

Análisis del estado de adopción de la tecnología Blockchain en el sector Fintech y otras industrias

Javier Alexander Jiménez Valbuena

Maestrando en gestión de Tecnologías de Información, Universidad Cooperativa de Colombia, Bucaramanga, Javier.jimenezv@campusucc.edu.co

Mariutsi Alexandra Osorio Sanabria

Candidata a Doctora en Ingeniería, Fundación Universitaria María Cano, Medellín, mariutsialexandraosoriosanabria@fumc.edu.co

Gina Paola Maestre Góngora

Doctora en Ingeniería de sistemas, Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, gina.maestre@campusucc.edu.co

Recibido: 25/10/2021 - **Aceptado:** 12/11/2021 - **Publicado:** 10/12/2021

RESUMEN

La tecnología Blockchain permite la gestión segura e inviolable de transacciones financieras, de datos o de cualquier otro tipo, de forma totalmente confiable y no es necesario contar con la presencia de intermediarios en las transacciones. Esto es tener registros sin registradores, pruebas de datos inmodificables, donde dos conceptos cobran esencial importancia: el primero es la identificación digital soberana que ya es usado en Estonia para los ciudadanos y el segundo concepto hace referencia a contratos inteligentes, que consiste en un programa que ejecuta acciones automatizadas de acuerdo a unas condiciones, reduciendo los trámites administrativos. El objetivo principal del presente trabajo es presentar el estado de la aplicación de la tecnología Blockchain en el sector financiero, particularmente Fintech y también otros usos industriales, abarcando las aristas de documentación desde la revisión de literatura, buenas prácticas y casos de uso, buscando la identificación de las brechas actuales que impacte de forma positiva en la mejoría de la adopción tecnológica. Basados en la revisión de literatura se encontró la aplicabilidad que la tecnología Blockchain ha tenido en diferentes sectores como el sector salud, en ingeniería eléctrica, en cadenas de suministros y procesos logísticos, que han mostrado impactos positivos en la reducción de errores presentados en los procesos previos a la implementación de la tecnología, y en el sector financiero el impacto está directamente relacionado con costos, disminuyendo el valor de las transacciones y al mismo tiempo disminuyendo el tiempo cuando estas transacciones se efectúan a nivel internacional.

Palabras clave: Blockchain; Fintech; adopción tecnológica.

ABSTRACT

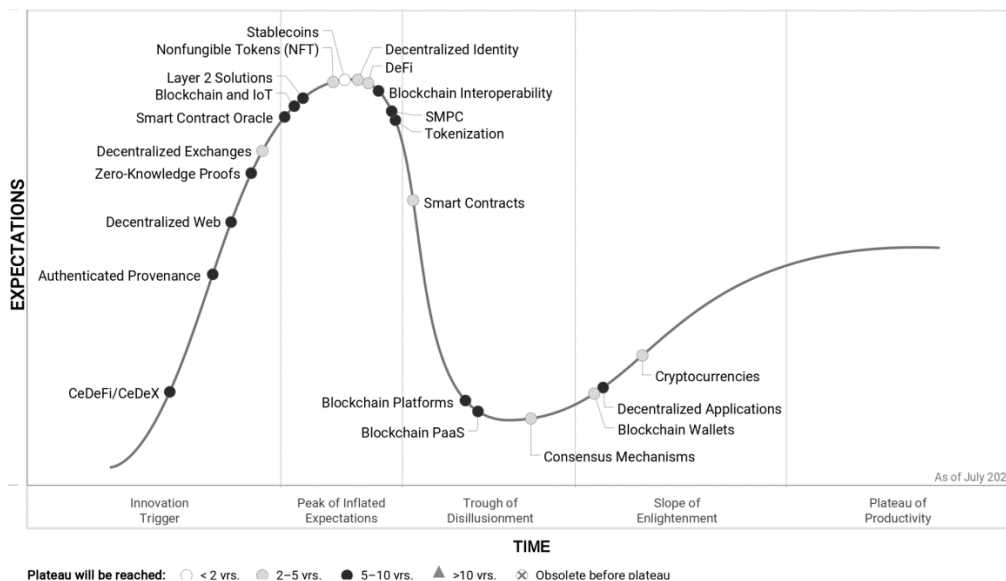
Blockchain technology allows the safe and inviolable management of financial, data or any other type of transactions, in a totally reliable way and it is not necessary to have the presence of intermediaries in the transactions. This is having registries without registrars, proof of unchangeable data, where two concepts become essential: the first is sovereign digital identification that is already used in Estonia for citizens and the second concept refers to smart contracts, which consists of a program that executes automated actions according to certain conditions, reducing administrative procedures. The main objective of this work is to present the state of the application of Blockchain technology in the financial sector, particularly Fintech and also other industrial uses, covering the edges of documentation from the literature review, good practices and use cases, seeking the identification of current gaps that have a positive impact on the improvement of technology adoption. Based on the literature review, the applicability that Blockchain technology has had in different sectors such as the health sector, electrical engineering, supply chains and logistics processes was found, which have shown positive impacts in reducing errors presented in the processes prior to the implementation of the technology, and in the financial sector, the impact is directly related to costs, reducing the value of transactions and at the same time decreasing the time when these transactions are carried out internationally.

Keywords: Blockchain, Fintech, Technology adoption.

1. INTRODUCCIÓN

Blockchain como tecnología ha llamado la atención de todos con la popularidad que alcanzó Bitcoin, a partir de un trabajo publicado originalmente por Satoshi Nakamoto (2008). Es un nuevo paradigma de aplicación de múltiples tecnologías informáticas que incluyen cifrado asimétrico, red distribuida, transmisión de igual a igual, contratos inteligentes, mecanismo de consenso, etc. para crear registros de transacciones permanentes, inmutables, autorizados y con sello de tiempo, lo que le permite establecer confianza mutua a bajo costo en un entorno competitivo de desconfianza sin terceros.

Hype Cycle for Blockchain, 2021



Source: Gartner (July 2021)

747513

Ilustración 1. Ciclo de la tecnología Blockchain en 2021. Fuente: Gartner (2021).

De acuerdo al gráfico presentado por Gartner, se entiende a Blockchain como una tecnología emergente de la cual se espera tenga aplicaciones en distintos ámbitos, a nivel de servicios, comercios e industrias. Sin embargo, no ha logrado tener adopción ampliamente en Colombia, aunque se cuentan con iniciativas lideradas por el gobierno nacional en cabeza del ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, aún se tiene un largo camino por lograr su implementación en el sector empresarial, específicamente en el sector Fintech.

Por tanto, se presenta a continuación el desarrollo del marco teórico, donde se abarcan los principales conceptos asociados a Blockchain, así como la metodología empleada en este trabajo y presentando los hallazgos más representativos encontrados. La aceptación de la tecnología Blockchain y su papel en la industria es un ejercicio de interés de acuerdo con el nivel de disrupción que generaría en los procesos actuales, similar al que están suponiendo tecnologías como inteligencia artificial, robótica o Big data. Los ecosistemas pueden operar con un nivel de confianza mucho mayor. Las redes de Blockchain, al impulsar el movimiento de capitales y el intercambio de valores, pueden cambiar el funcionamiento del mercado y expandirlas oportunidades económicas (Schwab, 2016).

2. MARCO TEÓRICO Y/O ANTECEDENTES

Blockchain o cadena de bloques es una lista en expansión de registros transaccionales irrevocables, firmados criptográficamente, compartidos por todos los participantes en una red. Cada registro se asocia con una marca de tiempo y referencias a transacciones anteriores. Con esta información, si se tiene acceso a la cadena de bloques, se puede rastrear un evento

transaccional, en cualquier momento de su historial, perteneciente a cualquier participante. Blockchain es un diseño arquitectónico del concepto más amplio de libros de contabilidad distribuidos (Ledger distribuido) (Kuo, Kim & Ohno-machado, 2017). Generalmente, un sistema Blockchain consta de una capa de datos, una capa de red, una capa de consenso, una capa de incentivos, una capa de contrato y una capa de aplicación (Swan 2015). La capa de datos encapsula los bloques de datos subyacentes, que incluyen valores hash, marcas de tiempo, información de transacciones, claves públicas y privadas, etc. (Yuan & Wuang, 2018).

La capa de red implica un sistema peer-to-peer (P2P), un mecanismo para la transmisión de datos, un mecanismo de verificación de datos, etc. Blockchain es esencialmente una red P2P. Los recursos y servicios se encuentran dispersos por nodo, y la transmisión de información y la ejecución de los servicios se realizan directamente entre nodos sin la intervención de enlaces intermedios o terceros. Los nodos sincronizan la información a través de la capa de red para mantener los registros toda la red, permitiendo que Blockchain se conecte automáticamente en red (Neudecker & Hartenstein, 2018). La capa de consenso encapsula el algoritmo y el mecanismo de consenso, como prueba de trabajo (PoW, por su sigla en inglés), prueba de participación (PoS, por su sigla en inglés) y prueba de participación delegada (DPoS, por su sigla en inglés) lo que permite que los nodos distribuidos lleguen a un consenso de manera efectiva sobre la validez de los datos de bloque en una red descentralizada.

El mecanismo de consenso mantiene la relación de coherencia entre los nodos. Así se determina quién enviará bloques en el sistema (Yuan & Wang, 2016). La capa de incentivos combina factores económicos, que incluyen principalmente el mecanismo de emisión y distribución de incentivos económicos. En Blockchain autorizadas, no es necesario animar a los nodos a competir por la contabilidad, por lo tanto, el mecanismo de incentivos no existe necesariamente (Xu, Zhang, Zhao & Peng, 2017). La capa de contrato encapsula principalmente varios códigos, algoritmos y contratos inteligentes, que es la base de la programabilidad de Blockchain (Watanabe et al., 2016).

Se puede personalizar incrustando el código en Blockchain o token. El contrato inteligente preestablecido se puede ejecutar automáticamente sin terceros. La capa de aplicación incluye varios escenarios de aplicación y casos prácticos de uso de Blockchain (Glaser, 2017). Varias aplicaciones implementadas en la capa de aplicación enriquecen la ecología de Blockchain.

- **Red Peer to Peer (P2P):** Una red P2P no tiene un servidor central y es una red de descentralizada. P2P es una estructura de red compuesta por múltiples nodos, y cada uno de ellos tiene el mismo estado (Li, Wu & Chen, 2018). Un nodo puede ser servidor o cliente. Las redes P2P se caracterizan principalmente por tener alta escalabilidad, alta robustez y alta privacidad. Los nodos de usuario pueden unirse o salir de la red libremente. Al mismo tiempo, con el aumento del número de nodos, la capacidad de servicio general del sistema Blockchain se mejorará en consecuencia (Eyal, Gencer, Sirer & Van Renese, 2016).

Dado que no existe un servidor centralizado en las redes P2P, un nodo puede actuar como servidor. Incluso si algunos de los nodos son atacados o están fuera de línea, el sistema no se verá afectado (Li, Yu, Huang, Cheng & Shang, 2012). Por lo tanto, la

resistencia a los ataques de redes externas y la tolerancia a fallas de los sistemas Blockchain son significativamente más fuerte que los sistemas tradicionales. Además, como no es necesario un servidor central, se reduce drásticamente el riesgo de filtración o monitorización de la información del usuario (Chae, Shin, Choi, Kim & Choi, 2016). Además, el rendimiento de alto costo y el equilibrio de carga que ofrece la red P2P hacen que el sistema Blockchain funcione mejor que otros sistemas centralizados.

- **Ledger distribuido:** Se puede comprender como un método de registro de datos sin entidades centralizadas para confirmar o almacenar el libro mayor. En los libros de contabilidad distribuidos, los ejecutores controlan la implementación específica del almacenamiento y la confirmación de datos (Kuo et al., 2017). Blockchain es esencialmente una serie de transacciones de registros distribuidos. En los sistemas Blockchain, los libros de contabilidad están distribuidos geográficamente en todos los nodos (Abeyratne & Monfared, 2016). De acuerdo al mecanismo de consenso los nodos se encargan de la restricción y negociación en la actualización de registros. Cada registro está atado a una marca de tiempo y una firma de contraseña única. Este mecanismo también hace que los libros de contabilidad sean auditables para todas las transacciones de la red.
- **Criptografía:** Una cadena de bloques genera confianza con la implementación mecanismo de consenso y la criptografía. Dentro de una cadena de bloques, la criptografía debe incluir un mensaje, clave, cifrado y algoritmo de cifrado/descifrado. El mensaje, es decir, texto sin formato, contiene la información que el remitente/receptor desea mantener en secreto (Kosba, Miller, Shi, Wen & Papamanthou, 2016). El algoritmo de cifrado/descifrado se utiliza para la conversión de mensajes y contraseñas. Para ofrecer garantías respecto a la seguridad del sistema, Blockchain utiliza diferentes tipos de criptografía. La criptografía de clave pública, la función hash, el árbol de Merkel y la prueba de conocimiento cero son criptografía de tipo común dentro del sistema (Feng, He, Zeadally, Khan & Kumar, 2019).
- **Mecanismo de consenso:** tiene como objetivo principal mantener el funcionamiento normal de los sistemas (Baliga, 2017). El mecanismo de consenso resuelve el problema de la coherencia distribuida en entornos que no son de confianza (Cachin & Vokolic, 2017). En los sistemas Blockchain, los nodos que no confían entre sí logran la coherencia de los datos de la transacción a través de un mecanismo de consenso preestablecido y, por lo tanto, se mantiene la estabilidad del sistema. Como aplicación de la tecnología Blockchain en varias industrias, se diseñaron varios algoritmos de consenso para diferentes escenarios de aplicación.
- **Contratos inteligentes:** Los contratos inteligentes en el sistema Blockchain permiten transacciones de credibilidad, que se pueden rastrear y que son irreversibles, sin terceros. Los contratos inteligentes son formulados de manera conjunta por múltiples nodos dentro de los sistemas Blockchain y pueden usarse para cualquier actividad de transacción entre nodos. Los derechos y obligaciones de todos los nodos y las condiciones que desencadenan la ejecución automática del contrato se especifican en

los compromisos. Todos ellos están programados en el contrato inteligente y se subirá a la red Blockchain para que todos los nodos puedan acceder. Los contratos inteligentes se comprobarán periódicamente para detectar la presencia de eventos relevantes y condiciones de activación. Los eventos elegibles se enviarán a la cola para su verificación. Los nodos de verificación en Blockchain primero firman el evento para garantizar su validez.

3. METODOLOGÍA O DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se propone para la realización de este artículo una metodología mixta para un desarrollo exploratorio secuencial. Como base se tuvo la recopilación de más de 120 artículos académicos extraídos de la base de datos Scopus, dentro de los cuales se estructuró la información de acuerdo al tópico de interés para el objeto de este estudio. Esta metodología implica la recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, que se obtienen de la revisión de literatura, para la comparación e integración con el análisis y de esta manera brindar una solución al objeto de estudio (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). Comprendiendo las siguientes etapas:

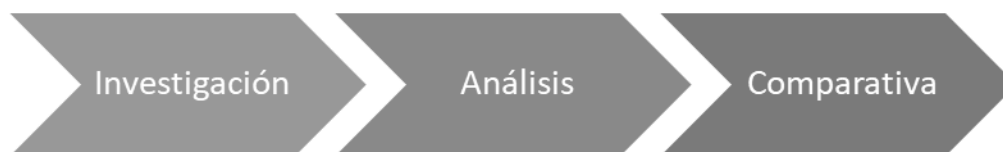


Ilustración 2. Metodología. Fuente: elaboración propia.

- **Investigación:** En esta fase se realizará el proceso de revisión documental, recolección de información de fuentes de las bases de datos científicas para su posterior análisis con lo realizado en términos de adopción y apropiación de tecnología Blockchain en los países líderes de este tema respecto a Colombia.
- **Análisis:** En esta etapa se contempla todas las actividades analíticas en términos cuantitativos y cualitativos que se ha generado de la fase anterior, incluyendo la revisión literaria, las buenas prácticas en el uso de la tecnología Blockchain y los casos de estudio de implementaciones exitosas.
- **Comparativa:** En esta etapa se tiene como consigna establecer las brechas que existen en términos de implementación de tecnología Blockchain, sustentado en las conclusiones de las fases previas abarcando las aristas de avances en normatividad (marco legal), así como avances tecnológicos y en casos de uso.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS O HALLAZGOS

Se han realizado muchos estudios relacionados con Blockchain en varios campos industriales. Entre las aplicaciones de Blockchain en los campos de las finanzas, la cadena de suministro, la atención médica, la energía, la fabricación y la ciudad inteligente:

- **Cadena de suministros:** Kshetri (2018) examinó cómo es probable que Blockchain afecte los objetivos clave de la gestión de la cadena de suministro, como el costo, la calidad, la velocidad, la confiabilidad, la reducción de riesgos, la sostenibilidad y la flexibilidad. Ivanov, Dolgui y Sokolov (2019), consideran Blockchain como una tecnología avanzada de rastreo y seguimiento que puede aumentar la visibilidad y la eficiencia basándose en el mantenimiento de registros en la cadena de suministro. Queiroz y Wamba (2019) investigaron el comportamiento de adopción de Blockchain a nivel individual en India y los EE. UU. El resultado permitió evidenciar que la adopción de la tecnología Blockchain por parte de los profesionales de la logística y la gestión de la cadena de suministro aún está en su etapa más temprana.

Treiblmaier (2018) presentó un marco construido sobre cuatro teorías económicas establecidas, a saber, teoría del agente principal (PAT por su sigla en inglés), análisis de costos de transacción (TCA por su sigla en inglés), vista basada en recursos (RBV por su sigla en inglés) y teoría de redes (NT por su sigla en inglés) para ilustrar cómo las implicaciones de Blockchain sobre SCM se puede investigar desde diferentes perspectivas. Wang, Y., Singgih, Wang, J. y Rit (2019), utilizaron la teoría de la construcción de sentido para explorar cómo la tecnología Blockchain emergente puede transformar las cadenas de suministro.

Min (2019) discutió formas de aprovechar la tecnología Blockchain para mejorar la resiliencia de la cadena de suministro en tiempos de mayores riesgos e incertidumbre. Montecchi, Plangger y Etter (2019), desarrollaron un marco de conocimiento de procedencia y muestra cómo su aplicación puede mejorar las garantías y reducir los riesgos percibidos a través de la aplicación de Blockchain. Los autores también presentaron una guía sobre cómo implementar Blockchain para establecer el conocimiento de procedencia y cerrar con una amable advertencia sobre la importancia de demostrar el valor de Blockchain a los clientes. Cole, Stevenson y Aitken (2019), plantean que Blockchain ayuda a mejorar la seguridad y protección del producto; mejorar la gestión de la calidad; reducir la falsificación ilegal; mejorar la gestión sostenible de la cadena de suministro; avanzar en la gestión y el reabastecimiento de inventarios; reducir la necesidad de intermediarios; impactar en el diseño y desarrollo de nuevos productos; y reducir el costo de las transacciones de la cadena de suministro.

- **Fabricación:** Li, Barenji y Huang (2018) propusieron un marco entre empresas para lograr un mayor nivel de intercambio de conocimientos y servicios en los ecosistemas de fabricación. Los autores creen que los ecosistemas de fabricación se están transformando de la fabricación en red a la fabricación abierta debido a la tecnología Blockchain. además, propusieron una arquitectura de red distribuida de igual a igual que mejora la seguridad y escalabilidad de la fabricación en la nube. Fu, Shu y Liu (2018) propusieron una solución de esquema de comercio de emisiones mejorado Blockchain para la Industria 4.0 y un nuevo sistema de enlace de emisiones para reducir las emisiones. Yin, Bao, Zhang y Huang (2017) propusieron una cadena de bloques de comunicación segura de máquina a máquina para abordar el problema de seguridad de las comunicaciones entre diferentes tipos de máquinas en los sistemas ciber físicos.

Lin, He, Huang, Raymond y Vasilakos (2018) propusieron un marco jerárquico que comprende cuatro capas tangibles, que está diseñado para integrar verticalmente redes de valor interorganizacionales, cadenas de valor de ingeniería, fábricas de fabricación, etc. Los autores también propusieron un sistema de autenticación mutua seguro basado en Blockchain para hacer cumplir Políticas de control de acceso. Kennedy et al. (2017), propusieron un método anti-falsificación basado en Blockchain para cumplir con los requisitos del usuario para verificar la autenticidad de los componentes en la fabricación aditiva. Lee, Y., Lee, K. y Lee, S. (2020), propusieron un servicio de fabricación personalizado con red P2P para fabricantes y clientes que utilizan la arquitectura IIoT basada en Blockchain. La arquitectura consta de un método de evaluación de la reputación, una clasificación de calificación del fabricante y una identificación de evaluador malicioso. Yu, C., Jiang, Yu, S., y Yang (2020) propusieron un marco SharedMfg (BSM) basado en Blockchain para soportar los Cyber Physical Systems (CPS).

Dado que la sociedad con el paso del tiempo se afianza en la era de la Industria 4.0, se están produciendo grandes cambios en la industria manufacturera. Nuevas tecnologías como Internet de las cosas (IoT), fabricación en la nube (CM), inteligencia artificial (AI) y Blockchain están allanando el camino para la fabricación inteligente. Los líderes de la industria como IBM, BMW y Ford están recurriendo a Blockchain para lograr la innovación empresarial para mejorar la eficiencia de sus cadenas de suministro.

- **Sector financiero:** Los autores Guo y Liang muestran una estimación del costo de cada transacción en el negocio internacional donde este se puede reducir en gran medida debido a la aplicación de Blockchain, Ver Figura 17. Suponen que el costo actual de una transacción es de \$26 USD, y con Blockchain esta misma podría reducirse a tan solo \$15 USD. Actualmente, varias instituciones financieras comenzaron a probar transacciones en plataformas Blockchain. Standard Chartered utiliza Ripple, una plataforma Blockchain de nivel empresarial, para realizar su primera transacción internacional. Por ejemplo, la plataforma tardó 10 s en completar un proceso de liquidación que actualmente demora 2 días en completar el sistema bancario y la red (Guo & Liang, 2016). El National Australia Bank (NAB) también ha utilizado la tecnología de contabilidad de Ripple.

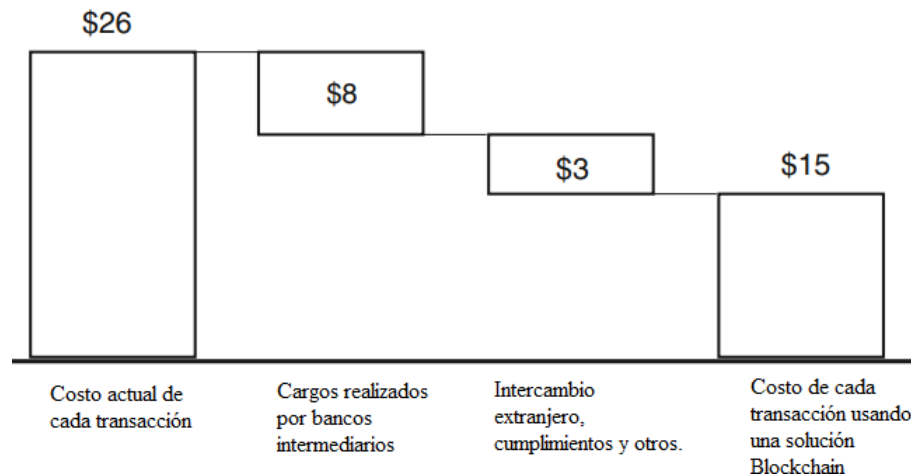


Ilustración 3. Aplicación de la Tecnología Blockchain en pagos internacionales.
Fuente: adaptado de Guo y Liang (2016).

La aplicación de la tecnología blockchain en las finanzas puede ayudar a reducir costos para bancos y empresas de financiamiento comercial. Según el reporte mostrado por los autores Guo y Liang (2016). Mediante la adopción de la tecnología Blockchain se proyecta que los bancos puedan llegar a reducir sus costos operativos en USD 13.5–15 mil millones anuales y el costo del riesgo en USD 1.1–1.6 mil millones anuales. Agregan, que mejoraría la eficiencia de las transacciones garantizando un flujo más fluido de los canales globales de financiación del comercio, lo que aumenta considerablemente ingresos de la cadena comercial general.

5. CONCLUSIONES

La principal conclusión de este trabajo, es la utilidad como un estudio de referencia, dado que ofrece la oportunidad de evaluar el nivel de conocimiento sobre Blockchain y su adopción. Se espera que las definiciones regulatorias del gobierno nacional en Colombia y sus iniciativas sobre la tecnología Blockchain ayuden a impulsar la implementación de esta tecnología en el sector Fintech. Dados los beneficios en términos de ahorro de tiempo y dinero en transacciones nacionales e internacionales, que permitiría la inclusión de más personas al sistema bancario.

La banca tradicional y las Fintech se encuentran en etapas diferentes de la adopción de Blockchain, por una parte, los bancos tradicionales requieren continuar su proceso de digitalización y mantener el cumplimiento de regulaciones exigentes que los lleva a ser moderados al momento de implementar innovaciones, situándose en la fase de inicio del proceso de adopción de Blockchain, con un conocimiento inicial de los actores, la exploración de posibles usos y la definición de una agenda para incorporar la tecnología. En cuanto a las Fintech, sus características de tener base tecnológica, ser disruptivas e innovadoras las ubica en la fase de implementación del proceso de adopción de Blockchain, que cuentan con casos de uso de la tecnología para apoyo en la optimización de sus procesos internos y mejoramiento de su propuesta de valor.

Es importante mencionar que la tecnología Blockchain es nueva Colombia y por lo tanto se requiere más personal calificado y programas de formación académicos que contribuyan al mejoramiento de las competencias y habilidades de los profesionales en las entidades del sector financiero y tecnológico de vanguardia respecto a los temas de impacto a nivel mundial, con la finalidad de lograr un mejor entendimiento de todo el potencial de la tecnología y lograr una participación más activa en su avance y consolidación.

Las entidades responsables de ser reguladores del estado son frecuentemente criticadas por la lenta velocidad con la que se establecen las políticas aplicables, en relación con el ritmo con que las innovaciones y nuevas tecnologías cambian de manera radical los mercados y modelos de negocio. Como una respuesta a este tipo de críticas y poder afrontar el reto de conocer los beneficios y riesgos de las innovaciones financieras, se implementó por parte de la Superintendencia financiera de Colombia el Sandbox regulatorio en el 2018 para ejecutar pruebas de manera controlada los nuevos servicios Fintech en un ambiente monitoreado y excluidos de la normatividad. Esto puede permitir que la adopción de la tecnología Blockchain en las soluciones Fintech se haga con mayor facilidad.

6. REFERENCIAS

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. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Radmehr-Monfared/publication/308163874_Blockchain_Ready_Manufacturing_Supply_Chain_Using_Distributed_Ledger/links/57fe2dde08ae7275640133b0/Blockchain-Ready-Manufacturing-Supply-Chain-Using-Distributed-Ledger.pdf

Baliga, A. (2017). Understanding blockchain consensus models. Recuperado de <https://www.persistent.com/wp-content/uploads/2017/04/WP-Understanding-Blockchain-Consensus-Models.pdf>

Cachin, C., & Vukolić, M. (2017). Blockchain consensus protocols in the wild. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/1707.01873.pdf>

Chae, C. J., Shin, Y., Choi, K., Kim, K. B., & Choi, K. N. (2016). A privacy data leakage prevention method in P2P networks. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 9, 508-519. <https://doi.org/10.1007/s12083-015-0371-x>

Cole, R., Stevenson, M., & Aitken, J. (2019). Blockchain technology: implications for operations and supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(4), 469-483. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2018-0309>

Eyal, I., Gencer, A. E., Sirer, E. G., & Van Renesse, R. (2016). *Bitcoin-ng: A scalable blockchain protocol*. Trabajo presentado en 13th {USENIX} symposium on networked systems design and implementation ({NSDI} 16), Santa Clara, CA, USA.

Feng, Q., He, D., Zeadally, S., Khan, M. K., & Kumar, N. (2019). A survey on privacy protection in blockchain system. *Journal of Network and Computer Applications*, 126, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.10.020>

Fu, B., Shu, Z., & Liu, X. (2018). Blockchain enhanced emission trading framework in fashion apparel manufacturing industry. *Sustainability*, 10(4), 1105. <https://doi.org/10.3390/su10041105>

Gartner. (2021). Hype Cycle for Blockchain 2021; More Action than Hype. Recuperado de <https://blogs.gartner.com/avivah-litan/2021/07/14/hype-cycle-for-blockchain-2021-more-action-than-hype/>

Glaser, F. (2017). *Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for blockchain enabled system and use case analysis*. Trabajo presentado en Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, Hilton Waikoloa Village, Hawái

Guo, Y., & Liang, C. (2016). Blockchain application and outlook in the banking industry. *Financial innovation*, 2(24), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40854-016-0034-9>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6a ed. México: McGRAW-HILL.

Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, 57(3), 829-846. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1488086>

Kennedy, Z. C., Stephenson, D. E., Christ, J. F., Pope, T. R., Arey, B. W., Barrett, C. A., & Warner, M. G. (2017). Enhanced anti-counterfeiting measures for additive manufacturing: coupling lanthanide nanomaterial chemical signatures with blockchain technology. *Journal of Materials Chemistry C*, 5(37), 9570-9578. <https://doi.org/10.1039/C7TC03348F>

Kosba, A., Miller, A., Shi, E., Wen, Z., & Papamanthou, C. (2016, May). *Hawk: The blockchain model of cryptography and privacy-preserving smart contracts*. Trabajo presentado en 2016 IEEE symposium on security and privacy (SP), San Jose, CA, USA.

Kshetri, N. (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>

Kuo, T. T., Kim, H. E., & Ohno-Machado, L. (2017). Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 24(6), 1211-1220. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocx068>

Lee, Y., Lee, K. M., & Lee, S. H. (2020). Blockchain-based reputation management for custom manufacturing service in the peer-to-peer networking environment. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 13, 671-683. <https://doi.org/10.1007/s12083-019-00730-6>

- Li, J., Wu, J., & Chen, L. (2018). Block-secure: Blockchain based scheme for secure P2P cloud storage. *Information Sciences*, 465, 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.06.071>
- Li, R. H., Yu, J. X., Huang, X., Cheng, H., & Shang, Z. (Octubre, 2012). *Measuring robustness of complex networks under MVC attack*. Trabajo presentado en Proceedings of the 21st ACM international conference on Information and knowledge management (pp. 1512-1516).
- Li, Z., Barenji, A. V., & Huang, G. Q. (2018). Toward a blockchain cloud manufacturing system as a peer-to-peer distributed network platform. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 54, 133-144. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.05.011>
- Lin, C., He, D., Huang, X., Raymond, K. K., & Vasilakos, A. V. (2018). BSeIn: A blockchain-based secure mutual authentication with fine-grained access control system for industry 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 116, 42-52. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.05.005>
- Min, H. (2019). Blockchain technology for enhancing supply chain resilience. *Business Horizons*, 62(1), 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.012>
- Montecchi, M., Plangger, K., & Etter, M. (2019). It's real, trust me! Establishing supply chain provenance using blockchain. *Business Horizons*, 62(3), 283-293. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.01.008>
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Recuperado de <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Neudecker, T., & Hartenstein, H. (2018). Network Layer Aspects of Permissionless Blockchains. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(1), 838-857. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/8456488>
- 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>
- Schwab, K. (2016). *La Cuarta Revolución Industrial*. Recuperado de [http://40.70.207.114/documentosV2/La%20cuarta%20revolucion%20industrial-Klaus%20Schwab%20\(1\).pdf](http://40.70.207.114/documentosV2/La%20cuarta%20revolucion%20industrial-Klaus%20Schwab%20(1).pdf)
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. 1a ed. Sebastopol, California: O'Reilly Media, Inc.
- 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*, 23(6), 545-559. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2018-0029>

Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, 211, 221-236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002>

Watanabe, H., Fujimura, S., Nakadaira, A., Miyazaki, Y., Akutsu, A., & Kishigami, J. (2016, January). *Blockchain contract: Securing a blockchain applied to smart contracts*. Trabajo presentado en 2016 IEEE international conference on consumer electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA.

Xu, R., Zhang, L., Zhao, H., & Peng, Y. (Marzo, 2017). *Design of network media's digital rights management scheme based on blockchain technology*. Trabajo presentado en 2017 IEEE 13th international symposium on autonomous decentralized system (ISADS), Bangkok, Thailand.

Yin, S., Bao, J., Zhang, Y., & Huang, X. (2017). M2m security technology of cps based on blockchains. *Symmetry*, 9(9), 193. <https://doi.org/10.3390/sym9090193>

Yu, C., Jiang, X., Yu, S., & Yang, C. (2020). Blockchain-based shared manufacturing in support of cyber physical systems: concept, framework, and operation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 64, 101931. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101931>

Yuan, Y., & Wang, F. Y. (Diciembre, 2016). *Towards blockchain-based intelligent transportation systems*. Trabajo presentado en 2016 IEEE 19th international conference on intelligent transportation systems (ITSC), Rio de Janeiro, Brazil.

Yuan, Y., & Wang, F. (2018). Blockchain and cryptocurrencies: Model, techniques, and applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(9), 1421-1428. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8419306>