Contratos inteligentes a partir de una especificación semiformal, su aplicación en Blockchain

Smart contracts from a semi-formal specification, their application in Blockchain

AUTORES: León Bazan, Yuliana Yohany[1]
Delgado Guerrero, Jonathan Stalin[2]

Dirección para correspondencia: yuliana.leonb@ug.edu.ec
Fecha de recepción: *junio 29, 2024*
Fecha de aceptación: *octubre 15, 2024*
DOI: https://doi.org/10.61154/mrcm.v10i3.3594

RESUMEN

Blockchain es una tecnología emergente que tuvo sus inicios a través del Bitcoin, no obstante, con el paso del tiempo se han efectuado investigaciones donde se aplica esta tecnología en otras industrias a aparte de las financieras. Los smart contracts o contratos inteligentes son programas autoejecutables que permiten ejecutar reglas comerciales y validan las transacciones que se anexan a la red de blockchain. Este documento efectúa una revisión de literatura con el propósito de determinar de manera general las aplicaciones que ha tenido la tecnología blockchain y los contratos inteligentes de tal manera que permita identificar las limitaciones existentes, problemas críticos y áreas potenciales sobre las cuales se pueden efectuar futuras investigaciones. Además, el estudio identifica la problemática más relevante encontrada a través de la revisión de literatura y finalmente, contribuye sugiriendo el marco de trabajo a seguir para abordar la problemática identificada en estudios posteriores.

PALABRAS CLAVE: Tecnología de blockchain; Cadena de bloques; Contratos Inteligentes; Diseño de sistemas; Informática. (Tesauro de la UNESCO)

[1] Ingeniera en Sistemas Computacionales, Magíster en Sistemas de Información Gerencial, Magíster en Gestión de Proyectos, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil. Guayas, Ecuador. E-mail: yuliana.leonb@ug.edu.ec Código ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0198-3673
[2] Ingeniero en Sistemas Computacionales, Magister en Sistemas de Información Gerencial, Magíster en Educación Informática. SENESCYT, Ecuador. E-mail: jonathan.delgadog@info.unlp.edu.ar Código ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0724-3358

ABSTRACT

Blockchain is an emerging technology that had its beginnings through Bitcoin, however, over time, research has been carried out where this technology is applied in other industries apart from financial ones. Smart contracts are self-executing programs that allow business rules to be executed and validate transactions that are attached to the blockchain network. This document carries out a literature review with the purpose of generally determining the applications that blockchain technology and smart contracts have had in such a way as to identify existing limitations, critical problems and potential areas on which future research can be carried out. . Furthermore, the study identifies the most relevant problems found through the literature review and finally, contributes by suggesting the framework to follow to address the problems identified in subsequent studies.

KEYWORDS: Blockchain technology; Blockchain; Smart Contract; Systems engineering; Computer Science. (UNESCO Thesaurus)

INTRODUCCIÓN.

El presente artículo tiene como propósito efectuar una revisión de literatura sobre las aplicaciones y desafíos que presentan la tecnología de blockchain y los contratos inteligentes.

En esta sección abordamos los principales problemas que se han determinado a través de revisión de literatura y la discusión de los diferentes autores.

La tecnología blockchain desde sus inicios estuvo relacionado con el uso de la criptomoneda, posteriormente evoluciona incorporando a la cadena la bloques los contratos inteligentes lo que permite extenderse en áreas como bienes raíces, finanzas, salud, etc. (Swan, 2015; Agbo et al., 2019; Tandon et al., 2020). Actualmente se está incorporando en conjunto con la computación cognitiva, la inteligencia artificial (IA) y el Internet de las Cosas (Angelis & da Silva, 2019; Miao et al., 2020; Park et al., 2019).

A lo largo del análisis se han determinado varios problemas referentes a la tecnología de blockchain y los contratos inteligentes tales como la escalabilidad debido al gran volumen de los datos que se integran a la cadena de bloques proveniente de los dispositivos y sensores de internet de las cosas, hogares inteligentes y ciudades inteligentes(Zhang et al., 2019; Park et al., 2019; Mohanta, Panda y Jena, 2018); los errores de codificación y validación de los contratos inteligentes (Huang et al.,

2019). Las plataformas de desarrollo y ejecución de contratos inteligentes tienen muchas limitaciones; los recursos de aprendizaje en línea y el apoyo de la comunidad son limitados por lo cual las investigaciones futuras como parches automatizados de contratos inteligentes, pruebas del compilador, optimización de código, etc. (Zou et al., 2019).

Singh et al., (2020) propone "introducción de un nuevo lenguaje específico para el desarrollo de contratos inteligentes que soporte completamente el análisis formal y la verificación".

El problema potencial que se analiza en esta revisión de literatura tiene que las limitaciones de código debido a la complejidad de la tarea de traducir las reglas comerciales a los contratos inteligentes lo cual toma bastante tiempo. Además, del esfuerzo redundante al generar diferentes contratos inteligentes similares cuando las reglas comerciales muchas veces son las mismas (Choudhury et al., 2018; Bashir, 2017), la necesidad de razonamiento que permita considerar fuentes externas para ejecutar los contrato (Bambara y Allen, 2018). Además, de la complejidad de la interpretabilidad de los contratos inteligentes lo cual es un desafío para las empresas (Almonacid y Coronel, 2020).

Conocer los dominios de las ciencias de la computación e ingeniería de software donde se han usado la tecnología blockchain y los contratos inteligentes.

ESTADO DEL ARTE

Alharby, Aldweesh y Moorsel (2018) definen a la tecnología blockchain como una base datos distribuida que contiene el historial de las transacciones que se efectúan en la en la red de cadenas de bloques. Todos los nodos de la red tienen una copia de esta base de datos esto permite reducir el riesgo de que un fallo crítico afecte a todo un sistema (Berdik et al.,2021). Según Tapscott y Tapscott (2017) la tecnología blockchain "garantiza la integridad de la información intercambiada entre millones de ordenadores sin necesidad de pasar por terceros". Esto se debe principalmente a que sus registros son inmutables.

Moody's es una agencia de calificación de riesgo que realiza la investigación financiera internacional. Emite de manera anual reportes en donde se evidencia la creciente demanda de aplicación de la tecnología Blockchain dentro de distintas ramas industriales, de manera especial

la financiera, la logística y la seguridad (Porru et al., 2017). En el reporte del año 2019 Moody's estipula la necesidad de creación de estándares para el correcto desarrollo de esta tecnología, con enfoque en la expansión ordenada de su aplicabilidad para todas las industrias donde pueda ser usada (Manning, s. f.).

Los esfuerzos por la aplicación de esta tecnología, que no necesariamente son destinados para fines de monedas digitales, están en la aplicación en industrias donde sea necesaria la verificación y trazabilidad como medidas de seguridad. Los contratos inteligentes facilitan estas tareas por ser un protocolo que anexa la verificación y posibilita la aceptación de transacciones sin intervención de terceros, además de convertir a las transacciones en trazables e irreversibles (Christidis y Devetsikiotis, 2016).

(Szabo,1997) define a un contrato inteligente como un protocolo transaccional informatizado que ejecuta los términos de un contrato. Contempla también que estos no solo pueden captar más tipos de información (como información sensorial no lingüística), sino que son dinámicos. Este dinamismo se explica con la posibilidad de transmitir la información del contrato y ejecutar de cierta manera una toma de decisiones sobre para la cual fue elaborado, las mismas que son tomadas de manera independiente (sin intervención alguna de elementos externos) y de manera automática.

Si bien el término y definición de un contrato inteligente existían antes que Blockchain es a través de esta que se cumple con un principio fundamental de la definición de un contrato inteligente, la no intermediación que implica la descentralización, característica definida como componente principal de una cadena de bloques.

La definición entonces de un contrato inteligente basada en una cadena de bloques se da como una pieza de código que reside en una red de bloques, y se identifica a través de una dirección única. Se pueden escribir en varios lenguajes de alto nivel como Solidity o Serpent y compilados a través de una máquina virtual, como por ejemplo Ethereum Virtual Machine (EVM), y una vez que son compilados, los contratos son cargados a una cadena de bloques para que los usuarios puedan llamar a las funciones en el contrato mediante el envío de transacciones al contrato.

Seguridad en los contratos inteligentes

Los contratos inteligentes los contratos inteligentes se están convirtiendo en componentes cruciales dentro varios sectores como son el sanitario, el inmobiliario, sistemas bancarios, seguros, de

gestión entre otros. Los contratos inteligentes al ejecutarse dentro de las cadenas de bloques son inmutables, verificables y seguros características que permiten sean totalmente auditable (Rahim et al., 2018, Almonacid y Coronel ,2020).

Se han propuestos soluciones que combinan el Internet de las Cosas (IoT) y la tecnología blockchain a fin de proporcionar una versión segura del IoT al almacenar los datos como transacciones en la cadena de bloques(Zhang et al., 2019; Park et al., 2019), además los contratos inteligentes contratos inteligentes en la cadena de bloques garantizan la ejecución de transacciones autónomas de consultas y pagos mediante bitcoin integrada a los diferentes servicios asociados a la las plataformas de ciudades inteligentes (Saghiri et al., 2018).

Agbo, Mahmoud y Eklund (2019) han encontrado publicaciones que muestran que la aplicación de la tecnología blockchain en el ámbito de la salud es adecuada debido a la privacidad y la seguridad de los datos, tal es el caso de las historias clínica electrónica (EMR) donde los contratos inteligentes controlan las autorizaciones y los privilegios de acceso en la red blockchain. Además, debido a la característica de inmutabilidad blockchain garantizan la integridad de los datos que son posteriormente empleados en para los estudios clínicos. En consecuencia, los contratos inteligentes mejoran los a transparencia de los datos en ensayos clínicos.

Escalabilidad

Para incluir datos en la cadena de bloques tras efectuar alguna transacción se registran con firmas criptográficas y se aplican algoritmos de consensos que sirven para como habilitadores claves para incluir los datos la red (Tandon et al., 2020).

Ahmed et al., (2019) indica que a medida que la red se expande la escalabilidad la validación de una transacción o el tiempo en que en los que se alcanzan un consenso es mayor esto se debe a que blockchain tiene un mejor desempeño cuando existen menor cantidad de participante.

Rahim et al. (2018) sustenta que “los contratos inteligentes se ejecutan según los términos bajos los cuales son codificados. Si dos o más partes están de acuerdo con los términos y condiciones del contrato, firman criptográficamente el contrato inteligente y lo despliegan en la red distribuida”. Los términos del contrato dictan la acción a ejecutar en función de las condiciones cumplidas por lo cual una vez que se establezca en la cadena de bloques no podrá ser modificado en principio,

motivo por el cual se debe extrema diligencia y cuidado a la hora de suscribirlos (Rahim et al. ,2018; Valencia, 2019).

La tecnología de blockchain al integrarse a la plataforma de ciudades inteligentes dota de seguridad a los dispositivos, no obstante, la cantidad de datos generados que se integran a la cadena causan que la escalabilidad en el tiempo sea compleja (Zhang et al., 2019; Park et al., 2019).

En la asistencia médica Agbo, Mahmoud y Eklund (2019) indican que el volumen de los datos biomédicos puede causar degradación en el rendimiento e introducir una latencia significativa, además debido a que todos los nodos de una red participen en el proceso de validación existen un retraso significado en el procesamiento y la carga.

Complejidad

Almonacid y Coronel (2020) sustentan que los contratos son el acuerdo de dos o más partes y la relación jurídica, en este sentido debe ser dinámico y debe considerarse la existencia de una oferta, una aceptación, y cláusulas de comportamiento. Esto implica la creación de obligaciones produciendo efectos jurídicos entre las partes. Los contratos inteligentes deben proporcionar a las partes información clara y compresible, de tal forma que se eviten disputas legales (Valencia, 2019).

El contenido y las partes de los contratos son difícil de ser interpretables o identificables por lo cual se convierten en un desafío que las empresas no están preparadas para afrontar (Almonacid y Coronel, 2020).

Ouyang, Yuan y Wang (2020) propuso la aplicación de inteligencia artificial (IA) para analizar la ejecución lógica de los contratos inteligentes distribuidos a través de los roles participantes, organizadores, formadores, verificadores y mineros. Los participantes emplean una clave pública y una clave privada para registrase a la cadena. El organizador es responsable de establecer los requisitos del proyecto, deposita en contratos inteligentes antes de liberar las tareas de aprendizaje y puede seleccionar a los formadores. Los formadores denotados cumplen los requisitos preestablecidos evalúa los modelos entrenados. Los verificadores presentan la evaluación en la red blockchain, y obtiene recompensas según los tiempos de validación. Los mineros se encargan de verificar las transacciones empaquetar los bloques de datos y actualizar el blockchain. Todos los participantes pueden servir como mineros. No obstante, este proceso de los contratos inteligentes sólo encapsula las relaciones y los mecanismos de colaboración que el trabajo principal de

computación se realiza fuera de la cadena. Finalmente, Ouyang, Yuan y Wang (2020) comenta que "la inteligencia de los contratos inteligentes para hacer frente a tareas dinámicas y complejas en los ámbitos del transporte, energía, fabricación social, etc. Se trata de un tema crucial en el que la investigación es escasa o nula".

Choudhury et al., (2018) comentan que, si bien los contratos inteligentes automatizan una lógica empresarial que es compleja al incorporar, verificar y hacer cumplir las cláusulas contractuales, el traducir dichas cláusulas a los contratos inteligentes es una tarea desafiante y que puede tomar bastante tiempo. Además, se debe considerar el esfuerzo redundante al generar diferentes contratos inteligentes similares debido a que las reglas comerciales muchas veces se reutilizan.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

(Wright y De Filippi, 2015) discuten sobre la consideración de que un contrato inteligente aplicado al aspecto judicial debería, bajo ciertas circunstancias, no ser algo tan automático, sino que también considere cierta flexibilidad a manera de una toma de decisión realizada desde un punto de vista más humanista. Se debate como un problema ya que la definición misma de un contrato inteligente contempla su ejecución automática y descentralizada una vez que los criterios de ejecución se hayan dado.

Bashir (2017) en su libro Mastering Blockchain, levanta otro debate sobre el uso de un contrato inteligente como un contrato común (físico), aunque usan términos y bases similares, su contexto de despliegue son distintos. Un contrato inteligente puede ser visto por un usuario no técnico como algo que tiene código para computadoras pero que se fundamenta en un contrato físico. El mismo autor levanta un dilema, ¿cómo los contratos inteligentes podrían ser entendibles, por ejemplo, para una corte?. Este dilema abre una brecha de discusión entre un contrato inteligente para una cadena de bloques y cómo este puede ser utilizado en el mundo real. Se puede plantear una necesidad de desarrollo de contratos inteligentes que se basen en contratos físicos pero que a su vez puedan ser usados en una cadena de bloques y ser entendidos por un usuario no técnico. Esto involucraría crear contratos inteligentes a partir de contratos escritos usando lenguaje natural hacia algún lenguaje específico de programación pero que tenga la capacidad de volver a ser refactorizado como lenguaje natural para ser comprendido en ambiente no estrictamente técnico.

Por su parte (Huang et al., 2019) menciona como prometedora las futuras investigaciones sobre la implementación de contratos inteligentes mediante un lenguaje formal específico con una semántica explícita de alto nivel de tal forma que los desarrolladores podrían escribir plantillas de contrato donde su pueden indicar acuerdos legales y códigos ejecutables en los contratos inteligentes evitando la codificación manual que es propensa a errores y eliminando de esta manera los principales problemas de seguridad.

Existen trabajos relacionados hacia la descripción de contratos usando lenguaje natural que combina el lenguaje de programación y el lenguaje natural a través de términos relacionados e implementados en un lenguaje de etiquetas, por ejemplo, LKIF (Legal Knowledge Interchange Format) (Gordon, 2010).

Si bien es una aproximación a la necesidad de crear contratos inteligentes que sean entendidos por un bloque y por un usuario no técnico, el desarrollo de este se lo basa sin la inclusión de lógica de negocio que es otro caso particular de una entrada que puede ser usada en un contrato inteligente para tomar una decisión. Por ejemplo, en un contrato físico de un servicio bancario se puede estipular que una regla se ejecuta al momento de completar un monto. En este ámbito una cuenta bancaria puede inactivarse cuando no se cumpla con el "monto mínimo estipulado por la Super Intendencia de Bancos". Al no ser un valor determinista que conste de forma estática en el contrato físico, para que el contrato inteligente ejecute su regla necesita conocer cuál es ese valor. Una solución podría ser recuperar ese valor desde una base de datos, que sea ingresada por un usuario o que sea tomada desde una API de la institución que regula el monto; que no necesariamente se define como parte del contrato, pero es considerado como una lógica o regla de negocio.

(Bambara y Allen, 2018) consideran a lo mencionado en el párrafo anterior como un reto que es identificado como "limitación del código". Enuncian la posibilidad de que un contrato inteligente no siempre se comportará como el resultado de la ejecución de instrucciones de flujo de control, sino que pueden tener ciertas partes que sen vean en la necesidad de usar algún razonamiento que permita considerar fuentes externas para ejecutar un contrato.

En el trabajo de revisión sistemática de artículos orientados a la aplicación de la tecnología Blockchain realizada por (Yli-Huumo et al., 2016) se evidencia la lectura de 41 trabajos (orientados a la tecnología) donde un 80% se enfoca en bitcoins (Daniel et al.,2017) y las criptomonedas y apenas un 20% se direcciona hacia otras aplicaciones de la mencionada tecnología. Son

recomendadas también las direcciones de las futuras investigaciones con enfoque en la aplicación de la escalabilidad, rendimiento; esto debido a que la mayoría de los trabajos únicamente se enfocan en la aplicación de la tecnología a nivel de seguridad de la información dejando a un lado su posible aplicación en otras áreas como los contratos inteligentes.

En el trabajo de Porru et al., (2017) se define el término Blockchain-oriented Software (BOS) como aquel software que aplica la tecnología blockchain. En este artículo se relacionan los beneficios de la tecnología en mención junto con su potencial aplicación en el área de Software con base en el documento de referencia para la ingeniería de software SWEBOK. Así mismo se identifican trabajos futuros relacionados a: Testing, Collaboration, Enhancement of testing and debugging, Creation of software tools for smart contract languages.

(Lin y Liao, 2017) menciona el crecimiento de la aplicación de la tecnología blockchain en algunas industrias y su impacto sobre algunas, en especial la financiera. Estipula además la necesidad de relacionar la tecnología blockchain a nuevos usos basándose en los estudios y esfuerzos actuales con mayor concentración en la seguridad y la criptografía. Adiciona también el esfuerzo de los Gobiernos por reglamentar el uso de esta tecnología y cómo esto podría presentar inconvenientes con el ánimo de considerarlo al momento de la investigación.

En el trabajo (Porru et al., 2017) se hace uso del término "Blockchain-oriented Software Engineering" como un enfoque nuevo de esta tecnología direccionada a la necesidad de realizar investigación de su aplicación dentro de la ingeniería de software, de manera especial en el desarrollo y las pruebas de validación interna. Adicionalmente nos propone como trabajos futuros realizar investigaciones dentro de todas las etapas de desarrollo tradicional de software, así como la necesidad de establecer modelos y frameworks que regulen y potencien la aplicación de esta nueva tecnología en el área de la ingeniería de software. En el mismo contexto proponen la creación de herramientas de software para los lenguajes de los contratos inteligentes con un enfoque hacia la implementación de lo definido como Smart Contract Devlopment Environments (SCDEs), hace también notar la necesidad de implementar herramientas de test sobre los lenguajes específicos que son usados para el desarrollo de contratos inteligentes.

CONCLUSIONES

Con el fin de tratar a la problemática planteada en el presente estudio se buscará definir reglas para la elaboración de una especificación preliminar de contratos inteligentes usados en una cadena de bloques, a partir de entradas determinadas de forma textual.

La investigación iniciará con un enfoque cualitativo con énfasis en la revisión de literatura con los temas de investigación:

- Ingeniería de Software: revisión de los aspectos relevantes a la ingeniería de software y el papel de la ingeniería de requisitos en las siguientes fases/etapas de la ingeniería de software.
- Ingeniería de requisitos: revisión de estándares, evaluación de mecanismos, metodologías más usadas.
- Principales técnicas de análisis de lenguaje natural, su aplicación y su enfoque en la obtención de información.
- Aplicación de la tecnología Blockchain en la Ingeniería de Software con enfoque en Blockchain-oriented Software (BOS).
- Manejo de los contratos inteligentes: lenguajes de definición, reglas, modificadores, métodos y su aplicación dentro de la cadena de bloques.
- Metodologías de evaluación de requerimientos

Esta revisión se hace necesaria para poder conocer más detalles acerca de los retos en el diseño de reglas para los contratos inteligentes que hagan uso de entradas como el lenguaje natural y lógica/reglas de negocio. La misma también servirá para poder formular el problema y hallar datos, principios, leyes o técnicas existentes que puedan contribuir a la resolución del problema. Luego de conocer sobre los temas de investigación se procederá con la etapa de análisis de diseño de estrategias para la definición preliminar de reglas que puedan ser usadas en los contratos inteligentes. Para realizar este diseño serán desarrolladas las tareas de experimentación mediante un caso de estudio, donde se haga necesaria la aplicación de técnicas de levantamiento de requerimiento para comprender el dominio de una problemática del mundo real (donde sea aplicable los contratos inteligentes) con el objetivo de que a partir de estas se infieran las reglas

que serán parte de un contrato inteligente. Finalmente, las reglas ya generadas serán presentadas al experto (dueño del producto) para realizar una validación externa. Una vez culminado con el diseño de la elaboración de una especificación preliminar de contratos inteligentes usados en una cadena de bloques, se realizarán pruebas de medición de impacto del diseño planteado. Se seleccionarán técnicas y herramientas de pruebas relacionadas a la experimentación en la ingeniería de software.

La etapa final comprende a la documentación de lo ejecutado anteriormente en conjunto con las conclusiones, recomendaciones y futuros trabajos relacionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agbo, C. C., Mahmoud, Q. H., & Eklund, J. M. (2019). Blockchain technology in healthcare: a systematic review. In Healthcare (Vol. 7, No. 2, p. 56). Multidisciplinary Digital Publishing Institute

Ahmed, M., Elahi, I., Abrar, M., Aslam, U., Khalid, I., & Habib, M. A. (2019). Understanding blockchain: Platforms, applications and implementation challenges. In Proceedings of the 3rd International Conference on Future Networks and Distributed Systems (pp. 1-8).

Alharby, M., Aldweesh, A., & van Moorsel, A. (2018). Blockchain-based smart contracts: A systematic mapping study of academic research (2018). In 2018 International Conference on Cloud Computing, Big Data and Blockchain (ICCBB) (pp. 1-6). IEEE.

Almonacid Sierra, J. J., & Coronel Ávila, Y. (2020). Aplicabilidad de la inteligencia artificial y la tecnología blockchain en el derecho contractual privado. Revista de Derecho Privado (0123-4366), 38, 119–142.

Angelis, J., & da Silva, E. R. (2019). Blockchain adoption: A value driver perspective. Business Horizons, 62(3), 307-314.

Choudhury, O., Dhuliawala, M., Fay, N., Rudolph, N., Sylla, I., Fairoza, N., ... & Das, A. (2018). Auto-translation of regulatory documents into smart contracts. IEEE Blockchain Initiative,(September), 1-5.

Christidis, K., y Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. IEEE Access, 4, 2292–2303.

Bambara, J. J., y Allen, P. R. (2018). Blockchain. McGraw-Hill Education.

Bashir, Imran. (2017). Mastering blockchain. Packt Publishing Ltd.

Berdik, D., Otoum, S., Schmidt, N., Porter, D., & Jararweh, Y. (2021). A survey on blockchain for information systems management and security. Information Processing & Management, 58(1), 102397

Daniel, J., Sargolzaei, A., Abdelghani, M., Sargolzaei, S., y Amaba, B. (2017). Blockchain technology, cognitive computing, and healthcare innovations. *J. Adv. Inf. Technol*, *8*(3).

Gordon, T. F. (2010). An Overview of the Legal Knowledge Interchange Format. In International Conference on Business Information Systems (pp. 240-242). Springer, Berlin, Heidelberg.

Huang, Y., Bian, Y., Li, R., Zhao, J. L., & Shi, P. (2019). Smart contract security: A software lifecycle perspective. *IEEE Access*, *7*, 150184-150202.

Lin, I.C., & Liao, T.C. (2017). A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges. IJ Network Security, 19(5), 653–659.

Manning, Landon. (s. f.). Moody's Predicts Blockchain Standardization Likely by 2021. Recuperado de https://www.nasdaq.com/articles/moodys-predicts-blockchain-standardization-likely-by-2021-2019-09-16.

Miao, Y., Song, J., Wang, H., Hu, L., Hassan, M. M., & Chen, M. (2020). Smart Micro-GaS: A Cognitive Micro Natural Gas Industrial Ecosystem Based on Mixed Blockchain and Edge Computing. IEEE Internet of Things Journal, 8(4), 2289-2299.

Mohanta, B. K., Panda, S. S., & Jena, D. (2018). An overview of smart contract and use cases in blockchain technology. In 2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1-4). IEEE.

Ouyang, L., Yuan, Y., & Wang, F. Y. (2020). Learning Markets: An AI Collaboration Framework Based on Blockchain and Smart Contracts. IEEE Internet of Things Journal.

Park, Jh., Salim, MM, Jo, JH y col. CIoT-Net: una arquitectura de red de ciudad inteligente basada en IoT cognitivo escalable. Tararear. Centavo. Computación. Inf. Sci. 9, 29 (2019). https://doi.org/10.1186/s13673-019-0190-9.

Porru, S., Pinna, A., Marchesi, M., y Tonelli, R. (2017). Blockchain-oriented software engineering: challenges and new directions. Proceedings of the 39th International Conference on Software Engineering Companion, 169–171. IEEE Press.

Rahim, S. M., Mohamad, Z. Z., Bakar, J. A., Mohsin, F. H., & Isa, N. M. (2018). Artificial intelligence, smart contract and islamic finance. Asian Social Science, 14(2), 145.

Saghiri, A. M., Vahdati, M., Gholizadeh, K., Meybodi, M. R., Dehghan, M., & Rashidi, H. (2018). A framework for cognitive Internet of Things based on blockchain. In 2018 4th International Conference on Web Research (ICWR) (pp. 138-143). IEEE.

Singh, A., Parizi, R. M., Zhang, Q., Choo, K. K. R., & Dehghantanha, A. (2020). Blockchain smart contracts formalization: Approaches and challenges to address vulnerabilities. Computers & Security, 88, 101654.

Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a new economy. " O'Reilly Media, Inc.".

Szabo, N. (1997). Formalizing and securing relationships on public networks. First Monday, 2(9).Vallejo, P., Mazo, R., Jaramillo, C., y Medina, J. M. (2020). Towards a new template for the specification of requirements in semi-structured natural language. Journal of Software Engineering Research and Development, 8, 3-1.

Tandon, A., Dhir, A., Islam, N., & Mäntymäki, M. (2020). Blockchain in healthcare: A systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. Computers in Industry, 122, 103290.

Tapscott, D., & Tapscott, A. (2017). La revolución blockchain. Descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global. Ediciones Deusco. Segunda edición.

Valencia Ramírez, J. (2019). Contratos inteligentes. Revista de Investigación en Tecnologías de la Información, 7(14), 1-10. Recuperado de https://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/180

Wright, A., y De Filippi, P. (2015). Decentralized blockchain technology and the rise of lex cryptographia. Available at SSRN 2580664.

Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., y Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology?a systematic review. PloS one, 11(10), e0163477.

Zhang, X., Wang, H., Shi, P., & Fu, X. (2019). LS4BUCC: A Low Overhead Storage Architecture for Blockchain Based Unmanned Collaborative Cognition System. In 2019 IEEE International Conference on Service-Oriented System Engineering (SOSE) (pp. 221-2215). IEEE.

Zou, W., Lo, D., Kochhar, P. S., Le, X. B. D., Xia, X., Feng, Y., & Xu, B. (2019). Smart contract development: Challenges and opportunities. IEEE Transactions on Software Engineering.

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).