

Convergencia de las Tecnologías 5G, Internet de las Cosas y Blockchain en Aplicaciones Empresariales: Un Estudio de Mapeo Sistemático

Evelyn Adriana Quinapallo Loma¹

eaquinapallo@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0006-7965-3152>

Universidad de las Fuerzas Armadas
Ecuador

Verónica Paulina Tintín Perdomo

vtintin@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0326-1022>

Departamento de Ciencias de la
Computación
Universidad de las Fuerzas Armadas
Ecuador

RESUMEN

Las tecnologías 5G, Internet de las cosas (IoT) y Blockchain han ido evolucionando para facilitar la vida de las personas y para que las empresas e industrias a través de plataformas seguras puedan desarrollar o potenciar sus productos y servicios; sin embargo, a pesar de los avances en estas tecnologías y otras tecnologías de vanguardia, aún no ha sido posible su despliegue masivo y su aplicabilidad en la industria. El objetivo de este estudio es dar una visión general de cuáles son los campos de aplicación en empresas o industrias donde 5G, IoT y Blockchain se implementen de manera combinada a través de un mapeo sistemático de literatura que determine la cantidad, las características y el impacto de los estudios primarios publicados. La búsqueda se realizó en las bases de datos de IEEE, Springer, Web of Science y ACM donde se identificaron 16 estudios que cumplen los criterios de inclusión y exclusión, en los cuales se evidencia los campos de aplicación de las tecnologías mencionadas, y muestran principalmente propuestas de solución a los problemas de seguridad, autenticación e identificación de dispositivos IoT sobre redes 5G. La evolución de 5G, IoT y Blockchain en combinación está cambiando de forma radical los distintos sectores empresariales y este estudio puede ser útil para que la comunidad científica pueda orientar las futuras investigaciones a desarrollar nuevas propuestas de implementación en las áreas menos investigadas.

Palabras clave: *blockchain; 5G; internet de las cosas; seguridad.*

¹ Autor principal.

Correspondencia: eaquinapallo@espe.edu.ec

Convergence of 5G, Internet of Things and Blockchain Technologies in Enterprise Applications: A Systematic Mapping Study

ABSTRACT

5G, Internet of Things (IoT) and Blockchain technologies have been evolving to make people's lives easier and for companies and industries through secure platforms to develop or enhance their products and services; however, despite the advances in these technologies and other cutting-edge technologies, their mass deployment and applicability in the industry has not yet been possible. The objective of this study is to give an overview of what are the fields of application in companies or industries where 5G, IoT and Blockchain are implemented in combination through a systematic literature mapping that determines the quantity, characteristics and impact of published primary studies. The search was conducted in the IEEE, Springer, Web of Science and ACM databases where 16 studies were identified that meet the inclusion and exclusion criteria, in which the fields of application of the mentioned technologies are evidenced, and mainly show proposed solutions to the problems of security, authentication and identification of IoT devices over 5G networks. The evolution of 5G, IoT and Blockchain in combination is radically changing the different business sectors and this study may be useful for the scientific community to guide future research to develop new proposals for implementation in less researched areas.

Keywords: *blockchain; internet of things; 5G; security.*

Artículo recibido 30 julio 2023

Aceptado para publicación: 30 agosto 2023

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los recientes avances en IoT, blockchain, big data, inteligencia artificial y otras tecnologías de vanguardia todavía tienen dificultades para el despliegue masivo y la fructificación real del trabajo conjunto en la industria (R. XUE et al., 2020), hasta el momento, la dependencia del IoT a una arquitectura central presenta numerosos retos, como la seguridad, el mantenimiento de los dispositivos inteligentes, la privacidad debidos a la participación de terceros y los cálculos masivos realizados por una entidad central, impide su adopción generalizada en las empresas. El enfoque distribuido y descentralizado que sigue blockchain podría ofrecer soluciones interesantes a los retos que plantea la IoT, y se espera que las redes 5G ofrezcan excelentes soluciones para satisfacer las demandas de los sistemas descentralizados, centrándose en las vulnerabilidades específicas de las aplicaciones (M. Kaur et al., 2022).

Por otro lado, es evidente que la red celular 5G se está convirtiendo en la tecnología de comunicación preferida en los despliegues de la Internet de las cosas (IoT), de tal forma que hay varias áreas en IoT sobre la red celular 5G, donde hay margen para nuevas mejoras como el desarrollo de mecanismos de seguridad eficientes para la autenticación de los dispositivos IoT de forma descentralizada utilizando la tecnología blockchain (Goswami & Choudhury, 2022).

Aunque las tecnologías 5G, IoT y blockchain se investigan ampliamente, hay una escasez de estudios que se centren exclusivamente en la evolución de los retos en el ámbito de la integración del IoT con redes 5G y blockchain en aplicaciones a nivel empresarial o industrial (Lone et al., s. f.). Estos estudios coinciden en que la 5G es una tecnología prometedora que tiene potencial para dar soporte a aplicaciones verticales como el Internet de las Cosas Industrial (IIoT), las ciudades inteligentes, los vehículos autónomos, las cirugías a distancia, las realidades virtual y aumentada, etc. Estas aplicaciones tienen un conjunto diverso de requisitos de conectividad de red, y es difícil prestar servicios personalizados para cada uno utilizando una infraestructura 5G común y sobretodo que sea segura, es así que en los estudios se proponen plataformas basada en blockchain para abordar estas cuestiones (N. Weerasinghe et al., 2021).

El 5G aporta nuevas oportunidades al habilitar tecnologías con el IoT y blockchain, por tanto, conduce a nuevos desarrollos (R. XUE et al., 2020). Blockchain e IoT, habilitados por 5G, son

una opción viable para explorar plenamente el potencial de la industria contemporánea (M. Kaur et al., 2022).

Este artículo se enfoca principalmente en identificar en la literatura científica estudios donde se detallan casos de éxito de aplicaciones empresariales e incluso industriales donde se utilice las tecnologías 5G, IoT y blockchain en convergencia, a través de un mapeo sistemático de literatura que plantea cuatro preguntas de investigación para determinar la frecuencia de publicación, características de la producción científica, impacto de la producción y campos de aplicación de las tecnologías en mención.

METODOLOGÍA

Un estudio de mapeo sistemático o SMS (Systematic Mapping Study), es una metodología que consiste en investigar en la literatura, sobre un área de interés particular, con el objetivo de determinar la naturaleza el alcance y la cantidad de estudios primarios publicados, dando una visión general de un área de investigación a través de la clasificación y el conteo de las contribuciones (Petersen et al., 2015). Un mapeo sistemático emplea los mismos métodos que una revisión sistemática, pero suele ser un estudio más sencillo de realizar ya que no tiene como objetivo analizar los resultados presentados en los artículos que conforman el mapeo.

Para alcanzar el objetivo propuesto, el presente estudio utilizó la metodología de mapeo sistemático, el cual es un método útil para construir clasificaciones y obtener información sobre el conocimiento existente en una temática específica; por tanto, permite identificar los vacíos y las necesidades en un área determinada, con lo que se acerca a la definición de un nicho de investigación pertinente. El análisis de los resultados se realiza categorizando los hallazgos y contando la frecuencia de publicaciones dentro de cada categoría para determinar la cobertura de las distintas áreas de un tema de investigación específico (Petersen et al., 2015). En la Figura 1 se observa el proceso de mapeo sistemático que se sigue en este estudio con base en el proceso propuesto en el artículo “Directrices para la realización de estudios sistemáticos en ingeniería del software: Una actualización” (Petersen et al., 2015) (Tintín & Flores, 2021) .

Figura 1 *Proceso de mapeo sistemático de literatura.*



Definición de las Preguntas de Investigación

En la estructura de este estudio se sigue el proceso definido y se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- RQ1: ¿Cuántos estudios se han reportado en la literatura en el que se identifique la utilización de las tecnologías 5G, internet de las cosas y blockchain en aplicaciones empresariales?
- RQ2: ¿Cómo se caracteriza la producción científica sobre las tecnologías 5G, internet de las cosas y blockchain en aplicaciones empresariales, en cuanto al tipo de trabajos y accesibilidad?
- RQ3: ¿Qué trabajos han tenido mayor impacto en la producción científica sobre convergencia de tecnologías 5G, IoT y blockchain?
- RQ4: ¿En qué campos de aplicación se están utilizando las tecnologías 5G, internet de las cosas y blockchain?

En la literatura se han encontrado varias revisiones sistemáticas que abordan temas relacionados al desarrollo de aplicaciones empresariales para diagnóstico de 5G, IoT y Blockchain, pero estos estudios se centran únicamente en aplicaciones que utilizan la tecnología 5G, por lo que para este estudio se plantean preguntas de investigación que servirán para identificar si en la literatura se describen aplicaciones empresariales e incluso industriales en las que convergen exactamente las tres tecnologías mencionadas.

Estrategia de Búsqueda

Para la selección de estudios primarios es necesario definir la cadena de búsqueda en base a un conjunto de palabras clave, en este estudio se utiliza la estrategia PICO sugerida por Kitchenham en la “Guía para la realización de revisiones sistemáticas de literatura en ingeniería de software” (Kitchenham, 2007) y utilizada también por Petersen en el artículo “Directrices para la realización

de estudios sistemáticos en ingeniería del software: Una actualización” (Petersen et al., 2015).

Esta estrategia define los criterios de Population (Población), Intervention (Intervención), Comparison (Comparación) y Outcome (Resultados), sugerida por Kitchenham y Petersen, lo que permite ajustar las palabras clave que servirán para estructurar la cadena de búsqueda en las diferentes fuentes bibliográficas y poder responder las preguntas de investigación planteadas.

Población. En el contexto de este estudio, la población corresponde a las tecnologías aplicadas en el ámbito empresarial, se determinaron las siguientes palabras clave: (“ blockchain”) AND (“5G”) AND (“ Internet of Things” OR “IoT”).

Intervención. Manejo o intervención de interés que para este estudio constituye de qué forma confluyen las tecnologías mencionadas, palabra clave: (“integration” OR “convergence”).

Comparación. No se hace ninguna comparación empírica, es decir no existe una intervención alternativa con la cual comparar, aunque no siempre se dispone de la misma, por lo que se omite este componente y la estrategia PICO se convierte en PIO.

Resultados. Es la consecuencia relevante de interés, el resultado esperado es identificar en el entorno empresarial como se aplican y convergen las tecnologías mencionadas, palabras clave: (“applications” OR “solutions”)

Con base en los criterios se define la siguiente cadena de búsqueda: (“blockchain”) AND (“5G”) AND (“Internet of Things” OR “IoT”) AND (“applications” OR “solutions”) AND (“integration” OR “convergence”), misma que se construyó con la estructuración de las expresiones regulares y formada por las palabras claves determinadas en la estrategia PICO, enlazadas con los conectores lógicos AND y OR, aplicada a los títulos y abstracts.

Para la búsqueda de los estudios primarios se utilizaron cuatro bases de datos bibliográficas como: ACM DL, IEEE Xplore, Springer, y Web of Science. Aplicando la cadena de búsqueda, en estas bases de datos se buscaron artículos científicos de revistas indexadas y revisados por pares. Se utilizó la herramienta Zotero para la gestión de referencias bibliográficas en la que se descargó referencias de artículos que correspondían al periodo de referencia donde se han publicado más artículos relacionadas al tema, se realizó la búsqueda desde enero del 2019 hasta mayo del 2023. En la Tabla 1 se muestra el número de resultados por cada base de datos.

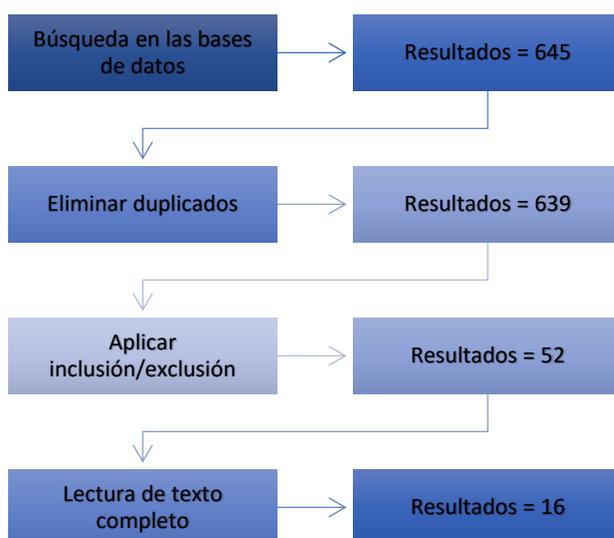
Tabla 1 Número de estudios por base de datos.

Base de datos	Resultados
IEEE Xplore	29
Web of Science	10
Springer	351
ACM	67
Total	457

Selección de Estudios Primarios

Para la selección de estudios primarios se utilizó la técnica de bola de nieve hacia atrás ya que de las bases de datos científicas no se obtuvo un número apropiado de artículos que sean relevantes para el estudio. Esta técnica consistió en revisar las referencias de los artículos de interés con el propósito de encontrar otros artículos que aporten información relevante para el estudio, verificando la fuente de donde fueron referenciados (Wohlin, 2014), y examinando los documentos para determinar su inclusión o exclusión de acuerdo a los criterios definidos, en la Figura 2 se muestra el número de artículos incluidos y excluidos.

Figura 2 Número de artículos incluidos durante el proceso de selección.



Criterios de Inclusión

- Estudios escritos en el idioma inglés publicados en revistas o proceedings de conferencias, revisados por pares y que estén incluidos en las principales bases de datos científicas, publicados desde enero del 2019 hasta la cuarta semana de mayo del 2023.
- Estudios en los que se identifique la utilización y convergencia las tecnologías 5G, internet de las cosas, y blockchain en aplicaciones empresariales.
- Estudios en los que se identifique de forma diferenciada los campos de aplicación de las tecnologías 5G, internet de las cosas, y blockchain.
- Estudios en los que se evidencie la efectividad de la aplicación de las tecnologías 5G, internet de las cosas, y blockchain según el estudio de caso.

Criterios de Exclusión

- Estudios que no estén escritos en el idioma inglés en texto completo y que no hayan sido revisados por pares.
- Estudios en los que no se identifique claramente la utilización en convergencia de las tecnologías 5G, internet de las cosas, y blockchain en aplicaciones empresariales.
- Estudios en los que no se evidencie la efectividad de la aplicación de las tecnologías 5G, internet de las cosas, y blockchain en el ámbito empresarial.
- Estudios secundarios por corresponder a estudios de terceros.

Extracción de Datos

Del total de estudios primarios se extrajeron datos relevantes para filtrar aquellos estudios que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión, con la ayuda del gestor bibliográfico Zotero se pudo generar un reporte con datos que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 *Plantilla de extracción de datos.*

Elemento de datos	Valor
Tipo de elemento	Artículo de conferencia o artículo de revista.
Autor	Nombres de los autores del documento
Resumen	Resumen completo del artículo
Fecha	Fecha de publicación
Catálogo de biblioteca	Base digital donde está alojado el artículo
Publicación	Nombre de la revista donde fue presentado
DOI	Identificador del objeto digital
Nombre de la conferencia	Nombre de la conferencia donde fue presentado
ISSN - ISBN	Número de identificación internacional
URL	Localizador del recurso

Validación de la Calidad

Para la verificación de la calidad de los estudios fue necesario dar lectura a los resúmenes y en aquellos en los cuales la información que se requería no era lo suficientemente clara se dio lectura al texto completo para determinar si el estudio seleccionado cumplía con criterios de calidad como:

- ¿El estudio seleccionado contribuye a dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas?
- ¿El estudio seleccionado contiene referencias a estudios publicados en revistas, conferencias o congresos?
- ¿El estudio está basado en una investigación o caso de estudio?
- ¿Existe una declaración clara de los objetivos de la investigación?
- ¿Hay una declaración clara de los resultados?

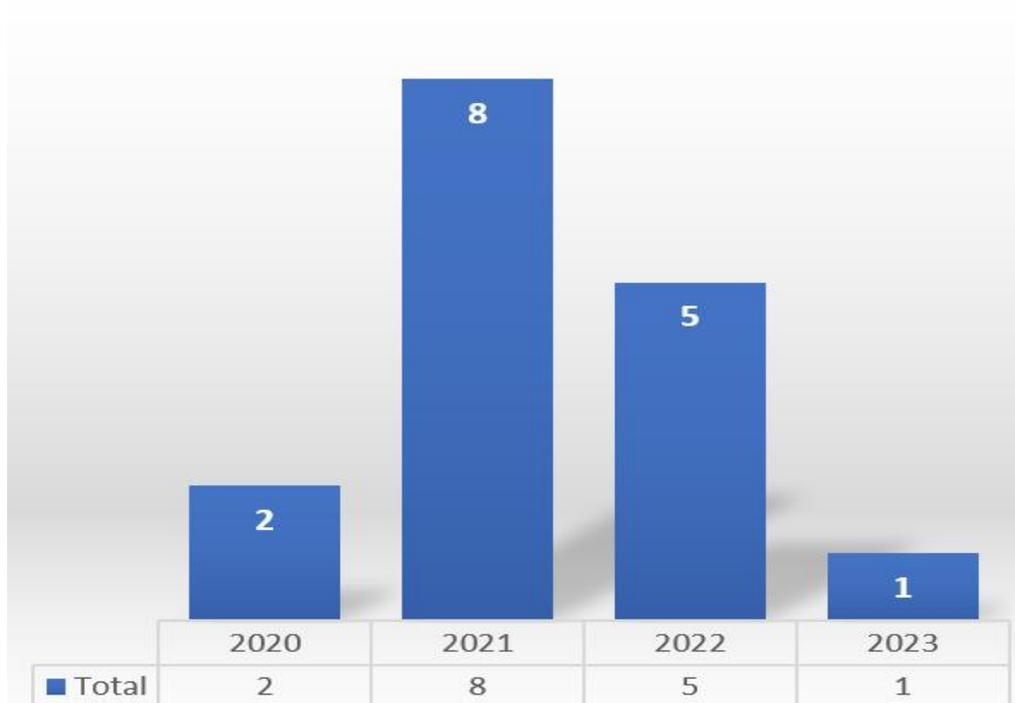
RESULTADOS Y DISCUSION

Frecuencia de Publicación RQ1

La búsqueda de artículos se realizó desde enero del 2019 hasta mayo del 2023, durante ese período de tiempo se hicieron varias investigaciones relacionadas a la utilización de las tecnologías 5G, internet de las cosas y blockchain en diferentes campos. De todos los estudios encontrados únicamente en 18 se reportan casos prácticos de la aplicación de estas tecnologías en aplicaciones

empresariales, cabe indicar que para este estudio solo se incluyeron estudios primarios y no se han incluido resúmenes o revisiones de literatura. Del total de artículos seleccionados, el 45% de la producción que corresponde a 8 artículos que se publicaron en el año 2021; mientras que el 33%, 6 artículos, fueron publicados en el año 2022. En la Figura 3 se observa la cantidad de estudios según la frecuencia de publicación.

Figura 3 *Número de estudios primarios publicados.*



Características de la Producción RQ2

De los 16 estudios seleccionados, el 75% correspondiente a 12 estudios fueron publicados en revistas académicas; mientras que el 25% correspondiente a 4 estudios fueron publicados en conferencias internacionales. La Tabla 3 muestra la relación de los documentos de acuerdo a su tipo y en la Tabla 4 se puede observar las revistas y conferencias en las que se han publicado los estudios encontrados, siendo de preferencia de los autores las de la IEEE, una asociación mundial agrupada en varias sociedades, estas sociedades proveen publicaciones especializadas, conferencias y redes de negocio, entre otros servicios.

Tabla 3 *Relación de documentos de acuerdo a su tipo.*

Tipo de documento	Cantidad	%	Documentos
Artículo de conferencia	5	27.78%	(P. Kumar Sharma et al., 2022), (R. Mishra, 2023), (A. Mohammed et al., 2020), (E. Bandara et al., 2022), (J. Zhang et al., 2021)
Artículo de revista	13	72.22%	(Babu et al., 2023), (G. Rathee et al., 2021), (Goswami & Choudhury, 2022), (M. A. Khan et al., 2021), (N. Weerasinghe et al., 2021), (Q. Hu et al., 2022), (R. Gupta et al., 2021), (Ren et al., 2021), (S. Jangirala et al., 2020), (Tchagna Kouanou et al., 2022), (Vivekanandan et al., 2021), (Wang et al., 2021), (Y. Wang et al., 2022)

Tabla 4 *Revistas y conferencias de preferencia.*

Revistas
Journal of Network and Systems Management
IEEE Open Journal of the Communications Society
Peer-to-Peer Networking and Applications
IEEE Transactions on Green Communications and Networking
EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking
Multimedia Tools and Applications
IEEE Communications Surveys & Tutorials
IEEE Transactions on Industrial Informatics
IEEE Internet of Things Journal
IEEE Access
IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
Computer Communications
SN Computer Science
Conferencias
2022 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)
2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)
2020 17th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)
2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)
2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)

Trabajos de Impacto en la Producción Científica RQ3

De acuerdo con las bases de datos en las que se publicaron los artículos seleccionados: IEEE, Springer y Web of Science, el 93,75\% de los 16 estudios han sido citados en otros artículos científicos en mas de una ocasión. El 6,25\% aún no ha sido citado. En la tabla 5 se muestra la relación de los estudios y el número de veces que se han citado.

Tabla 5 *Número de citas por artículo.*

Documento	Cantidad	Número de veces citado
(Q. Hu et al., 2022)	1	0
(P. Kumar Sharma et al., 2022), (E. Bandara et al., 2022)	2	2
(Goswami & Choudhury, 2022)	1	4
(J. Zhang et al., 2021)	1	5
(Ren et al., 2021)	1	6
(A. Mohammed et al., 2020), (M. A. Khan et al., 2021)	2	9
(R. Gupta et al., 2021)	1	10
(Tchagna Kouanou et al., 2022)	1	13
(N. Weerasinghe et al., 2021)	1	20
(Vivekanandan et al., 2021), (Wang et al., 2021)	2	34
(Babu et al., 2023)	1	36
(G. Rathee et al., 2021)	1	40
(S. Jangirala et al., 2020)	1	127

Se identificaron 12 revistas donde se han publicado los artículos científicos, de las cuales 11 revistas se encuentran clasificadas en dos de los cuatro cuartiles del Scientific Journal Rankings (SJR: Q1 y Q2), el 75\% de las revistas están ubicadas en el cuartil Q1, el 16.67\% en el cuartil Q2 y el 8.33\% no esta ubicada en ningún cuartil.

El documento de mayor impacto en la producción científica "Designing Secure Lightweight Blockchain-Enabled RFID-Based Authentication Protocol for Supply Chains in 5G Mobile Edge Computing Environment" traducido al español "Diseño de un protocolo de autenticación seguro y ligero basado en blockchain y RFID para cadenas de suministro en un entorno de red móvil 5G de computación de borde" ha sido publicado en la revista IEEE Transactions on Industrial Informatics ubicada en el cuartil Q1 del Scientific Journal Rankings SJR, y ha sido 127 veces

citado en otros artículos científicos (S. Jangirala et al., 2020). Únicamente dos artículos (Goswami & Choudhury, 2022) y (Vivekanandan et al., 2021) fueron publicados en revistas correspondientes al cuartil Q2.

Campos de Aplicación de 5G, IoT y Blockchain RQ4

Los campos de aplicación de las tecnologías blockchain, IoT y 5G en convergencia en el contexto empresarial se enmarca en su mayoría en propuestas de arquitecturas seguras para la autenticación de dispositivos IoT y se identifican además su utilización en tipo de aplicaciones, sin embargo, los estudios demuestran que solo se basan en propuestas factibles que podrían ser aplicadas a futuro con gran éxito.

Una de las aplicaciones más utilizadas es el desarrollo de mecanismos de seguridad eficientes para la autenticación de los dispositivos IoT. El protocolo de autenticación que se utiliza actualmente en la red celular 5G mantiene las credenciales de seguridad de los dispositivos en la red doméstica de forma centralizada, pero en los estudios se identifican propuestas como:

En el estudio de (Babu et al., 2023) la autenticación de dispositivos IoT como sistemas blockchain de confianza para redes 5G elimina las limitaciones de la integración de las redes Edge Computing, IoT y 5G por medio del diseño de un sistema blockchain de confianza para redes 5G basadas en bordes en el que se construye una red de prueba blockchain para un conjunto de dispositivos de borde, desplegando los componentes de la red como los Peer Nodes-Edge nodos, routers de borde, validadores, etc., y un conjunto de los nodos validadores, donde se utiliza el esquema de firma ECDSA y el esquema de firma basado en umbral ECC propuesto para el registro de nodos y la creación de bloques.

En otro artículo (Goswami & Choudhury, 2022) se propone un esquema de autenticación en el que las credenciales de seguridad de los dispositivos IoT se almacenan de forma descentralizada utilizando la tecnología blockchain, en este esquema se hace un análisis de seguridad utilizando la herramienta scyther.

Se identifica también una propuesta de implementación de mecanismos de confianza para establecer comunicación con objetos multimedia del IoMT que no dependa de terceros de confianza (Ren et al., 2021), se diseñan protocolos de autenticación basado en la identificación

por radiofrecuencia (RFID) con blockchain para cadenas de suministro en entornos de computación móvil de borde 5G para dispositivos IoT (S. Jangirala et al., 2020).

La autenticación y la identificación de la ubicación del dispositivo son tareas esenciales para verificar la originalidad de los dispositivos IoT (IoT) durante la comunicación a través de un canal abierto, en el estudio de (Vivekanandan et al., 2021) para aplicaciones de ciudades inteligentes se utiliza la tecnología 5G y se propone el protocolo BIDAPSCA5G utilizando la función SHA-1 y ECC, del mismo modo en un estudio de (Wang et al., 2021) propone resolver los problemas de codificación e identificación de los dispositivos IoT con un smart grid.

En otras aplicaciones de tipo más específico, como en el artículo (Tchagna Kouanou et al., 2022) se presenta una propuesta de cadena de bloques EOS (protocolo de cadena de bloques basado en la criptomoneda) para proteger los datos en una arquitectura IoT en hogares inteligentes, donde se combina Arduino, Raspberry Pi y sensores para crear un ecosistema IoT para un hogar inteligente.

En un estudio de (A. Mohammed et al., 2020) se propone una nueva arquitectura de MEC (Computación de borde de acceso múltiple) basada en blockchain y habilitada para multi-UAV (vehículos aéreos no tripulados) para la descarga computacional segura y la asignación de recursos en redes, estos UAV han estado desempeñando un papel vital y atrayendo el interés en diferentes áreas de aplicación en el ámbito militar, y aplicaciones civiles como comunicaciones, gestión de desastres, búsqueda y rescate, seguridad, control, agricultura, Internet de las cosas (IoT), etc.

Del mismo modo, en el artículo (G. Rathee et al., 2021) se propone un mecanismo seguro de voto electrónico inteligente utilizando Blockchain que no sólo garantice un sistema de votación genuino, sino que también genere confianza en las comisiones electorales, a través de la creación de una blockchain utilizando la plataforma ethereum para validación, las métricas de autenticidad y seguridad se analizan en MATLAB, donde se crean varias redes para identificar la legitimidad de los dispositivos IoT en varios niveles.

En los estudios se hace referencia también a que en la actualidad, el V2X (Vehicle to X), es una tecnología que todavía se encuentra en desarrollo, pero en el futuro con esta tecnología los autos

podrán estar conectados entre sí y con el entorno para ayudar a reducir los accidentes y conducir mucho más seguros, así como a hacer que el tráfico y la conducción sean mucho más eficientes, en el estudio de (M. A. Khan et al., 2021) se propone una arquitectura para solventar este enfoque. Los hallazgos de estos estudios muestran claramente que se está trabajando para la aplicación de las tecnologías 5G, IoT y Blockchain en varios campos de la tecnología, en la mayoría de los trabajos se ofrecen propuestas de arquitecturas, protocolos, herramientas, etc., que ayuden a la autenticación, identificación y seguridad de dispositivos IoT en la red 5G con tecnología blockchain, en otros casos, se identificaron propuestas de mejoras para mecanismos de voto electrónico, vehículos aéreos no tripulados y hogares inteligentes, sin embargo, todos los estudios encontrados únicamente muestran propuestas de solución o mejora de ejecución de procesos ejecutados en modelos de simulación, pero en ninguno de los estudios se identifica una aplicación práctica que ya esté puesta en producción y se observe su efectividad en un contexto empresarial real. Es de esperar que a futuro se continúe investigando y aplicar la combinación de las tecnologías mencionadas en el ámbito empresarial.

CONCLUSIONES

A pesar de los grandes avances en tecnologías de vanguardia y que muchas empresas están haciendo esfuerzos por implementar en su negocio aplicaciones que integren las tecnologías 5G, IoT y blockchain, en este artículo se evidencia que en la literatura científica hay pocos estudios primarios donde se describan propuestas para la aplicación de estas tecnologías en convergencia, la mayoría de estos estudios se centran en desarrollar propuestas de plataformas seguras con el uso de blockchain para la seguridad, autenticación e identificación de dispositivos IoT sobre redes 5G, en pocos estudios se describen propuestas de aplicaciones prácticas que sean de utilidad como plataformas de voto electrónico, vehículos aéreos no tripulados, hogares inteligentes, granjas inteligentes y cadenas de suministro. Tomando en cuenta que estamos en la era de la transformación digital, es de esperarse que estos desarrollos no se queden únicamente en propuestas de solución, sino que se busquen mecanismos para que se apliquen de manera eficiente en las empresas y este estudio servirá de base para orientar futuras investigaciones y aplicaciones que se puedan dar con el uso de estas tecnologías.

LISTA DE REFERENCIAS

- A. Mohammed, H. Nahom, A. Tewodros, Y. Habtamu, & G. Hayelom. (2020). Deep Reinforcement Learning for Computation Offloading and Resource Allocation in Blockchain-Based Multi-UAV-Enabled Mobile Edge Computing. *2020 17th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICCWAMTIP)*, 295-299. <https://doi.org/10.1109/ICCWAMTIP51612.2020.9317445>
- Babu, E. S., Barthwal, A., & Kaluri, R. (2023). Sec-edge: Trusted blockchain system for enabling the identification and authentication of edge based 5G networks. *Computer Communications*, *199*, 10-29. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.12.001>
- E. Bandara, S. Shetty, A. Rahman, R. Mukkamala, & X. Liang. (2022). Moose: A Scalable Blockchain Architecture for 5G Enabled IoT with Sharding and Network Slicing. *2022 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 1194-1199. <https://doi.org/10.1109/WCNC51071.2022.9771885>
- G. Rathee, R. Iqbal, O. Waqar, & A. K. Bashir. (2021). On the Design and Implementation of a Blockchain Enabled E-Voting Application Within IoT-Oriented Smart Cities. *IEEE Access*, *9*, 34165-34176. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061411>
- Goswami, B., & Choudhury, H. (2022). A Blockchain-Based Authentication Scheme for 5G-Enabled IoT. *Journal of Network and Systems Management*, *30*(4), 61. <https://doi.org/10.1007/s10922-022-09680-6>
- J. Zhang, R. Zhang, Q. Yang, T. Hu, K. Guo, & T. Hong. (2021). Research on Application Technology of 5G Internet of Things and Big Data in Dairy Farm. *2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, 138-140. <https://doi.org/10.1109/IWCMC51323.2021.9498643>
- Kitchenham, B. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. https://www.elsevier.com/_data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf

- Lone, A. N., Mustajab, S., & Alam, M. (s. f.). A comprehensive study on cybersecurity challenges and opportunities in the IoT world. *Security and Privacy*. <https://doi.org/10.1002/spy2.318>
- M. A. Khan, S. Ghosh, S. A. Busari, K. M. S. Huq, T. Dagiuklas, S. Mumtaz, M. Iqbal, & J. Rodriguez. (2021). Robust, Resilient and Reliable Architecture for V2X Communications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(7), 4414-4430. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3084519>
- M. Kaur, M. Z. Khan, S. Gupta, & A. Alsaedi. (2022). Adoption of Blockchain With 5G Networks for Industrial IoT: Recent Advances, Challenges, and Potential Solutions. *IEEE Access*, 10, 981-997. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138754>
- N. Weerasinghe, T. Hewa, M. Liyanage, S. S. Kanhere, & M. Ylianttila. (2021). A Novel Blockchain-as-a-Service (BaaS) Platform for Local 5G Operators. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 2, 575-601. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2021.3066284>
- P. Kumar Sharma, P. Gope, & D. Puthal. (2022). Blockchain and Federated Learning-enabled Distributed Secure and Privacy-preserving Computing Architecture for IoT Network. *2022 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*, 1-9. <https://doi.org/10.1109/EuroSPW55150.2022.00008>
- Petersen, K., Vakkalanka, S., & Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Q. Hu, G. Zheng, & T. Jiang. (2022). Joint Content and Radio Access for the Internet of Things: A Smart-Contract-Based Trusted Framework. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(18), 18142-18152. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3163239>
- R. Gupta, M. M. Patel, S. Tanwar, N. Kumar, & S. Zeadally. (2021). Blockchain-Based Data Dissemination Scheme for 5G-Enabled Softwarized UAV Networks. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 5(4), 1712-1721. <https://doi.org/10.1109/TGCN.2021.3111529>

- R. Mishra. (2023). Cloud of Things and Blockchain Integration: Architecture, Applications, and Challenges. *2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)*, 1150-1154. <https://doi.org/10.1109/AISC56616.2023.10084991>
- R. XUE, Z. MA, X. MA, & M. DAI. (2020). 5G Enabling Technologies in Rail. *2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA)*, 372-375. <https://doi.org/10.1109/ITCA52113.2020.00084>
- Ren, Y., Zhu, F., Zhu, K., Sharma, P. K., & Wang, J. (2021). Blockchain-based trust establishment mechanism in the internet of multimedia things. *Multimedia Tools and Applications*, 80(20), 30653-30676. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09578-y>
- S. Jangirala, A. K. Das, & A. V. Vasilakos. (2020). Designing Secure Lightweight Blockchain-Enabled RFID-Based Authentication Protocol for Supply Chains in 5G Mobile Edge Computing Environment. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(11), 7081-7093. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2942389>
- Tchagna Kouanou, A., Tchito Tchapgá, C., Sone Ekonde, M., Monthe, V., Mezatio, B. A., Manga, J., Simo, G. R., & Muhozam, Y. (2022). Securing Data in an Internet of Things Network Using Blockchain Technology: Smart Home Case. *SN Computer Science*, 3(2), 167. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01065-5>
- Tintín, V., & Flores, H. (2021). *Artificial Intelligence and Data Science in the Detection, Diagnosis, and Control of COVID-19: A Systematic Mapping Study*. Springerprofessional.De. <https://www.springerprofessional.de/en/artificial-intelligence-and-data-science-in-the-detection-diagno/19648976>
- Vivekanandan, M., V. N., S., & U., S. R. (2021). BIDAPSCA5G: Blockchain based Internet of Things (IoT) device to device authentication protocol for smart city applications using 5G technology. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 14(1), 403-419. <https://doi.org/10.1007/s12083-020-00963-w>

- Wang, D., Wang, H., & Fu, Y. (2021). Blockchain-based IoT device identification and management in 5G smart grid. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2021(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s13638-021-01966-8>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 1-10. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Y. Wang, Z. Su, J. Ni, N. Zhang, & X. Shen. (2022). Blockchain-Empowered Space-Air-Ground Integrated Networks: Opportunities, Challenges, and Solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(1), 160-209. <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3131711>