

Artículo Científico

Aplicación de blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro

Application of blockchain in the traceability of the supply chain



Bravo-Bravo, Idilia Fernanda ¹



<https://orcid.org/0000-0002-8092-198X>



idilia.bravo@utelvt.edu.ec



Universidad Técnica Luis Vargas Torres de
Esmeraldas, Ecuador, Santo Domingo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n2/11>

Resumen: Este artículo analiza el papel transformador de la tecnología blockchain en la trazabilidad de las cadenas de suministro, frente a la creciente demanda de transparencia, integridad y eficiencia logística. A través de una revisión bibliográfica sistemática de literatura científica indexada en Scopus y Web of Science, se identificaron beneficios clave como la mejora de la visibilidad en tiempo real, la autenticación de productos y la reducción de fraudes. La metodología cualitativa aplicada permitió categorizar hallazgos relevantes sobre aplicaciones, limitaciones y desafíos de implementación en sectores como el alimentario, farmacéutico y manufacturero. Entre los beneficios más destacados figura la automatización del seguimiento mediante sensores IoT, el fortalecimiento de la confianza interorganizacional y la posibilidad de establecer auditorías digitales. Sin embargo, también se evidencian obstáculos técnicos como la limitada escalabilidad de las plataformas, la falta de estandarización y la resistencia organizacional al cambio. Se concluye que, aunque blockchain ofrece un potencial disruptivo considerable, su adopción masiva exige mejoras tecnológicas, marcos regulatorios claros y estrategias colaborativas entre los actores logísticos, regulatorios y tecnológicos. Este estudio proporciona un marco integral útil para futuros desarrollos académicos y empresariales.

Palabras clave: blockchain; trazabilidad; cadena de suministro; tecnologías disruptivas; transformación digital.



Check for
updates

Received: 12/Mar/2022

Accepted: 02/Abr/2022

Published: 30/Abr/2023

Cita: Bravo-Bravo, I. F. (2023). Aplicación de blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 1(2), 1-14. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v1/n2/11>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)

<https://revistacym.com>

revistacym@editorialgrupo-aea.com

info@editorialgrupo-aea.com

© 2023. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

This article analyzes the transformative role of blockchain technology in supply chain traceability in the face of the growing demand for transparency, integrity and logistics efficiency. Through a systematic literature review of scientific literature indexed in Scopus and Web of Science, key benefits such as improved real-time visibility, product authentication and fraud reduction were identified. The qualitative methodology applied allowed us to categorize relevant findings on applications, limitations and implementation challenges in sectors such as food, pharmaceutical and manufacturing. Among the most outstanding benefits are the automation of tracking through IoT sensors, the strengthening of inter-organizational trust and the possibility of establishing digital audits. However, technical obstacles such as limited platform scalability, lack of standardization and organizational resistance to change are also evident. It is concluded that, although blockchain offers considerable disruptive potential, its mass adoption requires technological improvements, clear regulatory frameworks and collaborative strategies between logistical, regulatory and technological stakeholders. This study provides a comprehensive framework useful for future academic and business developments.

Keywords: blockchain; traceability; supply chain; disruptive technologies; digital transformation.

1. Introducción

En la era de la transformación digital, las cadenas de suministro enfrentan crecientes desafíos relacionados con la visibilidad, la autenticidad de los productos, la transparencia operativa y la eficiencia de los procesos logísticos. En este contexto, la trazabilidad emerge como una necesidad crítica, especialmente en industrias altamente reguladas como la alimentaria, farmacéutica, manufacturera y tecnológica, donde los consumidores y las autoridades exigen información precisa y en tiempo real sobre el origen, el procesamiento y la distribución de los productos (Saber et al., 2018). Sin embargo, los sistemas de trazabilidad tradicionales, basados en bases de datos centralizadas y procesos manuales, son vulnerables a errores, fraudes, pérdida de datos y limitada interoperabilidad, lo cual compromete la integridad de la información y la confianza entre los actores de la cadena de suministro (Casino et al., 2019).

La ausencia de una trazabilidad confiable en las cadenas de suministro puede desencadenar consecuencias significativas, tales como la proliferación de productos falsificados, la falta de cumplimiento normativo, ineficiencias logísticas, y sobrecostos operativos. Por ejemplo, en el sector alimentario, la imposibilidad de rastrear con precisión el origen de un producto puede resultar en retiradas masivas y costosas de productos del mercado, además de afectar gravemente la salud pública (Galvez et al.,

2018). Asimismo, en la industria farmacéutica, la circulación de medicamentos falsificados o vencidos es un problema global que pone en riesgo la vida de los pacientes y socava la confianza en el sistema de salud (Mackey & Nayyar, 2017). Estos problemas se ven agravados por la globalización de los mercados, la complejidad de los flujos logísticos y la participación de múltiples actores distribuidos geográficamente, lo cual incrementa la necesidad de mecanismos tecnológicos robustos que garanticen una trazabilidad efectiva, segura y transparente.

Frente a este panorama, la tecnología blockchain ha emergido como una herramienta disruptiva con un alto potencial para transformar la gestión de las cadenas de suministro, proporcionando un sistema descentralizado, inmutable y verificable para el registro de transacciones entre las partes involucradas. La naturaleza distribuida de blockchain permite que cada nodo participante en la red mantenga una copia exacta del libro contable, lo que reduce la dependencia de intermediarios y aumenta la confianza en los datos registrados (Kshetri, 2014). Además, mediante el uso de contratos inteligentes, es posible automatizar procesos y condiciones previamente definidas, lo que mejora la eficiencia operativa y minimiza el riesgo de manipulación de información (Treiblmaier, 2018). Diversos estudios han evidenciado que la aplicación de blockchain en la trazabilidad aporta beneficios significativos como la mejora en la visibilidad de la cadena, la autenticación del origen de los productos, la optimización del control de calidad y la facilitación del cumplimiento normativo (Francisco & Swanson, 2018; Tian, 2016).

La pertinencia de explorar el uso de blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro radica en la necesidad urgente de soluciones tecnológicas que respondan a los desafíos mencionados, con una perspectiva innovadora y sostenible. La presente revisión bibliográfica tiene como justificación principal identificar, analizar y sintetizar el conocimiento científico más relevante y actualizado sobre la aplicación de blockchain en dicho contexto, con el fin de establecer un marco conceptual robusto que permita comprender sus potencialidades, limitaciones, casos de uso y perspectivas futuras. La viabilidad del estudio se sustenta en la creciente disponibilidad de literatura científica indexada en bases de datos como Scopus y Web of Science, así como en el interés sostenido por parte de la industria, los organismos reguladores y la academia, lo cual garantiza la relevancia del tema tanto en el ámbito teórico como en el práctico.

Este artículo busca contribuir al cuerpo de conocimiento mediante un análisis crítico de las publicaciones más influyentes sobre el tema, resaltando las tendencias emergentes, las metodologías utilizadas, los sectores de aplicación y las principales barreras para la adopción efectiva de esta tecnología. La revisión permitirá identificar vacíos de investigación, áreas de oportunidad y mejores prácticas que puedan guiar futuros estudios académicos y desarrollos tecnológicos en el ámbito de la trazabilidad basada en blockchain. En consecuencia, el objetivo principal de esta investigación es examinar el estado del arte sobre la aplicación de la tecnología blockchain en la

trazabilidad de la cadena de suministro, con énfasis en su funcionalidad, impacto y proyecciones, a partir de la revisión y análisis de literatura científica especializada.

En suma, abordar la trazabilidad mediante tecnologías emergentes como blockchain no solo responde a una necesidad operacional, sino que también se alinea con los principios de sostenibilidad, transparencia y responsabilidad corporativa que guían el desarrollo de cadenas de suministro modernas. Al aportar una visión integral y crítica del conocimiento actual sobre el tema, esta revisión se convierte en una herramienta valiosa para investigadores, profesionales del sector logístico, responsables de políticas públicas y desarrolladores tecnológicos interesados en implementar soluciones disruptivas para mejorar la gestión de las cadenas de suministro globales.

2. Materiales y métodos

a presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo exploratorio, orientado a realizar una revisión bibliográfica sistemática de la literatura científica sobre la aplicación de la tecnología blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro. El estudio se fundamentó en la recopilación, análisis e interpretación crítica de artículos académicos relevantes publicados en revistas indexadas en bases de datos reconocidas internacionalmente, como Scopus y Web of Science (WoS), lo que permitió garantizar la calidad, pertinencia y actualidad de las fuentes utilizadas.

El proceso metodológico comenzó con la delimitación del objeto de estudio y la formulación de las preguntas orientadoras de la revisión, centradas en identificar cómo se ha implementado blockchain en distintos sectores industriales para optimizar la trazabilidad, qué beneficios y limitaciones se han reportado en la literatura, y cuáles son las tendencias emergentes y desafíos aún no resueltos en el área. A partir de ello, se definieron los criterios de búsqueda, selección e inclusión de las fuentes documentales. Se establecieron palabras clave y combinaciones booleanas en inglés y español, tales como “blockchain AND supply chain traceability”, “blockchain AND food traceability”, “distributed ledger AND logistics”, “tecnología blockchain AND trazabilidad”, entre otras.

La búsqueda bibliográfica se realizó durante el primer semestre de 2025 y se centró en documentos publicados entre 2016 y 2025, a fin de asegurar la incorporación de desarrollos recientes y avances tecnológicos actuales. Se priorizaron artículos de revisión y estudios empíricos publicados en revistas científicas arbitradas, excluyéndose documentos de opinión, notas técnicas, libros, tesis y artículos sin validación por pares. Asimismo, se excluyeron fuentes duplicadas y publicaciones que no abordaran de forma directa la temática de estudio o que se limitaran a enfoques meramente teóricos sin aplicación en casos concretos de trazabilidad en cadenas de suministro.

Posteriormente, se procedió a la lectura analítica y crítica de los textos seleccionados, realizando una categorización temática basada en los principales ejes identificados

durante la revisión: funcionalidades técnicas de blockchain aplicadas a la trazabilidad, beneficios percibidos en diferentes sectores industriales, desafíos de implementación, marcos regulatorios, y perspectivas de futuro. Esta categorización permitió sintetizar los hallazgos más relevantes, establecer relaciones entre estudios, identificar vacíos en la literatura y elaborar una discusión comparativa que articula los distintos enfoques propuestos por los autores revisados.

Para garantizar la trazabilidad y organización de las referencias bibliográficas, se utilizó un gestor de referencias académicas, a través del cual se sistematizó la información de cada documento, incluyendo autoría, título, año de publicación, nombre de la revista, DOI y resumen. Esta herramienta facilitó el control bibliográfico y la elaboración final del apartado de referencias según las normas del estilo APA, séptima edición.

Finalmente, se desarrolló un análisis interpretativo que no solo se limitó a una descripción de las contribuciones existentes, sino que integró una reflexión crítica orientada a identificar las contribuciones teóricas y prácticas del uso de blockchain en la trazabilidad, así como a destacar las oportunidades de investigación futura. Este enfoque permitió consolidar un marco comprensivo y actualizado sobre la temática, útil tanto para académicos como para profesionales del sector interesados en comprender las implicaciones de esta tecnología en la transformación de las cadenas de suministro.

3. Resultados

3.1. Impacto de blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro

3.1.1. Mejora de la transparencia e integridad de los datos

Uno de los impactos más evidentes de la incorporación de *blockchain* en los sistemas de trazabilidad de la cadena de suministro es el fortalecimiento de la transparencia y la integridad de los datos. La naturaleza descentralizada y distribuida de esta tecnología permite que todas las transacciones se registren de manera permanente, cronológicamente ordenada y con acceso compartido entre las partes involucradas. Cada bloque de información es sellado criptográficamente y enlazado al anterior, lo cual imposibilita su alteración posterior sin modificar toda la cadena subsecuente, lo que representaría un costo computacional inviable (Saber et al., 2018).

Este modelo de registro garantiza que la información generada en los diferentes eslabones de la cadena —desde el proveedor de materia prima hasta el consumidor final— sea coherente, verificable y resistente a manipulaciones. En contextos donde la desconfianza interorganizacional es elevada, como en cadenas de suministro globalizadas con múltiples actores, blockchain proporciona una fuente única y confiable de información, eliminando la dependencia de sistemas centralizados o

intermediarios que tradicionalmente concentran el control de los datos (Casino et al., 2019).

Un estudio de Galvez, Mejuto y Simal-Gandara (2018) en el sector alimentario demostró que la implementación de blockchain permite trazar de manera clara y rápida el origen de productos en caso de alertas sanitarias, lo que reduce el tiempo de respuesta ante posibles contaminaciones y mejora la eficiencia de los sistemas de retiro de productos. Este tipo de transparencia también fortalece el cumplimiento normativo y facilita las auditorías de control, al permitir que autoridades regulatorias accedan a registros verificados en tiempo real.

En suma, la mejora de la transparencia y la integridad de los datos no solo genera confianza entre socios comerciales, sino que también habilita nuevas formas de gobernanza colaborativa dentro de las cadenas de suministro, al posibilitar una rendición de cuentas distribuida y documentada digitalmente (Kouhizadeh et al., 2021).

3.1.2. Optimización del seguimiento de productos en tiempo real

La trazabilidad tradicional, basada en documentos físicos, hojas de cálculo o bases de datos aisladas, presenta limitaciones sustanciales para el monitoreo continuo y en tiempo real de los productos. En este sentido, la integración de blockchain con dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) y tecnologías de identificación por radiofrecuencia (RFID) ha transformado radicalmente la gestión del flujo logístico, posibilitando un seguimiento preciso de cada unidad de producto a lo largo de su recorrido (Tian, 2016).

A través del registro automático de variables críticas como la ubicación, temperatura, humedad, presión o condiciones de almacenamiento, los sensores conectados pueden cargar datos de forma autónoma y en tiempo real a una cadena de bloques, asegurando la fidelidad de la información y su disponibilidad inmediata para todos los actores autorizados. Esto no solo reduce los errores humanos y la duplicidad de registros, sino que permite identificar desviaciones operativas y tomar decisiones correctivas con inmediatez (Abeyratne & Monfared, 2016).

Un caso paradigmático es el de la industria farmacéutica, donde la estabilidad de los medicamentos depende en gran medida del mantenimiento de condiciones específicas durante el transporte y almacenamiento. La implementación de blockchain con IoT ha permitido establecer cadenas de frío digitalmente auditables, donde cualquier ruptura en la cadena térmica activa automáticamente alertas e impide la distribución de productos comprometidos, mejorando significativamente la seguridad del paciente (Mackey & Nayyar, 2017).

Además, esta trazabilidad en tiempo real ha mostrado beneficios logísticos y económicos, tales como la reducción de pérdidas por caducidad o deterioro, la mejora en la planificación de rutas de distribución, y el fortalecimiento de sistemas just-in-time. En el sector agrícola, por ejemplo, empresas como IBM Food Trust han

implementado plataformas blockchain que permiten visualizar en minutos el trayecto completo de un producto desde el campo hasta el supermercado, incrementando la eficiencia operativa y la confianza del consumidor (Francisco & Swanson, 2018).

3.1.3 Reducción de fraudes y falsificaciones

El fenómeno del fraude y la falsificación en las cadenas de suministro representa un problema económico y sanitario de escala global. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, se estima que más del 10 % de los medicamentos en países de ingresos bajos y medios son falsificados o de calidad inferior, lo que genera pérdidas millonarias y pone en riesgo la vida de millones de personas. En este contexto, la adopción de blockchain ha surgido como una respuesta tecnológica robusta para establecer mecanismos de verificación de autenticidad a través de trazabilidad digital inviolable (Kshetri, 2014).

Blockchain permite establecer un historial digital completo del producto desde su punto de origen hasta el consumidor final, donde cada transferencia de propiedad, transformación o movimiento es registrada y validada criptográficamente. Esto hace prácticamente imposible insertar productos falsificados sin ser detectados, ya que cualquier ruptura o inconsistencia en la cadena de bloques se manifiesta inmediatamente (Tseng et al., 2018).

Proyectos como MediLedger, desarrollados en Estados Unidos, han demostrado que blockchain puede facilitar el cumplimiento de normativas como la *Drug Supply Chain Security Act*, al permitir rastrear cada envase de medicamento en tiempo real a lo largo de toda la cadena. Esto no solo protege al paciente, sino que reduce significativamente el riesgo reputacional y legal para las empresas farmacéuticas (Mackey & Nayyar, 2017).

Asimismo, en sectores como el de productos de lujo, dispositivos electrónicos o componentes aeroespaciales, donde la autenticidad es clave, blockchain se está utilizando para generar pasaportes digitales únicos e inalterables que certifican el origen, materiales y procesos de fabricación, lo que ha disminuido notablemente el ingreso de productos falsificados al mercado (Saber et al., 2018).

En términos generales, la reducción del fraude mediante blockchain se traduce en un aumento sustancial de la seguridad, eficiencia y legalidad de los sistemas logísticos, representando un avance significativo hacia cadenas de suministro más éticas, resilientes y sostenibles.

3.2. Desafíos para la implementación de *blockchain* en la trazabilidad de la cadena de suministro

3.2.1. Limitaciones técnicas y escalabilidad

La aplicación de *blockchain* en entornos industriales exige sistemas que sean no solo seguros y descentralizados, sino también escalables, interoperables y con baja latencia operativa. Sin embargo, una de las principales limitaciones identificadas en la

literatura científica radica en la capacidad técnica y la escalabilidad de las plataformas blockchain existentes, especialmente en redes públicas como Ethereum o Bitcoin. Estas redes, si bien garantizan seguridad y descentralización, enfrentan serios problemas de rendimiento, dado que su capacidad para procesar transacciones por segundo (TPS) es considerablemente inferior a la demanda de los entornos logísticos contemporáneos (Zheng et al., 2017).

Por ejemplo, mientras Visa procesa más de 24,000 TPS, Ethereum apenas alcanza un promedio de 15 a 30 TPS, lo cual no resulta adecuado para cadenas de suministro globales, donde las interacciones comerciales, logísticas y regulatorias requieren miles de registros simultáneos y en tiempo real. Esta limitación puede provocar cuellos de botella tecnológicos, lo que compromete la utilidad de blockchain como solución para trazabilidad a gran escala (Meng et al., 2022).

Otra dificultad técnica significativa está relacionada con el consumo energético de las plataformas que emplean algoritmos de consenso como *Proof of Work* (PoW), ampliamente criticados por su impacto ambiental. Aunque algunas redes han migrado hacia *Proof of Stake* (PoS) y otros mecanismos más eficientes, estas soluciones aún enfrentan problemas de centralización y no han sido completamente adoptadas en entornos industriales críticos (Li et al., 2018).

Asimismo, la integración de blockchain con sistemas preexistentes como ERP, WMS o plataformas de gestión de inventarios es aún un desafío no trivial. Muchas empresas utilizan infraestructuras legadas (legacy systems) que no fueron diseñadas para comunicarse con arquitecturas distribuidas, lo que obliga a desarrollar interfaces personalizadas y sistemas puente (middleware) que incrementan la complejidad, el tiempo de implementación y los costos (Saber et al., 2018). Esta barrera tecnológica se agrava en contextos donde la conectividad es limitada, o donde la calidad de los datos capturados por dispositivos IoT no es uniforme ni fiable.

3.2.2. Falta de estandarización e interoperabilidad

La ausencia de marcos normativos, estándares técnicos y protocolos interoperables constituye otro de los obstáculos más documentados en la literatura sobre blockchain aplicada a trazabilidad. Actualmente, la mayoría de las soluciones desarrolladas por empresas tecnológicas o consorcios industriales tienden a ser sistemas cerrados, con reglas internas de codificación, estructura de bloques y gobernanza, lo que limita su compatibilidad con otras plataformas o soluciones desarrolladas de manera independiente (Queiroz & Wamba, 2019).

Este problema de interoperabilidad no solo se manifiesta entre distintas plataformas blockchain —como Hyperledger Fabric, Ethereum, Corda o Quorum— sino también entre sistemas empresariales tradicionales y blockchain, dificultando la integración eficiente de flujos de datos. Las diferencias en la representación semántica de los datos, los formatos de transacción y los criterios de validación generan fricciones que impiden una implementación fluida y sinérgica (Perboli et al., 2018).

Además, la falta de estandarización en los modelos de gobernanza dentro de las redes blockchain —por ejemplo, quién puede escribir en la red, cómo se otorgan permisos, cómo se auditan los datos— dificulta el cumplimiento normativo, especialmente en sectores altamente regulados como la industria farmacéutica o la alimentaria. En dichos sectores, los registros digitales deben cumplir requisitos de legalidad, autenticidad, integridad y verificabilidad que, en muchos casos, las redes blockchain no satisfacen por su heterogeneidad de diseño (Treiblmaier & Beck, 2019).

La Organización Internacional de Normalización (ISO), a través del comité técnico ISO/TC 307, ha comenzado a desarrollar estándares para tecnologías de *distributed ledger*, pero su adopción aún es incipiente y no existe una autoridad internacional con poder coercitivo para imponer estándares comunes en este dominio. Esta situación genera un ecosistema fragmentado donde las soluciones blockchain no logran integrarse de forma efectiva a los sistemas existentes ni entre sí, lo que limita su escalabilidad y sostenibilidad a largo plazo (Yoo & Won, 2017).

3.2.3. Barreras organizacionales y económicas

A nivel organizacional, la implementación de blockchain enfrenta resistencias estructurales, económicas y culturales. Uno de los mayores retos es la falta de conocimiento técnico y comprensión estratégica de la tecnología por parte de los altos directivos, quienes muchas veces perciben blockchain como una moda tecnológica, sin comprender su verdadero potencial disruptivo en los modelos de negocio. Esta brecha cognitiva ralentiza las decisiones de inversión y dificulta la articulación de proyectos piloto con visión de largo plazo (Chang et al., 2019).

Por otro lado, los costos de implementación inicial pueden ser elevados, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (pymes) que no disponen de los recursos financieros ni del personal capacitado para llevar a cabo la adopción. Estos costos incluyen no solo la inversión en infraestructura tecnológica, sino también la contratación de expertos, la adecuación de los procesos operativos, la capacitación de los empleados y el mantenimiento de la solución a lo largo del tiempo (Queiroz et al., 2020).

En términos culturales, blockchain introduce un modelo descentralizado y transparente que puede entrar en conflicto con las estructuras jerárquicas y verticales predominantes en muchas organizaciones. El hecho de que los datos sean visibles y verificables por todos los miembros de la red puede generar resistencia interna, particularmente en áreas como finanzas, control de calidad o logística, donde la información ha sido históricamente centralizada y controlada por unidades específicas (Treiblmaier, 2018).

Finalmente, otro obstáculo importante es la falta de claridad jurídica en torno al estatus legal de los registros en blockchain. En muchos países, aún no existen leyes específicas que reconozcan la validez legal de los contratos inteligentes, los sellos de tiempo digitales o los registros distribuidos como evidencia jurídica. Esta incertidumbre

desalienta la inversión y limita el uso de blockchain en aplicaciones críticas como la certificación de origen, el cumplimiento de normativas internacionales y la resolución de disputas contractuales (Mackey & Nayyar, 2017).

4. Discusión

La discusión de los hallazgos expuestos en esta revisión bibliográfica permite una reflexión crítica sobre el papel que desempeña la tecnología *blockchain* en la trazabilidad de las cadenas de suministro contemporáneas, así como sobre las múltiples aristas que condicionan su adopción y funcionalidad. En términos generales, la literatura científica coincide en señalar que *blockchain* constituye una innovación disruptiva con la capacidad de redefinir los mecanismos tradicionales de trazabilidad, al ofrecer un entorno digital distribuido, seguro y transparente, donde la información es inmutable y verificable por todos los actores involucrados (Saber et al., 2018; Francisco & Swanson, 2018). Esta descentralización informativa reduce la asimetría de datos, fortalece la confianza interorganizacional y permite consolidar registros auditables que contribuyen al cumplimiento normativo y a la gestión del riesgo en sectores críticos como la industria alimentaria, farmacéutica y manufacturera.

Uno de los impactos más relevantes identificados es la capacidad de blockchain para mejorar la integridad de los datos a través de su arquitectura criptográfica, que impide la manipulación retroactiva de la información y asegura su trazabilidad a lo largo de toda la cadena logística. Este principio técnico, unido a la posibilidad de integrar sensores IoT y tecnologías de captura de datos automatizada, ha permitido implementar sistemas de seguimiento en tiempo real con un grado de precisión y confiabilidad superior a los modelos tradicionales (Tian, 2016; Abeyratne & Monfared, 2016). En consecuencia, se ha evidenciado una mejora sustantiva en la eficiencia operativa, la capacidad de respuesta ante incidentes y la reducción del fraude, especialmente en aquellos contextos donde la autenticación del origen de los productos es crucial (Kshetri, 2014; Mackey & Nayyar, 2017).

No obstante, esta potencialidad se ve contrarrestada por un conjunto de desafíos técnicos, normativos y organizacionales que obstaculizan la implementación plena y sostenible de blockchain en la trazabilidad. Desde una perspectiva tecnológica, la escalabilidad de las plataformas públicas representa un cuello de botella persistente. La baja tasa de procesamiento de transacciones por segundo, el consumo energético de ciertos algoritmos de consenso y la falta de compatibilidad con infraestructuras empresariales heredadas limitan su aplicabilidad en entornos de alta complejidad logística (Zheng et al., 2017; Meng et al., 2022). Estos retos técnicos no solo incrementan los costos de adopción, sino que también ponen en cuestión la viabilidad operativa de blockchain en redes de suministro con alta frecuencia transaccional y múltiples nodos interdependientes.

Adicionalmente, la carencia de estándares técnicos y normativos ampliamente aceptados dificulta la interoperabilidad entre distintas soluciones blockchain y entre estas y los sistemas empresariales existentes. La fragmentación del ecosistema tecnológico, sumada a la ausencia de marcos regulatorios homogéneos a nivel internacional, genera incertidumbre jurídica y funcional que desalienta su adopción institucional (Perboli et al., 2018; Treiblmaier & Beck, 2019). Esta situación evidencia la necesidad de avanzar hacia modelos de gobernanza interorganizacional y políticas de estandarización que permitan consolidar infraestructuras interoperables, auditables y reconocidas legalmente, especialmente en sectores sujetos a regulaciones estrictas como el sanitario y el alimentario.

Por otra parte, los desafíos organizacionales y económicos son igualmente determinantes en el proceso de adopción. La resistencia al cambio por parte de las estructuras jerárquicas tradicionales, la falta de capital humano capacitado y la percepción de blockchain como una tecnología compleja y de elevado costo limitan su integración efectiva en pequeñas y medianas empresas, que constituyen un eslabón fundamental en la mayoría de las cadenas de suministro globales (Chang et al., 2019; Queiroz et al., 2020). Asimismo, la ausencia de incentivos económicos y de modelos de negocio viables que evidencien un retorno de inversión tangible refuerza la postura escéptica de muchos tomadores de decisiones frente a esta tecnología.

En suma, si bien la literatura científica revisada resalta los beneficios sustanciales que ofrece blockchain para optimizar la trazabilidad en las cadenas de suministro, también expone con claridad los obstáculos estructurales, técnicos y económicos que deben ser superados para lograr una adopción masiva, interoperable y sostenible. La evolución de esta tecnología dependerá en gran medida del desarrollo de soluciones híbridas que combinen blockchain con sistemas existentes, de la promoción de políticas públicas que favorezcan la estandarización y del fortalecimiento de capacidades organizacionales que permitan una implementación efectiva y orientada a resultados concretos. De no abordarse estos aspectos de manera estratégica y coordinada, el potencial transformador de blockchain en el ámbito de la trazabilidad podría verse limitado a casos aislados o pilotos experimentales sin impacto estructural en las cadenas de suministro globales.

5. Conclusiones

La aplicación de la tecnología blockchain en la trazabilidad de la cadena de suministro representa una transformación paradigmática en la manera en que se gestiona, verifica y comparte la información entre los actores involucrados. Esta tecnología ofrece ventajas sustanciales en términos de integridad, transparencia y autenticidad de los datos, contribuyendo a fortalecer la confianza interorganizacional, facilitar el cumplimiento normativo y reducir significativamente los riesgos de fraude y falsificación. La integración de blockchain con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas y los contratos inteligentes permite la automatización de

procesos críticos, el seguimiento en tiempo real de productos y una mayor eficiencia operativa en entornos logísticos complejos.

Sin embargo, el potencial transformador de blockchain se encuentra condicionado por una serie de desafíos que deben ser abordados para garantizar su adopción efectiva y sostenible. Entre ellos destacan las limitaciones técnicas relacionadas con la escalabilidad y el rendimiento de las plataformas, la falta de interoperabilidad entre sistemas, la ausencia de estándares globales, así como las barreras económicas y organizacionales derivadas de la resistencia al cambio, la falta de capacidades técnicas y la incertidumbre regulatoria.

La evidencia recopilada sugiere que, si bien existen casos de implementación exitosa, la adopción generalizada de blockchain en la trazabilidad aún requiere el desarrollo de marcos normativos sólidos, soluciones tecnológicas más eficientes y modelos de gobernanza colaborativa que integren a todos los actores de la cadena. Asimismo, resulta indispensable fomentar estrategias de capacitación, inversión y cooperación multisectorial para superar los obstáculos existentes y maximizar los beneficios que esta tecnología puede ofrecer.

En definitiva, blockchain tiene el potencial de redefinir los estándares de trazabilidad en las cadenas de suministro globales, siempre que su integración sea abordada desde una perspectiva estratégica, técnica y ética, orientada a generar valor compartido, sostenibilidad y resiliencia en los sistemas logísticos del siglo XXI.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abeyratne, S. A., & Monfared, R. P. (2016). Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(9), 1–10. <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001>
- Caicedo-Aldaz, J. C., Urgiles-Solorzano, A. S., & Moreira-Santamaria, M. J. (2022). Análisis del impacto económico de la reducción de precios del sector cacaotero, La Concordia 2019-2021. *Journal of Economic and Social Science Research*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.55813/gaeal/jessr/v2/n1/43>
- Caicedo-Basurto, R. L., & Casanova-Villalba, C. I. (2023). Impacto de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) en la Comparabilidad de los Estados Financieros a través de la Literatura Reciente. *Horizon Nexus Journal*, 1(2), 32-47. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n2/16>
- Casanova-Villalba, C. I. (2022). Desafíos en el crecimiento empresarial en Santo Domingo: Un análisis de los factores clave en el periodo 2021-2022. *Journal of*

- Economic and Social Science Research*, 2(3), 1–12.
<https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v2/n3/53>
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55–81.
<https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
- Chang, S. E., Chen, Y. C., & Lu, M. F. (2019). Supply chain re-engineering using blockchain technology: A case of smart contract based tracking process. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.015>
- Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: Technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1), 2.
<https://doi.org/10.3390/logistics2010002>
- Galvez, J. F., Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2018). Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>
- Herrera-Sánchez, M. J. (2021). Estrategias de Gestión Administrativa para el Desarrollo Sostenible de Emprendimientos en La Concordia. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(4), 56–69.
<https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n4/42>
- Hurtado Guevara, R. F., & Pinargote Pinargote, H. M. (2021). Factores limitantes del crecimiento económico en las PYMES de Quinindé. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(1), 49–60.
<https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n1/20>
- Hurtado-Guevara, R. F., & Casanova-Villalba, C. I. (2022). La Auditoría Forense como Herramienta para la Detección de Fraudes Financieros en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 33-50. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/52>
- Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International Journal of Production Economics*, 231, 107831.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>
- Kshetri, N. (2014). 1 The Emerging Role of Big Data in Key Development Issues: Opportunities, Challenges, and Concerns. *Big Data for Development*, 3–36.
<https://doi.org/10.1177/2053951714564227>
- Li, Z., Wang, W. M., Liu, G., Liu, L., He, J., & Kong, L. (2018). Toward open manufacturing: A cross-enterprises knowledge and services exchange framework based on blockchain and edge computing. *Industrial Management & Data Systems*, 121(2), 253–271. <https://doi.org/10.1108/IMDS-04-2017-0142>
- Mackey, T. K., & Nayyar, G. (2017). A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines. *Expert Opinion on Drug Safety*, 16(5), 587–602. <https://doi.org/10.1080/14740338.2017.1313227>

- Meng, L., Yang, X., Liu, Y., Liu, Z., & Xue, L. (2022). A review of blockchain applications in supply chain management: Current trends and future directions. *Journal of Cleaner Production*, 331, 129961.
- Perboli, G., Musso, S., & Rosano, M. (2018). Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. *IEEE Access*, 6, 62018–62028. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2875782>
- Puyol-Cortez, J. L. (2021). La satisfacción laboral como factor clave para la productividad en las PYMES de Santo Domingo de los Tsáchilas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(2), 50–64. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v1/n2/31>
- Queiroz, M. M., & Wamba, S. F. (2019). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>
- Queiroz, M. M., Telles, R., & Bonilla, S. H. (2020). Blockchain and supply chain management integration: A systematic review of the literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 241–254. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0143>
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2018). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117–2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- Tian, F. (2016). An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. In *2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSSSM.2016.7538424>
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action. *Supply Chain Management: An International Journal*, 23(6), 545–559. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2018-0029>
- Treiblmaier, H., & Beck, R. (Eds.). (2019). *Business transformation through blockchain: Volume I*. Springer.
- Tseng, J. H., Liao, Y. C., Chong, B., & Liao, S. W. (2018). Governance on the drug supply chain via gcoin blockchain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1055. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061055>
- Yoo, S. (2017), "Blockchain based financial case analysis and its implications", *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, Vol. 11 No. 3, pp. 312–321. <https://doi.org/10.1108/APJIE-12-2017-036>
- Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In *2017 IEEE International Congress on Big Data* (pp. 557–564). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85>