

La Industria 4.0 enfocada en tecnología Blockchain¹

Industry 4.0 Focused on Blockchain Technology

Luz Giovanna García Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-1090-392X>

Jeimmy Vanessa Bautista Vallejo² <https://orcid.org/0009-0006-3518-7153>

Gustavo Adolfo Rojas Méndez³ <https://orcid.org/0009-0000-0932-3840>

Ángel Alberto Varón Quimbayo⁴ <https://orcid.org/0000-0003-0643-358X>

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2023

Fecha de aprobación: 13 de agosto de 2024

Resumen

La tecnología Blockchain está transformando la Industria 4.0, emergiendo como una solución evolutiva que promueve la digitalización y la integración de tecnologías avanzadas en las operaciones industriales. Su característica sobresaliente es el uso de criptomonedas como Bitcoin, Ethereum y Cardano, entre otras, que ofrece una amplia gama de beneficios. Blockchain mejora la eficiencia, flexibilidad y productividad, e incrementa así la competitividad en el mercado. Además, garantiza la integridad y seguridad de los datos, lo que genera mayor confianza del consumidor y sostenibilidad del mercado. Uno de los principales desafíos es construir confianza en un entorno altamente interconectado, considerando los diferentes tipos de Blockchain: público, privado, híbrido y federado, que ofrecen versatilidad para adaptarse a las necesidades de cada organización.

Palabras clave: Blockchain, Industria 4.0, criptomonedas, contratos inteligentes.

Abstract

Blockchain technology is transforming Industry 4.0, emerging as an evolutionary solution that promotes digitization and the integration of advanced technologies in industrial operations. A notable feature of Blockchain is not just its association with cryptocurrencies such as Bitcoin, Ethereum, and Cardano, among others, which offers a wide range of benefits. Blockchain improves efficiency, flexibility, and productivity, thus increasing competitiveness in the market. It also ensures data integrity and security, which generates greater consumer confidence and market sustainability. One of the main challenges is to build trust in a highly interconnected environment, considering the different types of Blockchain: public, private, hybrid and federated, which offer versatility to adapt to the needs of each organization.

Keywords: Blockchain, Industry 4.0, cryptocurrencies, smart contracts.

Citar como:

García, L., Bautista, J., Rojas, G. y Varón, A. (2024). La Industria 4.0 enfocada en tecnología Blockchain. *Letras ConCiencia Tecnológica*, (22). DOI

¹ Profesional, Fundación Universitaria del Área Andina, Manizales, Colombia, lgarcia335@estudiantes.areandina.edu.co

² Profesional, Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá, Colombia, jbautista52@estudiantes.areandina.edu.co

³ Profesional, Fundación Universitaria del Área Andina, Girardot, Colombia, grojas55@estudiantes.areandina.edu.co

⁴ Magíster, Fundación Universitaria del Área Andina, Bogotá, Colombia, avaron2@areandina.edu.co

Introducción

La Industria 4.0 representa una etapa de evolución y transformación en la adopción de tecnologías avanzadas, que engloba su digitalización e integración para revolucionar las operaciones industriales (Clavijo, 2021). Esto implica la adopción de tecnologías como el internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de big data y la realidad aumentada (AR), entre otras (Calatayud y Katz, 2019; Mohd et al., 2021).

Esta transformación también afecta la forma en que las empresas desarrollan sus operaciones y se posicionan en el mercado. La digitalización de procesos, la automatización de la producción y el uso de la inteligencia artificial, son algunas de las tendencias que impulsan esta revolución industrial. En ese sentido, Blockchain emerge como un cambio fundamental en el paradigma operativo y competitivo de las organizaciones, atrayendo especial atención al explorar cómo puede contribuir al máximo potencial de la industria (Saucedo et al., 2018).

Uno de los principales desafíos en la Industria 4.0 es asegurar la confianza entre múltiples actores en un ecosistema altamente interconectado (García et al., 2021). En un entorno colaborativo como el de la Industria 4.0, la protección de la propiedad intelectual es crucial (Pouwelse, 2019).

56

Otro aspecto clave de la Industria 4.0 ha sido la automatización de procesos; Blockchain permite una automatización más inteligente a través de contratos inteligentes, que son acuerdos codificados que se ejecutan automáticamente cuando se cumplen ciertas condiciones (García et al., 2021). Estos contratos pueden ayudar a agilizar operaciones y pagos en la cadena de suministro, y facilitar la colaboración entre diferentes partes de manera más eficiente (Fetsyak, 2020).

En este contexto, Blockchain se presenta como una solución que ofrece un libro mayor inmutable y transparente, el cual permite que las transacciones y operaciones se registren de manera confiable (Smith, 2019). La característica central de la cadena de bloques es su capacidad para proporcionar un registro contable distribuido y descentralizado, que almacena de forma segura y transparente registros y eventos, siendo la confianza un factor crucial para el éxito de las transacciones comerciales (Alharby y Van Moorsel, 2017).

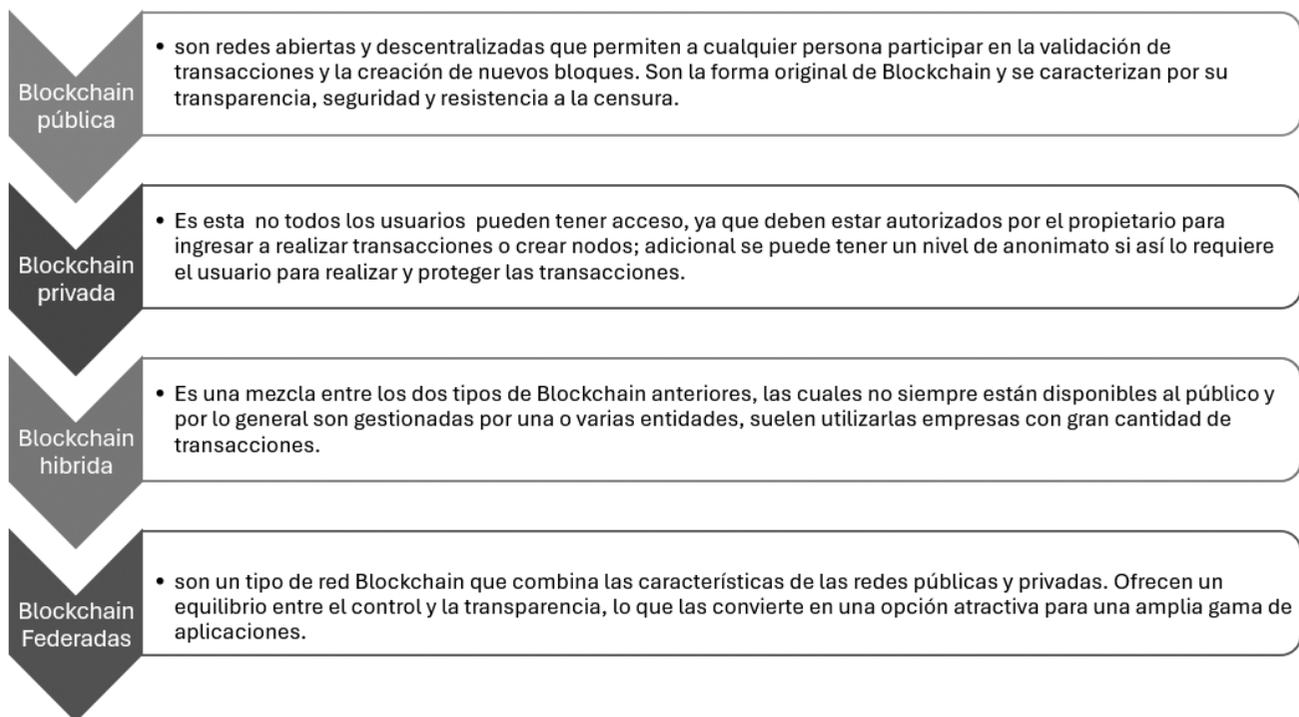
Actualmente, se están utilizando aplicaciones basadas en Blockchain que emplean contratos inteligentes con fines financieros. Estas aplicaciones se utilizan en diversas actividades económicas como el pago de créditos, la cancelación de impuestos, la compra de seguros automotores, las entradas para eventos culturales y otras acciones comerciales, ofreciendo acuerdos equitativos e incentivos que garantizan la privacidad de los usuarios (Salas Ocampo y Alfaro, 2022).

De igual manera, los contratos inteligentes ofrecen beneficios importantes en términos de eficiencia, transparencia y seguridad, en comparación con los métodos tradicionales, facilitando su aceptación en sectores como finanzas descentralizadas (DeFi), comercio electrónico, logística y gestión de propiedades (Zapata, 2023). Para una mejor comprensión es importante aclarar que un contrato inteligente es un acuerdo mutuo entre diferentes partes interesadas, que se ejecuta automáticamente utilizando un algoritmo codificado y donde las transacciones se realizan utilizando criptomonedas (Varón y Mina, 2022).

Blockchain ha demostrado ser una herramienta clave en la transformación digital de las empresas, lo que ha permitido una gestión más eficaz de los procesos, la optimización de recursos y la reducción de costos (Mohd et al., 2021). Esta tecnología

mejora la eficiencia, la flexibilidad y la productividad, lo que incrementa la competitividad en el mercado. Además, su capacidad para garantizar la integridad y seguridad de los datos ha fortalecido la confianza en las transacciones y ha facilitado la colaboración en entornos empresariales cada vez más conectados (Corredor y Díaz, 2018).

La tecnología Blockchain es una de las innovaciones más importantes en los últimos tiempos y presenta diferentes tipos de cadenas de bloques: públicas, privadas, híbridas y federadas. Estos tipos de Blockchain ofrecen diversas ventajas y se pueden adaptar a las necesidades específicas de cada organización, como se muestra en la figura 1.



Nota. Tipos de cadenas de bloques en la tecnología Blockchain a partir de Espinosa (2020) y Varón y Carvajalino (2020).

Figura 1. Tipos de cadenas de bloques de tecnología Blockchain

La capacidad de rastrear cada paso en las cadenas de suministro, desde la producción hasta la entrega al cliente es especialmente valiosa, ya que reduce significativamente el riesgo de fraude (Mohd et al., 2021). Este nivel de trazabilidad incrementa la confianza entre los socios comerciales y en diversos sectores, lo cual fortalece la colaboración y la transparencia en las operaciones (Smith, 2019).

Con relación a lo anterior, García, (2018) afirma que la implementación de la tecnología Block-

chain tiene el potencial de mejorar el seguimiento de las transacciones de un producto, desde su punto de origen hasta su llegada al destino final. Al igual que todas las tecnologías, Blockchain se considera como un gran potencial para revolucionar diferentes sectores de la economía; sin embargo, debe enfrentar retos para poder alcanzar un nivel sobresaliente. Es de resaltar que, se deben tener en cuenta sus ventajas y desventajas, ya que varían según el contexto donde se vaya a implementar, estas se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1

Ventajas y desventajas según los contextos en la implementación de Blockchain

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para brindar seguridad y transparencia en las transacciones; con cada registro inmutable y encriptado, garantiza integridad y confiabilidad (Alharby y Van Moorsel, 2017). • Fortalece la confianza en las operaciones comerciales, desempeñando un papel fundamental en la cadena de suministro al permitir la trazabilidad de productos a lo largo de toda su ruta (García et al., 2021). • Reduce costos en las transacciones, pues elimina la intervención de intermediarios como las instituciones financieras, ya que pueden realizar transacciones directas de forma más eficiente y económica (Pouwelse, 2019). • Además, actúa como una capa de confianza, abordando problemas de interoperabilidad en sistemas y procesos altamente interconectados, lo cual contribuye al fortalecimiento de la seguridad y confidencialidad de la información en un entorno donde la integración de sistemas es fundamental (Pouwelse, 2019). • Minimiza amenazas, suprime las fallas humanas e impulsa la eficiencia, entablando una ampliación de la integridad; además, reduce riesgos fraudulentos (Pacheco, 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se extravía, se olvida o es hackeada la contraseña, no se puede obtener un proceso que solucione este inconveniente, ya que no genera privacidad (Navas et al., (2020). • Consumo excesivo de recursos y la escalabilidad del Blockchain, especialmente, en redes como Ethereum. Aunque ofrece seguridad, la visibilidad de datos para todos los participantes plantea desafíos en entornos donde la privacidad de la información es crucial (Taibo, 2022).

Nota: fuente elaboración propia.

Por otra parte, el Blockchain también proporciona una forma segura y transparente de gestionar y proteger los derechos de propiedad intelectual y autoría, pues al registrar la propiedad intelectual en la cadena de bloques, se evita el robo y la duplicación no autorizada, tanto de activos digitales como de diseños, patentes y contenido creativo (Alharby y Van Moorsel, 2017). Adicionalmente,

el sistema permite la creación de criptomonedas, así como de contratos que se ejecutan automáticamente, tokens criptográficos con valores equivalentes a pertenencias o activos. Además, facilita el desarrollo de servicios emergentes e interés de propiedad. De hecho, los creadores de software se dedican a la implementación de estas aplicaciones (Wright y De Filippi, 2015).

Blockchain es la tecnología subyacente que actúa como la columna vertebral de criptomonedas como Bitcoin, Ether y Cardano, entre otras. Gracias a esta tecnología, se garantiza la transparencia, seguridad y descentralización de las monedas digitales. Además, Blockchain permite la validación de transacciones de manera descentralizada y segura, lo que asegura la integridad de todas las operaciones realizadas con criptoactivos (Cabrera y Lage, 2022).

En este sentido, Bitcoin se considera la red crediticia criptográfica inicial a nivel global, cuyo valor ha crecido notablemente. Aunque esta criptomoneda aún no se legaliza, se ha convertido en una alternativa confiable como activo financiero. Por lo tanto, es importante brindar capacitación para comprender su funcionamiento. La innovación y el crecimiento tecnológico sugieren que el sector financiero cambiará su accionar, ya que las criptomonedas podrían eventualmente sustituir el sistema monetario actual, esto implica la necesidad de adoptar métodos más ágiles y flexibles para incluir Bitcoin en el mercado financiero (Álvarez, 2019).

Metodología

Para llevar a cabo un análisis sobre la integración de Blockchain en la Industria 4.0, se implementó una metodología mixta que adhiere tanto un análisis documental como una valoración cualitativa, por ello, el proceso metodológico se dividió en las siguientes etapas para asegurar una correcta investigación literaria.

En la primera etapa, denominada indagación, se llevó a cabo una búsqueda activa de información relevante en diversas bases de datos especializadas, documentos en línea, páginas web, entre otras; se consideraron un total de 24 artículos y un libro, debidamente referenciados al final de

este documento. Una vez recopilada la información, se procedió a la segunda etapa, denominada revisión y análisis documental, en esta se seleccionaron cuidadosamente los artículos que mencionan el tema que se presenta en este documento, y que los datos mostrados fueran reales o comprobables; así se dio prioridad a aquellos provenientes de fuentes oficiales y reconocidas por su credibilidad.

Por último, en la tercera etapa, llamada emisión de juicios, se realizó un análisis exhaustivo de la información recopilada, durante la cual se generaron conclusiones sobre los temas investigados.

Resultados

Se encontró que los proyectos considerados sobresalientes por organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), evidencian el crecimiento y la aceptación de diversas iniciativas basadas en Blockchain a nivel mundial.

Walmart, una empresa del sector comercio, ha implementado la tecnología Blockchain para mejorar la trazabilidad de los alimentos en su cadena de suministro, enfocándose particularmente en vegetales de hoja verde. Al utilizar la plataforma IBM Food Trust, Walmart puede rastrear el recorrido de los productos desde la granja hasta la tienda, reduciendo el tiempo necesario para rastrear el origen de un producto de varios días a solo unos segundos. Esto mejora significativamente la seguridad alimentaria y la eficiencia operativa. Además, esta tecnología no solo ayuda a identificar rápidamente la fuente de cualquier contaminación, sino que también permite a Walmart retirar productos del mercado de manera más rápida y precisa, en caso de que se presenten problemas (Nalichaev, 2023).

De igual manera, la compañía de diamantes De Beers ha desarrollado la plataforma Tracr, que también utiliza Blockchain para rastrear la procedencia de los diamantes desde la mina hasta los puntos de venta. Este sistema garantiza que los diamantes comercializados sean auténticos y que no provengan de zonas de conflicto, conocidas como “diamantes de sangre”. Tracr permite registrar cada etapa del ciclo de vida de un diamante, asegurando la transparencia y la ética en la obtención de estos valiosos minerales. Al utilizar Blockchain, De Beers proporciona a sus consumidores y minoristas una garantía de la legitimidad y el origen ético de sus productos (Vecdis, 2024).

Por otro lado, Estonia es un país pionero en la integración de Blockchain en su sistema de e-Government. Esta tecnología se utiliza para la administración de diversos servicios públicos, como la gestión de registros médicos, notarías y sistemas de votación. La adopción de Blockchain en Estonia ha incrementado la seguridad y la eficiencia de estos servicios, proporcionando mayor transparencia y reduciendo la posibilidad de fraude. Como resultado, los ciudadanos estonios pueden acceder a sus datos y realizar transacciones de manera segura y eficiente, posicionando a Estonia como un país líder a nivel mundial en gobierno digital (Congreso América Digital, 2024).

Asimismo, VeChain utiliza la tecnología Blockchain para rastrear el proceso de producción y distribución de vinos de lujo desde el viñedo hasta el consumidor final. Cada botella de vino puede ser verificada en cuanto a su origen y autenticidad, en la lucha contra la falsificación de vinos y asegurando que los consumidores reciban productos genuinos y de alta calidad. Además, la trazabilidad mejorada proporciona a los productores y distribuidores una herramienta efectiva para gestionar y optimizar sus cadenas de suministro (BackToLife, 2023).

De manera similar, Everledger ha desarrollado una plataforma Blockchain que permite registrar y rastrear artículos de lujo como relojes y joyas. Este sistema proporciona una prueba de autenticidad y propiedad, que ayuda a combatir la falsificación y facilita la recuperación de artículos robados. Al registrar cada transacción y cambio de propiedad en un libro mayor inmutable, Everledger asegura que los consumidores y minoristas puedan verificar la procedencia y la autenticidad de los productos de lujo, lo que aumenta la confianza en el mercado (Treiblmaier, 2018).

Por su parte, Propy es una plataforma basada en Blockchain que facilita la compra y venta de propiedades inmobiliarias a nivel internacional. Este sistema permite realizar transacciones seguras y eficientes, reduciendo el tiempo y los costos asociados con las transferencias de títulos de propiedad. Al utilizar Blockchain, Propy garantiza la transparencia y la seguridad en las transacciones inmobiliarias, eliminando muchas de las barreras tradicionales en el mercado de bienes raíces y facilitando la inversión extranjera (Tecalis, 2022).

Finalmente, MediLedger utiliza la tecnología Blockchain para mejorar la trazabilidad de los medicamentos a lo largo de la cadena de suministro. Este sistema asegura la autenticidad de los productos farmacéuticos y ayuda a combatir el problema de los medicamentos falsificados. Al proporcionar un registro inmutable de cada etapa del ciclo de vida del producto, MediLedger mejora la transparencia y la seguridad en la cadena de suministro farmacéutica, lo que beneficia tanto a los consumidores como a los proveedores de atención médica (Rojas, 2020).

En Perú, el Ministerio de Trabajo implementó la plataforma Certijoven, donde personas menores de 29 años pueden generar certificaciones de antecedentes penales, judiciales o policiales, así

como títulos académicos y experiencia laboral (Pardo et al., 2023). Por su parte, Bolivia incluye el programa Hambre Cero en Pando, que busca compensar las emisiones de carbono con la reforestación utilizando bonos de carbono forestal respaldados por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Pardo et al., 2023).

Además, el uso de criptomonedas en pagos de bienes y servicios, a pesar de no estar constituidas legalmente, es respaldado por grandes empresas como Microsoft, Overstock.com y Expedia, lo que demuestra su viabilidad y potencial (Vaz y Brown, 2020). Este panorama sugiere un futuro prometedor para las criptomonedas, ya que facilita a los comercios aumentar negociaciones con diferentes medios de pago, teniendo Bitcoin como la de mayor capacidad, al haber registrado en el 2018 un nivel de transacciones de 6.32 mil millones de dólares a nivel global (Álvarez, 2019).

El Banco Asiático de Desarrollo busca establecer una conectividad directa con entidades financieras centrales y consignatarios de capital mediante el uso de Blockchain (Pardo et al., 2023). En el ámbito financiero, el Banco Santander lanzó el primer bono Blockchain con un costo de 20 millones de dólares, marcando un avance significativo para la futura incorporación de valores tokenizados (Pardo et al., 2023).

Building Blocks del Programa Mundial de Alimentos admite incluir varias formas de ayuda derivadas de diferentes entidades por medio de un puerto de entrada único, destinado a miles de bangladesíes y jordanos. Esto se considera la implementación más importante a nivel mundial de tecnología Blockchain para la contribución humanitaria (Pardo et al., 2023).

Adicionalmente, en 2023 se alcanzó un hito significativo en la adopción de contratos inteligentes,

con un registro de 44 millones en diversas plataformas. Esto demuestra claramente el creciente reconocimiento hacia esta tecnología, así como su creciente utilización en sectores como finanzas, cadena de suministro y gestión (Salas Ocampo y Alfaro, 2022).

Así mismo, empresas como IBM, Oracle, Azure o Amazon ofrecen servicios Blockchain en tiempo real con tecnología Cloud para industrias como la alimentaria, la salud, la logística y la agricultura, presentando un gran impacto positivo (Bastida et al., 2021).

Por último, en países como África, el uso de criptomonedas ha ido en aumento, representando el 26 % de la población del continente, lo que sugiere un crecimiento potencial en las transacciones en este tipo de monedas (Sami y Wael, 2022).

Comparativa del Blockchain frente a otras tecnologías

A continuación, se presenta una breve comparativa con 2 de las tecnologías más fuertes de la actualidad, como son la inteligencia artificial (IA) y big data, que cada vez están tomando más fuerza en la cotidianidad debido a su análisis y entendimiento constante de información:

Inteligencia artificial (IA)

La IA añade conocimiento e información a los procesos de toma de decisiones. Blockchain proporciona integridad, seguridad y descentraliza al entorno en el que tienen lugar las transacciones, lo que puede contribuir considerablemente a la mejora de los procesos (Martínez-Polo, 2021).

Un mejor ejemplo, está en el sector financiero, donde la IA se utiliza de manera constante para detectar fraudes en tiempo real, pues tiene una gran capacidad para analizar millones de transacciones

por segundo, y lo que ayuda en gran medida a detectar transacciones sospechosas, pues activa una alerta de posibles actividades de fraude.

Es así como, al implementar Blockchain para el almacenamiento de datos transaccionales, los bancos pueden asegurar la integridad y autenticidad de la información debido a que cada transacción que vaya llegando se va guardando en bloques, y será evaluada por la red de nodos que esta tecnología posee, lo cual, garantiza que la información no puede ser manipulada sin que se detecte alteración en los sistemas. Esto, en comparación de una base de datos tradicional que, sí puede ser manipulada o tener datos erróneos, ya sea por error humano, o por fallas del sistema, es por ello que, implementando Blockchain, se garantiza la integridad y la transparencia en cada dato almacenado.

Blockchain frente a big data

Las tecnologías de big data, utilizan diversas herramientas y técnicas para procesar y analizar datos estructurados y no estructurados, que permiten descubrir patrones, tendencias y relaciones de información que de otro modo podrían pasar desapercibidos para tecnologías menos potentes.

La aplicación big data se basa en la tecnología de trazabilidad, que se ajusta a la cadena de suministro de información de la industria médica. Así, con una integración tecnológica efectiva, la colaboración y el monitoreo constante de los datos procesados puede mejorarse, ahorrando tiempo y esfuerzo (Muheidat et al., 2022).

Un ejemplo de esto, sería aplicado en el sector de la salud, pues la precisión y la integridad de los datos son fundamentales para proporcionar tratamientos efectivos y diagnósticos exactos. Los registros médicos pueden beneficiarse de la integración de Blockchain y big data. Al momento de almacenar los registros médicos en una Block-

chain, se garantiza que los datos sean inmutables y accesibles únicamente por personas autorizadas, protegiendo la privacidad del paciente.

Desafíos en la implementación de Blockchain

La implementación de la tecnología Blockchain ha generado un gran interés en diversas industrias debido a su potencial para mejorar la seguridad, transparencia y eficiencia en las transacciones. Sin embargo, la adopción de esta tecnología también ha enfrentado una serie de desafíos.

Interoperabilidad

Las diferentes redes de Blockchain, no son interoperables entre sí, lo que dificulta el intercambio de datos y activos entre diferentes plataformas. Esto representa un obstáculo significativo para la adopción de Blockchain en entornos industriales, donde se requiere una colaboración fluida entre múltiples actores (Torres, 2024).

Solución

Implementar puentes de cadena de bloques, pues estos permiten la transferencia de activos y datos entre diferentes redes Blockchain (Bravo, 2023).

Seguridad

Si bien las redes Blockchain son esencialmente seguras, existen vulnerabilidades que pueden ser explotadas por actores maliciosos, Por lo que es crucial garantizar la seguridad de estas redes para proteger los datos y activos de los usuarios (Bausa, 2024).

Soluciones

Implementar medidas de seguridad sólidas y robustas como criptografía de clave pública, y autenticación multifactor, para proteger las redes Blockchain. Realizar auditorías de seguridad regularmente para identificar y corregir vulnerabilidades en las redes Blockchain (FasterCapital, s.f.).

Discusión

El uso de la tecnología blockchain ha generado un notable interés en diversos sectores económicos, más allá de los ámbitos financiero y de salud. Esta tecnología ha comenzado a aplicarse en áreas como la gestión empresarial, el derecho y la cadena de suministro de alimentos (Navas et al., 2020). De hecho, se está implementando como una herramienta para monitorear su impacto en la economía de manera tradicional, ganando terreno en diversas organizaciones. Esto ha impulsado la innovación en la creación de servicios y el desarrollo de nuevos productos. Como resultado, ha crecido el número de investigaciones que exploran su aplicación en sectores no convencionales, como la administración y el ámbito legal (Asokan, 2019).

En el ámbito de la Industria 4.0, la integración de Blockchain es un tema de creciente tendencia tanto en el ámbito académico como empresarial. Las aplicaciones web basadas en esta tecnología están ganando importancia, ya que estudios recientes indican un aumento en la cantidad de desarrolladores que trabajan en estas áreas, lo que refleja un creciente interés y reconocimiento del potencial disruptivo de Blockchain para transformar y mejorar procesos industriales y empresariales (Burbach, 2023).

La discusión sobre la integración de Blockchain en la Industria 4.0, no estaría completa sin considerar las ventajas que esta tecnología ofrece. En primer lugar, garantiza la seguridad y transparencia en las transacciones, lo que fortalece la confianza en las operaciones comerciales y facilita la trazabilidad de productos a lo largo de la cadena de suministro (Alharby y Van Moorse, 2017; García et al., 2021).

Las tecnologías de registro distribuido como Blockchain, son ampliamente reconocidas por su capacidad para mejorar la seguridad de los datos

debido a su naturaleza descentralizada y su uso de criptografía robusta (Alharby y Van Moorse, 2017). La inmutabilidad de los registros y la transparencia inherente al Blockchain puede prevenir fraudes y manipulación de datos, garantizando así la integridad de la información a lo largo de la cadena de suministro, sin embargo, esta misma transparencia puede presentar desafíos en términos de privacidad, ya que la información registrada en una cadena de bloques es accesible para todos los participantes en la red.

La confidencialidad es una preocupación crítica, especialmente en industrias que manejan información sensible como la salud y las finanzas; aunque los datos en Blockchain son generalmente encriptados, la estructura pública y transparente de muchas cadenas de bloques puede llevar a la exposición inadvertida de datos personales; los métodos de seudonimización y la implementación de cadenas de bloques privadas o permisionadas pueden mitigar estos riesgos al restringir el acceso a los datos, a un conjunto limitado de participantes autorizados (Xu et al., 2021).

Desde una perspectiva ética, la implementación de Blockchain debe considerar el consentimiento informado de los usuarios cuyos datos serán registrados y compartidos; la naturaleza permanente de Blockchain plantea desafíos únicos para el “derecho al olvido”, un principio clave en la regulación de la privacidad de datos como el reglamento general de protección de datos (GDPR) en Europa (Zwitter y Boisse-Despiaux, 2018). Los desarrolladores y empresas deben diseñar sistemas que equilibren la transparencia y la privacidad, implementando mecanismos que permitan la modificación o eliminación de datos personales cuando sea necesario.

Otro aspecto ético relevante es la posible exacerbación de la desigualdad, pues la implementación

de tecnologías avanzadas como Blockchain puede excluir a aquellos que carecen de acceso a la infraestructura tecnológica o a la educación necesaria para comprender y utilizar estas tecnologías; estos eventos pueden agravar la brecha digital y perpetuar la exclusión social y económica, ya que quienes no puedan adaptarse a estas nuevas herramientas quedarán aún más marginados del desarrollo económico y de las oportunidades sociales (Walch, 2017).

La gobernanza de las cadenas de bloques, y la asignación de responsabilidades, también son temas críticos, dado que Blockchain opera en un entorno descentralizado. La identificación de responsables en caso de fallos o mal uso de los datos puede ser compleja, por lo que las organizaciones deben establecer claros protocolos de gobernanza que definan responsabilidades y aseguren la rendición de cuentas. Estos elementos suelen ser controlados por la comunidad de usuarios, desarrolladores y entidades reguladoras que participan en la red, quienes colaboran para establecer y mantener las reglas que rigen el sistema (Javaid et al., 2021).

Conclusiones

Blockchain ha emergido como una tecnología clave en la transformación digital de la Industria 4.0, ejerciendo un impacto sustancial en la operatividad y competitividad empresarial en el mercado. Sin embargo, para aprovechar al máximo sus ventajas, es necesario abordar los desafíos y obstáculos que aún existen en su implementación, tales como la falta de estándares claros y la necesidad de inversión en capacitación y desarrollo de habilidades.

La creciente importancia de Blockchain en diversas industrias ofrece opciones versátiles para adaptarse a las necesidades específicas de cada organización. Este sistema permite mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro y los proce-

sos de producción al reducir los tiempos de verificación y registro de las transacciones. Además, la naturaleza estable y transparente de Blockchain garantiza la trazabilidad e integridad de los datos, lo que fortalece la confianza en las operaciones comerciales y promueve la colaboración entre diferentes actores.

Finalmente, en los últimos años, Blockchain se ha consolidado como una parte integral de la Revolución Industrial 4.0, con un enfoque centrado en mejorar la eficiencia, la transparencia y la seguridad en diversas áreas. La implementación efectiva de esta tecnología, sin embargo, requerirá superar los retos existentes y adaptarse continuamente a las nuevas demandas del mercado y la evolución tecnológica.

Agradecimientos

Agradecemos sinceramente a la Fundación Universitaria del Área Andina por brindar la invaluable oportunidad de participar en el semillero de investigación como etapa de crecimiento, permitiendo adquirir experiencia y conocimiento en este proceso.

Extendemos nuestro agradecimiento especial al docente líder del semillero, cuya guía y apoyo fueron fundamentales.

Referencias

- Alharby, M. y Van Moorsel, A. (2017). Blockchain-based smart contracts: A systematic mapping study. *arXiv preprint arXiv:1710.06372*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.06372>
- Álvarez Díaz, L. J. (2019). Criptomonedas: evolución, crecimiento y perspectivas del Bitcoin. *Población y Desarrollo*, 25(49), 130-142.

- <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2019.025.49.130-142>
- Asokan, D. R., Huq, F. A., Smith, C. M. y Stevenson, M. (2022). Socially responsible operations in the Industry 4.0 era: post-COVID-19 technology adoption and perspectives on future research. *International Journal of Operations & Production Management*, 42(13), 185-217. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2022-0069>
- BackToLife. (2023, noviembre 3). VeChain: una plataforma blockchain para la industria. *Medium*. <https://medium.com/@BackToLife77/vechain-una-plataforma-blockchain-para-la-industria-b33160bee00a>
- Bastida, M., De La Torre, E. y Hernández, B. (2021). Estudio exploratorio sobre la tecnología blockchain aplicada en cadenas de suministro. *Instituto Mexicano del Transporte*, (646), 1-41. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt646.pdf>
- Bausa, J. A. (2024, abril 6). Blockchain: seguridad y vulnerabilidades. *World Token Congress*. <https://worldtokencongress.com/blockchain-seguridad-y-vulnerabilidades/>
- Bravo, R. J. (2023, august 22). ¿Para qué sirven los puentes o “bridges” en el ecosistema criptográfico? *Cointelegraph*. <https://es.cointelegraph.com/news/what-are-bridges-used-for-in-the-cryptographic-ecosystem>
- Zapata, V. (2023, enero 12). *Bitcoin, Ethereum y el dólar digital: qué pasará en 2023*. iProUP. <https://www.iproup.com/finanzas/47600-bitcoin-precio-dolar-suba-record>
- Cabrera Soto, M. y Lage Codorniu, C. (2022). Criptomonedas: ¿Qué son y qué pretenden ser? *Economía y Desarrollo*, 166(1), e8. <https://doi.org/10.33132/26654644.2023>
- Calatayud, A. y Katz, R. (2019). *Cadena de suministro 4.0: mejores prácticas internacionales y hoja de ruta para América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2022-0069>
- Chen, W., Xu, Z., Shi, S., Zhao, Y. y Zhao, J. (2018). A survey of blockchain applications in different domains. *ICBTA '18: Proceedings of the 2018 International Conference on Blockchain Technology and Application*, 17-21. <https://doi.org/10.1145/3301403.3301407>
- Clavijo, D. P. (2021). *Análisis de la Industria 4.0 en América Latina: caso México y Colombia* [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/items/d03eaafe-fb93-4ff4-8a57-1aaa745362b3>
- Congreso América Digital. (2024, marzo 5). *Conoce e-Estonia, el gobierno más digitalizado del mundo*. <https://congreso.america-digital.com/conoce-e-estonia-el-gobierno-mas-digitalizado-del-mundo/>
- Corredor Higuera, J. A. y Díaz Guzmán, D. (2018). Blockchain y mercados financieros: aspectos generales del impacto regulatorio de la aplicación de la tecnología blockchain en los mercados de crédito de América Latina. *Derecho PUCP*, 81, 405-439. <https://dx.doi.org/10.18800/derechopucp.201802.013>
- Espinosa, S. (2020). *Guía de Referencia de Blockchain para la Adopción e Implementación de Proyectos en el Estado colombiano*. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comu-

nicaciones. https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-161810_Ley_2052_2020.pdf

FasterCapital. (s.f.). *Medidas de privacidad y seguridad de Blockchain*. FasterCapital. <https://fastercapital.com/es/tema/medidas-de-privacidad-y-seguridad-de-blockchain.html>

Fetsyak, I. (2020). Contratos inteligentes: análisis jurídico desde el marco legal español. *Revista Electrónica de Derecho de la Universidad de La Rioja (REDUR)*, (18), 197-236.

García, B., Sánchez, M. A. y Abadia, J. (2021). Herramienta web con tecnología de cadena de bloques para un sistema de facturación electrónica en Colombia. *Información Tecnológica*, 32(3), 15-24. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000300015>

García, E. (2018). Luces y sombras sobre el impacto del blockchain en la gestión de documentos. *Anuario ThinkEPI*, 12, 345-351. <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2018.58>

Javaid, M., Haleem, A., Pratap Singh, R., Khan, S. y Suman, R. (2021). *Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review*. *Blockchain: Research and Applications*, 2(4), 100027. <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2021.100027>

66

Muheidat, F., Patel, D., Tammisetty, S., Tawalbeh, L. A. y Tawalbeh, M. (2022). Emerging concepts using blockchain and big data. *Procedia Computer Science*, 198, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.206>

Navas Bayona, W. I., Loor Zambrano, H. Y. y Amen Chinga, C. R. (2020). La consolidación del blockchain en las empresas como método de pago para sus transacciones. *Revista Investi-*

gación y Negocios, 13(22), 135-144. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2521-27372020000200014&lng=es&tlng=es

Nalichaev, A. (2023, marzo 6). *Blockchain en la cadena de suministro: casos de uso y ejemplos de la industria*. Innowise. <https://innowise.com/es/blog/blockchain-in-supply-chain-use-cases/>

Pacheco Jiménez, M. N. (2019). *De la tecnología blockchain a la economía del token*. *Derecho PUCP*, 83, 61-87. <https://dx.doi.org/10.18800/derechopucp.201902.003>

Pardo, A., Latorre, L., Allende, M., Leal Batista, A., Gutiérrez, M. y Puerto, F. (2023). *Tech Report: Blockchain*. <https://publications.iadb.org/en/tech-report-blockchain>

PolCPP, M. (2021, julio 13). *Inteligencia artificial y blockchain: el yin y el yang de la tecnología*. Ideas PwC. https://ideas.pwc.es/archivos/20161111/inteligencia-artificial-y-blockchain-el-yin-y-el-yang-de-la-tecnologia/?mc_cid=7ff815a377&mc_eid=10f1e55cbb

Pouwelse, J. S. (2019). *Blockchain and the Future of the Internet: predictions, applications and challenges*. Instituto para el Futuro (IFF), Universidad de Nicosia.

Rojas, E. (2020, abril 7). *Día Mundial de la Salud: ¿Blockchain revolucionará la industria médica?* BeInCrypto. <https://es.beincrypto.com/dia-mundial-salud-blockchain-revolucionara-industria-medica/>

Saeed, H., Malik, H., Bashir, U., Ahmad, A., Riaz, S., Ilyas, M. B. y Khan, M. I. A. (2022). *Blockchain technology in healthcare: A systematic*

- review. *PLoS One*, 17(4), e0266462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.026646>
- Salas Ocampo, L. D. y Alfaro Salas, M. (2022). Criptomonedas y su efecto en la estabilidad del sistema financiero internacional: Apuntes para Centroamérica. *Revista Relaciones Internacionales*, 95(1), 33-78. <https://dx.doi.org/10.15359/ri.95/1.2>
- Sami, M. y Abdallah, W. (2022). Does Cryptocurrency Hurt African Firms? *Risks*, 10(3), 53. <https://doi.org/10.3390/risks10030053>
- Saucedo, J., Lara, M., Marmolejo-Saucedo, J., Salais, T. y Vasant, P. (2018). Industry 4.0 framework for management and operations: A review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9. <https://doi.org/10.1007/s12652-017-0533-1>
- Smith, J. (2019). *Blockchain in the Industry 4.0 era: A Comprehensive Survey*. https://www.researchgate.net/publication/340476682_Blockchain_for_Industry_40_A_Comprehensive_Review
- Taibo Escarramán, A. (2022). *Seguridad en la Blockchain de Ethereum: explotación y mitigación de vulnerabilidades modernas en Smart Contracts* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/view/institution/ETSI=5FSistemas=5FInfor/>
- Tecalis. (2022, julio 8). *PropTech y sector inmobiliario: transformando la compraventa de vivienda*. <https://www.tecalis.com/es/blog/proptech-property-technology-que-es-real-estate-inmobiliario-sector-retech>
- Torres, S. (2024, abril 11). *Los desafíos de la interoperabilidad en blockchain*. KeepCoding Bootcamps. <https://keepcoding.io/blog/desafios-interoperabilidad-en-blockchain/>
- Treiblmaier, H. (2018). The impact of the 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>
- Quimbayo, Á. A. V. y Quintero, M. J. C. (2022). Técnicas para desarrollar aplicaciones web a través de Blockchain. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información: RITI*, 10(20), 119-129. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8652901>
- Varón Quimbayo, Á. A. y Mina Hinestroza, Y. M. (2022). *Aplicabilidad de los Smart Contracts*. Documentos de Trabajo Areandina, (2). <https://doi.org/10.33132/26654644.2023>
- Vaz, J. y Brown, K. (2020). Sustainable development and cryptocurrencies as private money. *Journal of Industrial and Business Economics*, XLVII, 163-184. <https://research.monash.edu/en/publications/sustainable-development-and-cryptocurrencies-as-private-money>
- Vecdis. (2024, enero 15). Los diamantes de De Beers y la cadena de suministro 4.0: cómo la IA y el Blockchain revolucionan el sector. *Vecdis*. <https://www.vecdis.es/insights/los-diamantes-de-de-beers-y-la-cadena-de-suministro-4-0-como-la-ia-y-el-blockchain-revolucionan-el-sector/>
- Wright, A. y De Filippi, P. (2015, marzo 10). *Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia*. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=2580664>

Walch, A. (2017). Blockchain's treacherous vocabulary: One more challenge for regulators. *Social Science Research Network*. <https://papers.ssrn.com/abstract=3019328>

Xu, P., Lee, J., Barth, J. R. y Richey, R. G. (2021). Blockchain as supply chain technology: Considering transparency and security. *International Journal of Physical Distribution & Logis-*

tics Management, 51(3), 305-324. <https://doi.org/10.1108/ijpdlm-08-2019-0234>

Zwitter, A. y Boisse-Despiaux, M. (2018). Blockchain for humanitarian action and development aid. *Journal of International Humanitarian Action*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s41018-018-0044-5>

i Artículo de investigación.

