contribuciones clave de este artículo radican en proporcionar una explicación de la cadena de bloques, incluido cómo funciona una transacción de cadena de bloques y una aclaración de los términos, además de describir los diferentes tipos de tecnologías de cadena de bloques. También discutimos cómo los diferentes tipos de blockchain impactan los modelos comerciales[39].

Tal como sucedió en los primeros compases de Internet, la eficacia y aplicabilidad de las regulaciones legales enfrentan un desafío con la irrupción de la tecnología blockchain. A diferencia de la evolución de Internet, que se ha vuelto más centralizado y ha quedado en gran medida bajo el alcance de la ley, la tecnología blockchain aún resiste la regulación, llevando a algunos a tildarla como «legal», o sea, existente más allá de los confines de la normativa actual. En[40], se examina si la tecnología blockchain realmente merece tal calificación y hasta qué punto puede ser reintegrada dentro del marco legal mediante políticas específicas. En un primer paso, se exploran las características de los sistemas basados en blockchain que dificultan su regulación, debido principalmente a su enfoque en la eliminación de intermediarios. En una segunda instancia, partiendo del concepto de «alegalidad» en la filosofía jurídica, se analiza cómo la tecnología blockchain permite acciones que desafían las restricciones temporales, espaciales, materiales y subjetivas de la ley, dando origen al término «alegalidad por diseño». Esto se refiere a cómo el diseño de artefactos tecnológicos puede abrir posibilidades de cumplir con la legalidad. Finalmen-

te, se explora cómo el marco legal podría responder a la naturaleza legal de la tecnología blockchain mediante políticas innovadoras que promuevan la creación de entornos regulativos experimentales para evaluar la «equivalencia funcional» y «equivalencia regulatoria» de las prácticas y procedimientos implementados en proyectos blockchain.

### I. Blockchain, Seguridad y Vulnerabilidades en Transacciones

La abundancia de material Fuente que está fácilmente disponible destaca el estado vulnerable de los sistemas de cadenas de bloques y señala que las cadenas de bloques no son invencibles ni totalmente seguras, por lo que, la mayoría de los esfuerzos de investigación actuales se centran únicamente en la perspectiva técnica de la seguridad de la cadena de bloques, especialmente en los problemas de consenso y de red. La Regulación General de Protección de Datos de la UE) se está volviendo cada vez más importante, se convence de que los controles de seguridad organizacionales para cadenas de bloques son un componente crítico para garantizar el éxito de los sistemas de cadenas de bloques. Por lo tanto, se planeó analizar los problemas organizacionales que surgen al usar tecnologías de cadenas de bloques[6].

El sistema blockchain está respaldado y protegido por protocolos y primitivas criptográficas, por ejemplo, firmas digitales, funciones hash, etc. Estas primitivas garantizan que las transacciones que se registran en el libro mayor están protegidas por integridad, verificadas en autenticidad y no repudiadas. Además, como red distribuida, para permitir que todo el conjunto de participantes acuerde un registro unificado, la tecnología blockchain también necesita un protocolo de consenso[4].

Desde sus inicios, la tecnología blockchain ha mostrado perspectivas de aplicación prometedoras. Desde la criptomoneda inicial hasta el contrato inteligente actual, blockchain se ha aplicado a muchos campos. Aunque hay algunos estudios sobre los problemas de seguridad y privacidad, falta un examen sistemático sobre la seguridad de los sistemas de blockchain[41].

Muchos consideran que blockchain es un avance tecnológico para la criptografía y la ciberseguridad, con casos de uso que van desde sistemas de

criptomonedas desplegados globalmente como Bitcoin hasta contratos inteligentes, redes inteligentes sobre el Internet de las cosas, etc. Aunque blockchain ha recibido un interés creciente tanto en la academia como en la industria en los últimos años, la seguridad y la privacidad de las cadenas de bloques continúan estando en el centro del debate cuando se implementa la cadena de bloques en diferentes aplicaciones[42].

En los años recientes, el creciente interés en la tecnología Blockchain y sus aplicaciones fundamentales ha generado su creciente popularidad. Su eficacia y disponibilidad la han convertido en una solución ampliamente adoptada. La transformación radical que la tecnología Blockchain ha provocado en el concepto de centralización es evidente en su desarrollo. Para monitorizar y conectar transacciones en la tecnología blockchain, se emplean diversos enfoques. La descentralización, la inmutabilidad, la transparencia y la comunicación peer-to-peer son atributos que contribuyen a la efectiva adaptación a las tendencias actuales. El presente artículo lleva a cabo un estudio completo sobre la tecnología blockchain, detallando sus características, tipología, monederos blockchain y aplicaciones correspondientes[43].

Un desafío crítico en la gestión de la cadena de suministro basada en blockchain se origina en la posible falta de confiabilidad en los gemelos digitales al considerar la representación digital de productos físicos. De hecho, el empleo de tecnología blockchain para rastrear bienes resulta ineficaz si no se logra una correspondencia sólida entre las transacciones blockchain y las transacciones físicas reales. Con base a eso, en[44], se propone un marco para reforzar la administración de la cadena de suministro de productos físicos mediante la fusión de tecnología blockchain con una función de verificación de gemelos digitales.

### J. Blockchain, NFTs y DeFi Tokens

La alta volatilidad que caracteriza a los mercados de blockchain ha llevado a que inversores y participantes del mercado busquen maneras de diversificar sus inversiones para minimizar los riesgos. En este sentido, se ha observado un creciente enfoque en las NFT (Tokens no fungibles), en los tokens DeFi y en las criptomonedas como alternativas de inversión. Entre estas opciones, las NFT

se destacan por ofrecer mayores oportunidades de diversificación, presentando un potencial de riesgo significativo en comparación con otros mercados de blockchain. Las NFT permiten proteger las inversiones y mitigar los riesgos extremos al expandir las opciones de inversión en el ecosistema blockchain, lo que a su vez puede contribuir a una mayor estabilidad y seguridad en el portafolio de inversiones[45].

En el contexto actual, donde el comportamiento sostenible y colaborativo se vuelve esencial debido al cambio climático, las inquietudes medioambientales y el compromiso social, la fuerza de voluntad individual puede no ser suficiente para sostener un comportamiento sostenible a largo plazo. Para promover la colaboración en este sentido, están emergiendo diversas aplicaciones basadas en blockchain que ofrecen incentivos en forma de tokens fungibles, tokens no fungibles (NFT) o puntos de reputación. Estos servicios se enfocan en áreas específicas como la gestión de residuos, la energía entre pares y la movilidad sostenible. Sin embargo, los tokens emitidos por estos servicios suelen estar limitados a su uso interno y no son intercambiables con otros tokens[46].

En[47], se introduce un sistema llamado Locale, que presenta una perspectiva innovadora en la promoción de procesos de fidelización en comunidades locales. Este sistema no solo busca generar lealtad de manera efectiva, sino que también aborda la seguridad de una manera que supera los métodos tradicionales. La propuesta aprovecha las características únicas de la tecnología blockchain para adaptarse a las necesidades y dinámicas particulares de las comunidades locales.

#### **K. Blockchain en el Ámbito de Bitcoin y Criptomonedas**

La infraestructura de clave pública (PKI) se utiliza en la tecnología Blockchain para autenticar las entidades y garantizar la integridad de la cadena de bloques. Se requiere una protección adecuada de la billetera Bitcoin para las claves privadas, semillas y claves almacenadas en hardware externo en la infraestructura Blockchain[48].

En[49] se explora el comercio de criptomonedas durante períodos de crisis geopolíticas. Las criptomonedas presentan características únicas al

funcionar como activos especulativos y métodos de transacción. En comparación con valores tradicionales como acciones y bonos, esta combinación es exclusiva.

Las stablecoins han impulsado el rápido avance de los pagos descentralizados y han dado origen a una nueva generación de sistemas de pago basados en criptomonedas y tecnología blockchain. No obstante, a pesar de que algunos análisis han explorado la relación entre precio y desempeño, así como el papel desempeñado por las stablecoins, sigue faltando una visión global que se centre en el panorama general, los métodos de estabilización y la viabilidad de estas monedas estables en los pagos. Este artículo comienza por proporcionar un resumen de la definición y el estado actual de las stablecoins, seguido por la presentación de su entorno respectivo. Con mayor detalle, tras esbozar la estructura del sistema y los mecanismos de estabilidad, se aborda su pertinencia para los pagos. El resumen integral que se presenta en[50] encapsula la revisión más exhaustiva en torno a las investigaciones sobre stablecoins. Se observa que las stablecoins respaldadas por activos resultan ser las más eficaces y ampliamente adoptadas.

#### **L. Blockchain en la Gestión Pública**

Un desafío clave detrás de la adopción de blockchain en el sector público es comprender la dinámica de la gobernanza de blockchain[51].

La gobernanza de blockchain puede considerarse como la integración de normas y cultura, las leyes y el código, las personas y las instituciones que facilitan la coordinación y juntos determinan una organización determinada[52].

Blockchain tiene la capacidad de alterar significativamente la forma en que operan las operaciones de personas (es decir, la gestión de recursos humanos) en las organizaciones. Esta investigación da un primer paso al proponer varias formas en que la tecnología blockchain puede usarse para mejorar las prácticas organizacionales actuales, al mismo tiempo que considera las implicaciones éticas. Específicamente, el documento examina el papel que desempeña la tecnología blockchain en tres áreas principales de las operaciones de personas: 1) entrada a la organización (a través del reclutamiento y la selección), 2) proce-



sos interorganizacionales (incluida la compensación a través de contratos inteligentes, retención y motivación a través de acciones compartidas), liderazgo y gestión de conflictos a través de la resolución de disputas basada en la red y la gestión del desempeño), y 3) salida (offboarding). En cada sección, el artículo revisa las implicaciones éticas desde los lentes de la ética de la virtud, el utilitarismo, la deontología y el contractualismo. El documento concluye que, en general, la implementación de la tecnología blockchain en los procesos de operaciones de personas puede crear un entorno de trabajo más ético. Sin embargo, es necesaria una implementación cuidadosa y requiere un examen extenso de las implicaciones éticas por adelantado[53].

### **M. Blockchain en el Entorno Educativo y de Interoperabilidad**

A pesar de la creciente relevancia de esta tecnología en diversos campos, la literatura académica aún no abarca adecuadamente los proyectos educativos basados en blockchain[1]. Mientras que las cadenas de bloques sin permiso han dominado el mundo de las criptomonedas y los mercados financieros, las cadenas de bloques autorizadas están entrando en el ámbito empresarial y en las prácticas institucionales. Esta adaptación ofrece un ecosistema confiable y seguro para las instituciones educativas, permitiendo la validación y verificación de credenciales de manera eficiente[5].

Sin embargo, la interoperabilidad de las cadenas de bloques presenta desafíos complejos. A pesar de la posibilidad teórica de lograr la interoperabilidad, el logro práctico implica una redefinición fundamental de las propias cadenas de bloques. La búsqueda de cadenas de bloques verdaderamente interoperables plantea cuestiones de diseño y arquitectura que requieren soluciones creativas y una reevaluación de las concepciones convencionales[54].

En la vanguardia de la innovación educativa, la tecnología blockchain emerge como una solución revolucionaria para abordar los desafíos que enfrentan los educadores en la era digital. Los proyectos educativos basados en blockchain presentan un potencial transformador al abordar cuestiones críticas como la certificación digital y el mantenimiento de registros[55].

En última instancia, el potencial de blockchain en la educación es innegable. Los proyectos educativos basados en esta tecnología podrían allanar el camino para una certificación y verificación más confiables, así como para un intercambio de información seguro y transparente. A medida que la comunidad educativa explore estas posibilidades, se espera que se abran nuevas fronteras en la forma en que se enseña, aprende y certifica el conocimiento en el siglo XXI.

### **N. Blockchain y la Implementación en Colombia**

En Colombia, Blockchain se encuentra en un estado incipiente de desarrollo, especialmente en sus aplicaciones en la industria más allá del sector financiero. Distintos factores influyen en las organizaciones para competir en el mercado de soluciones tecnológicas basadas en Blockchain, entre ellos, el legal. La falta de regulación directa genera incertidumbre en los empresarios que desean implementar esta tecnología, convirtiéndose, a la larga, en un factor desmotivador[56].

La tecnología de cadena de bloques, conocida como Blockchain, brinda a las empresas colombianas del sector público y privado la seguridad y eficiencia en transacciones de criptomonedas y datos a través de sistemas informáticos especializados. Esta investigación se enfoca en demostrar los beneficios de implementar esta tecnología en Colombia para mejorar la productividad y competitividad. Se analizaron Fuentes secundarias, como artículos científicos, para explorar las características y aplicaciones de la cadena de bloques. El estudio busca aprovechar el potencial transformador de esta tecnología en el contexto local, destacando su capacidad para optimizar operaciones y promover la innovación empresarial[57].

### **O. Blockchain y ciencia de datos**

La seguridad de los datos y las amenazas a la privacidad impregnan todos los eslabones de la cadena de la industria de la ciencia de datos, como la producción, la recopilación, el procesamiento y el intercambio de datos, y las causas del riesgo son complejas y están entrelazadas. La tecnología Blockchain es muy elogiada y reconocida por su infraestructura descentralizada, anonimato, seguridad y otras características. Cambiará la forma en que se accede y comparte información. Se cree que

la tecnología blockchain puede superar algunas limitaciones en la ciencia de datos y promover el desarrollo de la ciencia de datos, pero también puede traer otros problemas. Por lo tanto, es necesario explorar la relación entre la tecnología blockchain y la ciencia de datos[58].

En la era actual, la proliferación de plataformas de redes sociales en línea (OSM) ha resultado en la aparición de una multitud de alternativas. En este contexto, la competencia en aumento entre estas plataformas, junto con el surgimiento de opciones descentralizadas como Blockchain Online Social Media (BOSM), ha suscitado una frecuente migración de usuarios. Este fenómeno, donde los individuos buscan características, contenido o comunidades mejor adaptadas a sus necesidades, ha despertado un creciente interés en la investigación sobre la migración de usuarios, sus modelos y predicciones. No obstante, la migración de usuarios, particularmente en plataformas basadas en blockchain, sigue siendo un campo poco explorado. Los métodos actuales se basan en la actividad del usuario para construir gráficos de interacción, afrontando la predicción de migración como una tarea de clasificación de nodos, donde las decisiones de los usuarios se reflejan en las etiquetas de los nodos. Si bien estos métodos demuestran prometedoras métricas de rendimiento, dos carencias sustanciales prevalecen: 1) la falta de uso de redes neuronales de grafos, la vanguardia en aprendizaje automático basado en grafos; y 2) la ausencia de enfoques específicos para enfrentar el desequilibrio de clases, que se manifiesta en la preeminencia de un comportamiento dominante entre los usuarios sujetos a predicción[59].

#### **P. Blockchain como Servicio: Arquitecturas, Aplicaciones y Desafíos**

Debido a la complejidad de la tecnología de cadena de bloques, generalmente cuesta demasiado esfuerzo construir, mantener y monitorear un sistema de cadena de bloques que admita una aplicación específica. Con este fin, el emergente «Blockchain as a Service» (BaaS) hace que la cadena de bloques y los libros mayores distribuidos sean más accesibles, particularmente para las empresas, al reducir los costos y los gastos generales. BaaS combina el alto poder de cómputo de la computación en la nube, la omnipresencia de IoT y la descentralización de blockchain, lo que permite a

las personas crear sus propias aplicaciones al tiempo que garantiza la transparencia y la apertura del sistema. En la actualidad, la investigación sobre blockchain es abundante, pero la investigación sobre BaaS aún está en pañales. En este documento se concluyen seis desafíos de BaaS para futuras direcciones de estudio[60].

#### **Q. Blockchain y Smart Grid**

La demanda de electricidad aumenta rápidamente junto con el avance de la era industrial. Para garantizar una distribución eficiente de la electricidad, mantener bajas pérdidas y un alto nivel de calidad, y la seguridad del suministro eléctrico, se propuso el concepto de red inteligente. El concepto permite que una pequeña escala individual genere electricidad y la venda a la red. Sin embargo, el concepto agrega complejidad al sistema existente, por ejemplo, cómo se realiza, verifica y registra una transacción entre estos generadores y consumidores. Este artículo propone la cadena de bloques como una herramienta para gestionar transacciones en la red inteligente. Las transacciones se realizan con contratos inteligentes y la red actúa como un verificador de transacciones. La cadena de bloques proporciona inmutabilidad de las transacciones, que aseguran que cada transacción entre generadores y consumidores siempre se ejecutará. También proporciona inmutabilidad al historial de transacciones, que se puede utilizar para auditorías o para resolver disputas de transacciones[61].

#### **R. Adopción de Blockchain**

Las tecnologías Blockchain han atraído una atención significativa de la academia y la industria gracias a sus atributos únicos, como la seguridad de los datos, la integridad, la descentralización y la confiabilidad. A pesar de estas características sobresalientes, su adopción aún no ha alcanzado niveles sustanciales, lo que ha motivado estudios para comprender la satisfacción y adopción de los usuarios. La comprensión de los factores que influyen en el uso y la adopción de tecnologías Blockchain podría ofrecer soluciones eficaces a los desafíos que enfrenta su adopción.

Por tanto,[62] propuso revisar los estudios publicados sobre tecnologías Blockchain con el objetivo de proporcionar un entendimiento pro-

fundo de los elementos que impactan su adopción y discutir los desafíos y oportunidades clave en diversos sectores. De una muestra inicial de 902 estudios, 30 estudios empíricos cumplían con los criterios de selección y fueron analizados minuciosamente. Los resultados confirmaron que el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) y el Modelo Tecnología-Organización-Entorno (TOE) eran los enfoques más recurrentes para investigar la adopción de Blockchain. Además de las variables esenciales en estos modelos, los hallazgos resaltaron la confianza, el costo percibido, la influencia social y las condiciones habilitadoras como determinantes fundamentales que moldean diversas aplicaciones de Blockchain. La gestión de la cadena de suministro se erige como el dominio principal en el cual las aplicaciones de Blockchain se han implementado.

Desde su surgimiento, la tecnología blockchain ha transformado profundamente la manera en que la sociedad interactúa y lleva a cabo transacciones. Se puede describir como una cadena de bloques que almacena información mediante firmas digitales en una red distribuida y descentralizada. Inicialmente, esta innovación se adoptó para la creación de criptomonedas digitales, como Bitcoin y Ethereum. Sin embargo, en la actualidad, la investigación y la industria han ampliado su enfoque hacia las diversas oportunidades que blockchain ofrece en distintos campos de aplicación, aprovechando sus características fundamentales como la descentralización, persistencia, anonimato y auditabilidad[63].

#### IV. CONCLUSIONES

La escasez de publicaciones en temas como Blockchain como Servicio, Gestión Pública, Adopción de Blockchain, Ciencia de Datos, Entorno Educativo, Bitcoin, Metaverso, Smart Grid, Implementación en Colombia, Interoperabilidad, Vulnerabilidades, Industria 4.0, Sector Agroalimentario, muestra oportunidades para explorar tanto en investigación y publicaciones, como en productos y servicios relacionados con estas áreas de la industria del blockchain.

La evidencia de la implementación de la tecnología Blockchain en diferentes sectores deja su rastro en las investigaciones y publicaciones,

permitiendo observar que los temas de Seguridad, Transacciones, Privacidad de Datos, IoT, Adopción organizacional, Criptomonedas, Cadena de Suministro son las más estudiadas. En menor medida se encuentra la aplicación de blockchain en DeFi Tokens, Sector Financiero, NFTs, Sector Energético, Sector de la Salud.

Es una oportunidad para la realización de investigación en sectores que hacen parte de la cuarta revolución industrial, que además se visualizan como tendencia tecnológica y que son pertinentes al momento de realizar procesos de transformación digital.

En Colombia se denota la existencia una marcada debilidad en el terreno de la investigación de los temas relacionados con blockchain y, por ende, su desarrollo y utilización en los diversos sectores económicos.

#### REFERENCIAS

- [1] E. Guustaaf, U. Rahardja, Q. Aini, H. Wahyu y N. Santoso, «ATM (APTISI TRANSACTIONS ON MANAGEMENT: JANUARY),» 2020.[En línea]. Available: <https://ijc.ilearning.co/index.php/ATM/article/view/1433>.
- [2] A. Gorkhali, L. Li y A. Shrestha, «Taylor&Francis Online,» 2020.[En línea]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23270012.2020.1801529>.
- [3] H.-G. Fill y A. Meier, «Springer Link,» 2020.[En línea]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23270012.2020.1801529>.
- [4] H. Guo y X. Yu, «ScienceDirect,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.sciencedirect-com.sibulgem.unilibre.edu.co/science/article/pii/S2096720922000070?via%3Dihub>.
- [5] C. Helliar, L. Crawfordb, L. Rocca, C. Teodori y M. Veneziani, «ScienceDirect,» 2020.[En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102136>.
- [6] L. Konig, S. Unger, P. Kieseberg y S. Tjoa, «Research Gate,» 2020.[En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Lukas-Koenig-13/publication/363091448\\_The\\_Risks\\_of\\_the\\_Blockchain\\_A\\_Review\\_on\\_Current\\_Vulnerabilities\\_and\\_Attacks/links/630dd4b6acd814437feb1510/The-Risks-of-the-Blockchain-A-Review-on-Current-Vulnerabilities-and-Attac](https://www.researchgate.net/profile/Lukas-Koenig-13/publication/363091448_The_Risks_of_the_Blockchain_A_Review_on_Current_Vulnerabilities_and_Attacks/links/630dd4b6acd814437feb1510/The-Risks-of-the-Blockchain-A-Review-on-Current-Vulnerabilities-and-Attac).



- [7] C. Helliari, L. Crawford, L. Rocca, C. Teodori y M. Veneziani, «ScienceDirect,» 2020.[En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102136>.
- [8] A. Rejeb, J. Keogh, S. Zailini, H. Treiblmaier y K. Rejeb, «Virtualpro,» 2020.[En línea]. Available: <https://www-virtualpro-co.sibulgem.unilivre.edu.co/biblioteca/tecnologia-blockchain-en-la-industria-alimentaria-revision-sobre-el-potencial-desafios-y-direcciones-futuras-de-investigacion>.
- [9] H. Shize, Y. Lingyu, Y. Xiaolu, L. Xinghua y G. Fei, «Virtualpro,» 2021.[En línea]. Available: <https://www-virtualpro-co.sibulgem.unilivre.edu.co/biblioteca/una-arquitectura-etc-descentralizada-basada-en-la-tecnologia-blockchain>.
- [10] T. Gadekallu, T. Huynh-The, W. Wang, G. Yenduri, P. Ranaweera, Q.-V. Pham, D. Benavides da Costa y M. Liyanage, «Cornell University,» 2022.[En línea]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.09738>.
- [11] R. Kumar, F. Khan, S. Kadry y S. Rho, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/c2c8dfc0-58c8-35a8-b92d-f079e3e52f75/>.
- [12] A. Reyna, C. Martín, J. Chen, E. Soler y M. Díaz, «Mendeley,» 2018.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/b3ae0a11-2f1e-30b5-aca9-fc40b477f397/>.
- [13] S. Selvarajan et al., “An artificial intelligence lightweight blockchain security model for security and privacy in IIoT Systems - Journal of Cloud Computing,” Scopus, <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-023-00412-y>
- [14] Yang, C., Wang, X., Zheng, Z., Liu, X., & Jiang, J. (2020). Blockchain-Enabled Secure and Efficient Distributed Data Sharing Scheme in Industrial Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4), 2491-2500. DOI: 10.1109/TII.2019.2927012
- [15] J. Hayes, A. Aneiba, and M. Gaber, “Symbiot: Towards an extensible blockchain integration testbed for IIoT,” *Proceedings of the 1st Workshop on Enhanced Network Techniques and Technologies for the Industrial IoT to Cloud Continuum*, 2023. doi:10.1145/3609389.3610565
- [16] A. Rejeb et al., “Unleashing the power of internet of things and Blockchain: A comprehensive analysis and Future Directions,” *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 4, pp. 1-18, 2023. doi:10.1016/j.iotcps.2023.06.003
- [17] Y. Zou, Z. Jin, Y. Zheng, D. Yu, and T. Lan, “Optimized consensus for blockchain in internet of things networks via reinforcement learning,” *Tsinghua Science and Technology*, vol. 28, no. 6, pp. 1009-1022, 2023. doi:10.26599/tst.2022.9010045
- [18] V. S. Daliparthi, N. Momen, K. Tutschku, and M. De Prado, “ViSDM 1.0: Vision Sovereignty Data Marketplace a decentralized platform for crowdsourcing data collection and trading,” *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, 2023. doi:10.1145/3582515.3609556
- [19] M. Berneis, D. Bartsch y H. Winkler, «Virtualpro,» 2021.[En línea]. Available: <https://www-virtualpro-co.sibulgem.unilivre.edu.co/biblioteca/revision-sistemica-sobre-aplicaciones-de-tecnologia-blockchain-en-logistica-y-gestion-de-cadenas-de-suministro>.
- [20] W. Xue, C. Yang, and Z. Wu, “An Adaptive State Supervising Method for Power Data Blockchain Based on Relay Mechanism,” *Universidad Libre - Recursos Virtuales*, <https://dl-acm-org.sibulgem.unilivre.edu.co/doi/10.1145/3532640.3532659>
- [21] L. Zhao et al., “Research on Design and Application of Power Dispatch Based on Blockchain,” *Universidad Libre - Recursos Virtuales*, <https://dl-acm-org.sibulgem.unilivre.edu.co/doi/10.1145/3460537.3460564>
- [22] Q. Wang, R. Li, and L. Zhan, “Blockchain technology in the energy sector: From basic research to real world applications,” *Mendeley*, <https://www.mendeley.com/catalogue/81a9142b-0bc1-3355-bc21-61c19cf854a4/>
- [23] S. Khezr, M. Moniruzzaman, A. Yassine, and R. Benlamri, “Blockchain technology in Healthcare: A comprehensive review and directions for future research,” *Mendeley*, <https://www.mendeley.com/catalogue/ee1f8bde-126b-39b2-a2e2-ffb930e399ec/#cited%20by-title>
- [24] P. Jayachitra & S. Ramakrishnan, Blockchain in the post-COVID world: A systematic review. *Journal of Information Security and Applications*, 63, 102845. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2021.102845>
- [25] S. Fugkeaw, “An efficient and scalable vaccine passport verification system based on ciphertext policy attribute-based encryption and blockchain,” *Journal of Cloud Computing*, vol. 12, no. 1, 2023. doi:10.1186/s13677-023-00486-8
- [26] M. Attaran, “Blockchain technology in Healthcare: Challenges and opportunities,” *International Journal of Healthcare Management*, vol. 15, no. 1, pp. 70-83, 2020. doi:10.1080/20479700.2020.1843887



- [27] A. A. Noman, M. Rahaman, T. H. Pranto, and R. M. Rahman, "Blockchain for Medical Collaboration: A federated learning-based approach for multi-class respiratory disease classification," *Healthcare Analytics*, vol. 3, p. 100135, 2023. doi:10.1016/j.health.2023.100135
- [28] G. Zhang et al., "STAIBT: Blockchain and CP-abe empowered secure and trusted agricultural IOT blockchain terminal," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 7, no. 5, p. 66, 2022. doi:10.9781/ijimai.2022.07.004
- [29] T. R. Konfo et al., "Recent advances in the use of digital technologies in Agri-Food Processing: A short review," *Applied Food Research*, vol. 3, no. 2, p. 100329, 2023. doi:10.1016/j.afres.2023.100329
- [30] M. Ali y S. Bagui, «Mendeley,» 2021.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/39ee9b5c-01ab-3d25-bce5-84c0392f8a1f/>.
- [31] X. Guo, J. LI, and J. Hang, "Research on the application of Blockchain Legal Technology in the supervision and management of online transactions," *Universidad Libre - Recursos Virtuales*, <https://dl-acm-org.sibulgem.unilivre.edu.co/doi/10.1145/3532640.3532647>
- [32] Q. Sun, J. Yan, K. Xia & Y. Zhang, Blockchain-based sharing service for computing resources in edge computing. *Future Generation Computer Systems*, 88, 729-737. 2018. <https://doi.org/10.3390/s21062126>
- [33] T. Li, X. Chen, J. Luo, H. Peng & J. Jiang, A blockchain-based system for secure data storage and sharing in cloud computing. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 131, 99-109. 2019. DOI: 10.3966/160792642020012101001
- [34] M. Almasian and A. Shafieinejad, "Secure cloud file sharing scheme using blockchain and attribute-based encryption," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 87, p. 103745, 2023. doi:10.1016/j.csi.2023.103745
- [35] E. Tomiyama, H. Esaki, and H. Ochiai, "Competitive and asynchronous decentralized federated learning with Blockchain Smart Contracts," *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, 2023. doi:10.1145/3582515.3609522
- [36] M. Javaid, A. Haleem, R. Pratap, S. Khan y R. Suman, «Mendeley,» 2021.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/079407c9-e141-30f7-976f-71c11ffebbc/#cited%20by-title>.
- [37] Y. Chen, Y. Lu, L. Bulysheva, and M. Yu. Kataev, "Applications of blockchain in industry 4.0: A Review," *Information Systems Frontiers*, 2022. doi:10.1007/s10796-022-10248-7
- [38] M. Agi y A. Jha, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/7430841d-79eb-3a9d-b53d-82c1fd5d8285/>.
- [39] V. Morkunas, J. Paschen y E. Boon, «Mendeley,» 2019.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/871a93de-389c-3a9a-a5c6-31e69a8fd3d5/>.
- [40] P. De Filippi, M. Mannan, and W. Reijers, "The alegality of Blockchain technology," *Policy and Society*, vol. 41, no. 3, pp. 358-372, 2022. doi:10.1093/polsoc/puac006
- [41] X. Li, P. Jiang, T. Chen, X. Luo y Q. Wen, «Mendeley,» 2020.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/9fca6d75-79d3-3700-8182-6ee7d16c41e1/#author%20supplied%20key-words-title>.
- [42] R. Zhang, R. Xue y L. Liu, «Mendeley,» 2019.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/6468bb0b-1416-3c0c-88b5-10168a7aab34/>.
- [43] A. S. Rajasekaran, M. Azees, and F. Al-Turjman, "A comprehensive survey on Blockchain technology," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 52, p. 102039, 2022. doi:10.1016/j.seta.2022.102039
- [44] V. Botta, L. Fusco, A. Mondelli, and I. Visconti, "Secure blockchain-based supply chain management with verifiable digital twins," *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, 2023. doi:10.1145/3582515.3609547
- [45] K. S. L. B, N. My U. G, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/b66beec3-54c9-39f7-894c-cbfd499a1eb7/>.
- [46] E. A. Napoli and V. Gatteschi, "A platform for the aggregation of blockchain-based services for municipalities and smart-cities, enabling automatic conversion based on saved CO2 units," *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, 2023. doi:10.1145/3582515.3609545
- [47] F. Barbara, F. Fredda, and C. Schifanella, "A new token management system for local communities," *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, 2023. doi:10.1145/3582515.3609540
- [48] O. Pal, B. Alam, V. Thakur y S. Singh, «Mendeley,» 2021.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/c65825f6-ec20-3164-b6b0-5bcb3fc7976f/#author%20supplied%20key-words-title>.

- [49] C. Alexakis, G. Anselmi, and G. Petrella, "Flight to Cryptos: Evidence on the use of cryptocurrencies in times of geopolitical tensions," *International Review of Economics & Finance*, vol. 89, pp. 498–523, 2023. doi:10.1016/j.iref.2023.07.054
- [50] D. Li et al., "On stablecoin: Ecosystem, architecture, mechanism and applicability as payment method," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 87, p. 103747, 2024. doi:10.1016/j.csi.2023.103747
- [51] E. Tan, S. Mahula y J. Cromptvoets, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/6edc04b0-9834-3c8c-b86a-61615e57376a/>.
- [52] A. Fischer y M. Valiente, «Mendeley,» 2021.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/290fa5d1-94aa-3629-bee0-a2f3cf09027a/>.
- [53] M. Sharif y F. Ghodoosi, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/4d0c05c8-71ed-3551-b358-3743d26a8b8e/>.
- [54] P. Lafourcade y M. Lombard-Platet, «Science Direct,» 2020.[En línea]. Available: <https://www.sciencedirect-com.sibulgem.unilibre.edu.co/science/article/abs/pii/S0020019020300636?via%3Dihub>.
- [55] U. Rahardja, Q. Aini, M. A. Ngadi, M. Hardini y F. Oganda, «IEEEExplore,» 2020.[En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9320798>
- [56] M. Narvaez, L. Carrasquilla, A. De Luque-Pisciotti, A. Guarín, T. Barrios y J. Gallego, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/252de3be-ba0c-38c0-9881-d938c97a04c8/>.
- [57] O. Velasquez, "Ventajas del Desarrollo E Implementación de Blockchain en Empresas Públicas y Privadas de Colombia," *Mendeley*, <https://www.mendeley.com/catalogue/c95e2c50-60e0-3efa-8e98-4da0a9236cae/#author%20supplied%20keywords-title>
- [58] L. Jiameng, P. Shaoliang, L. Chengnian, W. Lijun, L. Yunhao y T. Zhihui, «ACMDigitalLibrary,» 2020.[En línea]. Available: <https://dl-acm-org.sibulgem.unilibre.edu.co/doi/10.1145/3390566.3391681>.
- [59] C. T. Ba, A. Galdeman, M. Dileo, M. Zignani, and S. Gaito, "User migration prediction in blockchain socioeconomic networks using graph neural networks," *Proceedings of the 2023 ACM Conference on Information Technology for Social Good*, 2023. doi:10.1145/3582515.3609552
- [60] J. Song, P. Zhang y M. Alkubati, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/af727490-093c-3db4-887f-b9fbb2d53462/>.
- [61] A. Agung y R. Handayani, «Mendeley,» 2022.[En línea]. Available: <https://www.mendeley.com/catalogue/64a12127-b12b-3c1a-9264-7cc0bfbfd4753/>.
- [62] M. AlShamsi, M. Al-Emran, and K. Shaalan, "A systematic review on blockchain adoption," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, p. 4245, 2022. doi:10.3390/app12094245
- [63] M. Krichen, M. Ammi, A. Mihoub, and M. Almutiq, "Blockchain for modern applications: A survey," *Sensors*, vol. 22, no. 14, p. 5274, 2022. doi:10.3390/s22145274