

(03-045) - Applicability of Blockchain Technology for Life Cycle Assessment: A State of the Art

Tubón Núñez, Edith Elena ¹; Vigil Berrocal, Miguel Angel ¹; Ortega Fernandez, Francisco ¹; Martínez Huerta, Gemma ¹

¹ Universidad de Oviedo

Due to environmental concerns, industrial sectors must adapt their processes and supply chains to a sustainability paradigm to ensure their continuity and differentiate themselves in an increasingly competitive market pressured towards reducing environmental impacts. The use of Life Cycle Assessment (LCA) methodologies has become the standard for quantifying the environmental impacts of processes and products, although its application involves difficulties, with a notable challenge being the difficulty of obtaining necessary data for the calculation models of numerous actors in the supply chain, either lacking such data or being hesitant to share it. Blockchain technology has been proposed as an option for managing data provided by members of a supply chain, enabling the automation of data collection while ensuring its security through the use of a timestamp.

This communication is dedicated to systematically reviewing existing literature and cases of conducting LCAs supported by blockchain technology, aiming to serve as a foundation for its future implementation in complex industrial processes.

Keywords: sustainability; supply chain; Life Cycle Assessment; blockchain technology

Aplicabilidad de la tecnología Blockchain para el Análisis de Ciclo de Vida: Un Estado del Arte

Debido a la problemática ambiental, los sectores industriales deben adaptar sus procesos y sus cadenas de suministro hacia un paradigma de sostenibilidad, para asegurar su continuidad y diferenciarse en un mercado cada vez más competitivo y presionado hacia la reducción de los impactos ambientales.

El empleo de las metodologías de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se ha convertido en el estándar para cuantificar las afecciones ambientales de procesos y productos, aunque su aplicación conlleva dificultades, destacándose la dificultad de obtener los datos necesarios para los modelos de cálculo de los numerosos agentes de la cadena de suministro que, o bien carecen de los mismos, o son reticentes a compartirlos.

La tecnología Blockchain se ha propuesto como una opción para gestionar los datos proporcionados por los miembros de una cadena de suministro al permitir automatizar la toma de datos al mismo tiempo que garantiza su seguridad con la ayuda del uso de un sello de tiempo.

Esta comunicación está dedicada a revisar de forma sistemática la literatura y los casos existentes de la realización de ACVs apoyados en la tecnología Blockchain, con objeto de servir de base para su implementación futura en procesos industriales complejos.

Palabras clave: sostenibilidad; cadena de suministro; Análisis de Ciclo de Vida; tecnología blockchain

Correspondencia: Miguel Angel Vigil Berrocal. vigilmiguel@gmail.com



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La actividad industrial es ampliamente reconocida como uno de los principales contribuyentes a nuestro impacto en el medio ambiente, afectando el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la salud humana, los ecosistemas y los recursos. Por lo tanto, las industrias manufactureras ahora reconocen la necesidad de alinearse con los objetivos de sostenibilidad para abordar la emergencia ambiental. Para promover la producción sostenible, es crucial reconocer, cuantificar y controlar el impacto ambiental de los sectores industriales (Carrières et al., 2022).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un método utilizado para evaluar el impacto ambiental de los productos industriales a lo largo de su cadena de valor (Shou & Domenech, 2022). El ACV considera las emisiones y el consumo de recursos asociados a las actividades implicadas en el ciclo de vida del producto y las caracteriza utilizando indicadores medioambientales significativos. Se requiere una gran cantidad de datos de producción específicos y fiables para modelar todas las entradas y salidas de un sistema industrial en las diferentes etapas de la producción. Los datos del ciclo de vida del producto a menudo están dispersos y carecen de transparencia, lo que hace que este proceso sea muy sensible a las variaciones en dichos datos. La complejidad y la globalización de las cadenas de suministro en los sectores industriales agravan este problema (Karaszewski et al., 2021).

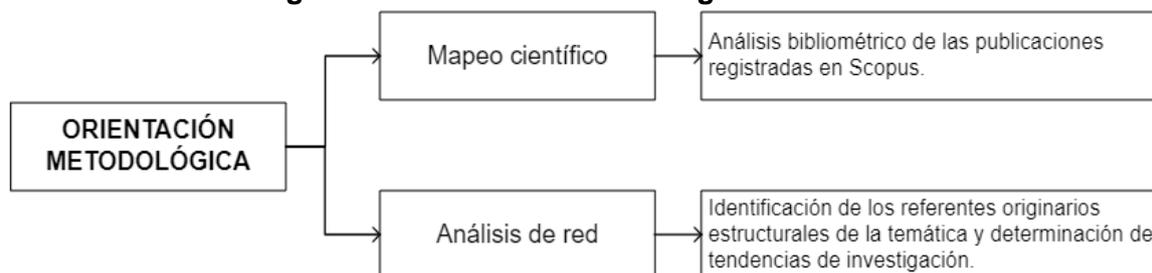
La falta de datos accesibles y fiables en las cadenas de suministro ha llevado a las industrias manufactureras a invertir en sistemas de trazabilidad. Estos sistemas se han visto favorecidos por la aparición de nuevas tecnologías, especialmente la conocida como Blockchain (BC), que es una tecnología de registro distribuido que permite registrar las transacciones de una manera inmutable, de modo que una vez se registra una transacción en la cadena de bloques no se puede alterar (Christidis & Devetsikiotis, 2016). Esta tecnología proporciona varios beneficios para la gestión y trazabilidad de movimientos dentro de las cadenas de suministro (Liu et al., 2023), por lo que numerosas industrias están aplicando esta tecnología para la trazabilidad y monitorización de la calidad, seguridad o autenticidad de los productos (Dutta et al., 2020).

El objetivo de la presente comunicación es explorar las ventajas y dificultades que pueden ser encontradas a la hora de combinar la tecnología Blockchain en el ACV en la industria, de forma que la primera sirva para proporcionar registros fiables y garantizados de las cargas ambientales de las diferentes partes de un sistema, que posteriormente permita calcular el ACV total del mismo. Para tal efecto, se realiza un análisis bibliométrico de la literatura científica existente para conceptualizar y esbozar la integración de la tecnología Blockchain en el ACV, especialmente en el sector manufacturero con cadenas de valor complejas.

2. Metodología

La orientación metodológica empleada considera dos fases como se muestra en la Figura 1. La primera fase se refiere a un mapeo científico del área de estudio a través del análisis bibliométrico de las publicaciones (Zupic & Čater, 2015) registradas en Scopus entre los años 2018 y 2024. La búsqueda se ha limitado a este periodo dado que, a pesar de que ACV es una técnica ya madura en el ámbito científico, Blockchain es una tecnología que ha tenido un desarrollo muy limitado antes de dicho año y, en un análisis preliminar no encontraron referencias relativas a ambos campos de forma simultánea. En la segunda fase se desarrolla el análisis de red, en el que se identifican los referentes originarios y estructurales de la temática y se determinan las tendencias de investigación (Hevey, 2018) de la integración de la tecnología Blockchain en el ACV en la industria manufacturera.

Figura 1: Orientación metodológica del estudio



2.1 Mapeo científico

En la primera fase, se emplearon los siguientes procedimientos bibliométricos: estudio de citas, estudio de coocurrencia de palabras, estudio de cocitas, estudio de coautorías y estudio de acoplamiento bibliográfico de acuerdo con la metodología propuesta por Malcolm (2021). La base de datos consultada fue Scopus ya que es la mayor base de datos de resúmenes y citas de literatura revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de congresos. Es la base de datos preeminente utilizada para análisis bibliométricos (Gorchakova et al., 2023). Asimismo, se utilizó la herramienta Bibliometrix, que permite explotar el grado de productividad, impacto, visibilidad y nivel de colaboración de la producción científica (Aria & Cuccurullo, 2017).

El proceso de consulta contempló las publicaciones que tuvieran en cuenta la integración de la tecnología Blockchain en el ACV en la industria manufacturera, por lo tanto, los criterios de búsqueda se enfocaron principalmente en publicaciones que abordaran directamente esta relación, para lo que se usó un filtro por título empleando las palabras en inglés “Blockchain”, “LCA” y “manufacturing”. Las áreas del conocimiento abarcadas en la base de datos Scopus fueron: Informática, Ingeniería, Ciencia de los Materiales, Ciencias Ambientales, Ingeniería química, Energía, Economía, Econometría y Finanzas, Multidisciplinar.

Se seleccionaron las publicaciones que cumplieran con los siguientes criterios de inclusión: publicaciones relacionadas con procesos empresariales, administración, estrategia, ingeniería, optimización, sistemas de información, gestión de recursos, tecnología aplicada y toma de decisiones. Y se excluyeron las publicaciones relacionadas con temáticas de salud, física, astronomía, artes, filosofía y otras áreas distantes al campo organizacional o empresarial, que no son relevantes para esta investigación.

Se aplicó un proceso de revisión que incluyó la lectura del título y del resumen de cada publicación seleccionada, para confirmar que su enfoque temático estuviera enmarcado en el objeto de estudio. Como criterio de inclusión final, se realizó el cálculo de indicadores bibliométricos para identificar y categorizar los documentos más relevantes según la red de citas en el campo de estudio. La Tabla 1 presenta los criterios de consulta considerados para la investigación, arrojando 151 publicaciones al relacionar los términos “blockchain”, “LCA” y “manufacturing” en la ecuación de búsqueda. Como resultado, se identifica que el 93,37% de las publicaciones en esta área se encuentran en el idioma inglés, el 5,96% en chino, mientras que el 0,66% en alemán.

Tabla 1: Parámetros de búsqueda

Base de datos	Scopus
Periodo de consulta	2018 – 2024
Criterios de búsqueda	Título
Tipo de documento	Article, Conference paper, Review
Términos de búsqueda	“blockchain” and “Ica” and “manufacturing”
Ecuación de búsqueda	(TITLE (“blockchain”) AND TITLE (“Ica”) OR TITLE (“manufacturing”))
Resultado total	151

2.2 Análisis de Red

En la segunda etapa se conformó una red de citas, a partir del desarrollo de la teoría de grafos, empleando el algoritmo Tree of Science (ToS). Este método permite categorizar o clasificar los trabajos e investigaciones según su relevancia, intermediación y evolución en el tiempo, considerando las referencias de las publicaciones consultadas en la base de datos Scopus (Robledo et al., 2022). Posteriormente, se estimaron tres indicadores bibliométricos: Indegree (raíces), número de veces que un documento ha sido referenciado por otros (Valencia-Hernández et al., 2020); Betwenness (tronco), grado de intermediación y centralidad de cada elemento dentro de una red (Hernández-Betancur et al., 2020); y Outdegree (ramas), número de veces que un nodo en particular cita a otros o número de conexiones de cada documento (Aguirre & Paredes Cuervo, 2023). Los dos primeros indicadores permitieron la categorización de los referentes originarios y estructurales del campo de estudio; y el tercer indicador, la concentración de tendencias de investigación de la integración de la tecnología Blockchain en el ACV en la industria manufacturera. Finalmente, en conjunto con lo anterior, se realizó una tabla que contiene las referencias extraídas de los artículos para visualizar las subáreas o corrientes de investigación en el campo de estudio.

3. Resultados

3.1 Análisis bibliométrico

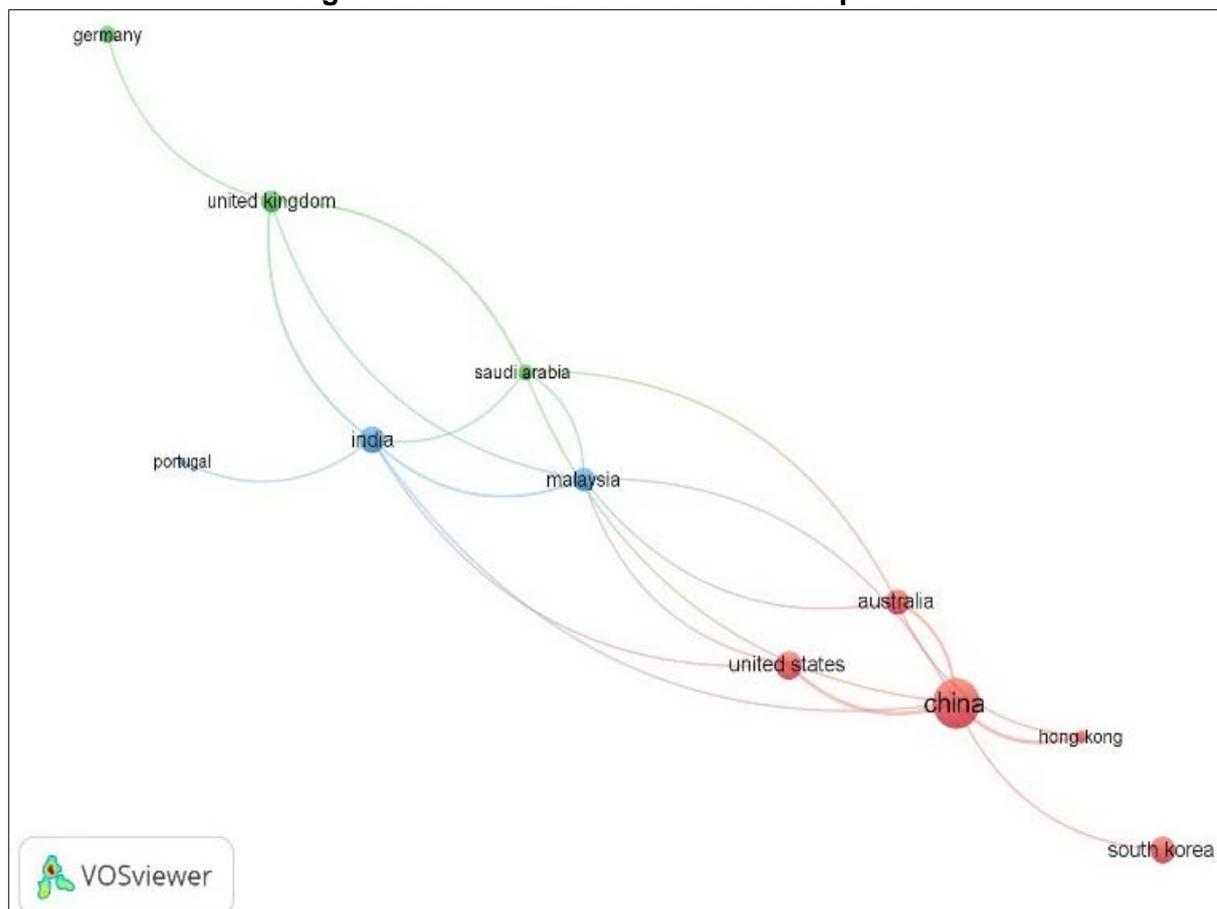
Los datos bibliométricos presentados en la Tabla 2 y Figura 2 sobre las contribuciones específicas de cada país relacionados a la tecnología Blockchain en el ACV en la industria ofrecen una imagen completa de los esfuerzos de investigación y los patrones de colaboración mundiales en este campo. China lidera con 65 documentos, que representan el 43% del total, seguido por India (17 publicaciones) y Estados Unidos (16 publicaciones) con el 11% y 10%, respectivamente. Asimismo, los países de Alemania (10 publicaciones) con un 6,6%, Malasia (7 publicaciones) con un 4,63%, Reino Unido, Eslovenia y Australia (6 publicaciones) con un 3,97% y los países de Hong Kong e Italia (5 publicaciones) con un 3,31%. Con respecto a investigaciones desarrolladas entre países, la red identifica una fuerte relación de China con Estados Unidos, Hong Kong, Australia y Corea del Sur,

principalmente. En términos de colaboración entre países, después de China, India es quien lidera la relación con países como Malasia, Portugal, Arabia Saudita y Reino Unido.

Tabla 2: Publicaciones por países

Ítem	País	Número de publicaciones
1	China	65
2	India	17
3	Estados Unidos	16
4	Alemania	10
5	Malasia	7
6	Reino Unido	6
7	Eslovenia	6
8	Australia	6
9	Hong Kong	5
10	Italia	5

Figura 2: Red de colaboraciones entre países



En cuanto a los autores principales, Bibliometrix® nos permite conocer el índice de impacto de los autores más importantes tanto a nivel global (dentro y fuera de nuestro campo de estudio) o local (nos aporta datos del impacto del autor dentro de los artículos que estamos trabajando). Adicionalmente, se menciona el índice de impacto H ya que se considera habitualmente como métrica fundamental para evaluar la productividad científica individual, y permite detectar los autores o fuentes más destacadas de una disciplina (López et al., 2024). La Tabla 3 presenta los diez autores con mayor contribución por la cantidad de publicaciones, siendo Zhang, Y., el autor más destacado con siete documentos registrados en Scopus, seguido por Li, M., con seis documentos. Los autores con mayor número de citas son Zhang, Y., con 136 y Liu, Y., con 61, que, a su vez, presentan el mayor índice h, siendo de 4.

Tabla 3: Principales autores

Autor	Número de publicaciones	Citaciones	H-index	Vinculación
Zhang, Y.	7	136	4	Northwestern Polytechnical University
Li, M.	6	44	2	The Hong Kong Polytechnic University
Corn, M.	5	53	2	Univerza v Ljubljani
Liu, Y.	5	61	4	Beijing Institute of Computer Technology and Applications
Wang, Y.	5	46	2	Jiangnan University
Chen, Y.	4	46	1	Zhejiang Gongshang University
Diaci, J.	4	47	2	Univerza v Ljubljani
Huang, Gq.	4	12	1	The Hong Kong Polytechnic University
Li, Z.	4	16	3	Guangdong University of Technology
Liu, C.	4	29	2	College of Engineering, Architecture and Technology

De las 151 publicaciones analizadas, la Tabla 4 muestra las 10 revistas que han publicado el mayor número de documentos indexados en Scopus con relación a la Tecnología Blockchain en ACV. La Tabla 4 se muestra cinco columnas, la primera corresponde al nombre de la revista en las que se ha publicado con mayor frecuencia, la segunda corresponde al número de publicaciones, la tercera al índice h, la cuarta al Cuartil y la quinta columna, corresponde al índice de impacto (SJR), el que mide la influencia o prestigio científico de las revistas mediante el análisis de la cantidad y la procedencia de las citas que recibe una revista científica (Gregorio-Chaviano et al., 2020). Se observa que la revista con mayor número de publicaciones es Applied Sciences con 7 documentos. Con relación al índice H, la revista International Journal of Production Economics lidera la participación con un valor de 214 y un SJR de 3,028.

Tabla 4: Principales revistas

Revistas	Número de publicaciones	H-index	Cuartil	SJR-2022
----------	-------------------------	---------	---------	----------

Applied Sciences	7	101	Q2	0,492
International Journal of Production Research	5	170	Q1	2,976
Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS	5	38	Q3	0,297
Sustainability	5	136	Q2	0,664
Computers and Industrial Engineering	4	148	Q1	1,76
International Journal of Production Economics	4	214	Q1	3,028
ACM International Conference Proceeding Series	3	137	-	0,209
Advanced Engineering Informatics	3	99	Q1	1,709
Journal of Industrial Information Integration	3	42	Q1	2,723
Journal of Manufacturing Systems	3	92	Q1	2,742

A partir de la información de la Tabla 4 se puede extraer que las revistas interesadas en esta temática se pueden dividir en dos tipos: aquellas de corte medioambiental donde se encuentran Applied Sciences y Sustainability y aquellas especializadas en ingeniería industrial, donde se localizan el resto y por tanto hay mayor número de publicaciones.

Las redes de la Figura 3 y Figura 4 exponen las cocitaciones y colaboraciones entre autores. Christidis, K., Alkhader, W., Bai, I., Hasan, H. R., Nakamoto, S., Shahbazi, Z., Yu, C., Hawlitschek, F., Nakamoto, S. y Zhu, X. son los que presentan mayor cocitación en la comunidad de investigadores. Y la colaboración se centra en siete grupos principalmente, la mayor participación es la generada por Zhang, Y., Li, M. y Wang, Y. Los datos sugieren que futuras colaboraciones y asociaciones podrían ser ventajosas, ya que facilitarían la puesta en común de conocimientos y recursos diversos para abordar cuestiones más complejas en el ámbito investigado.

Figura 3: Red de cocitaciones

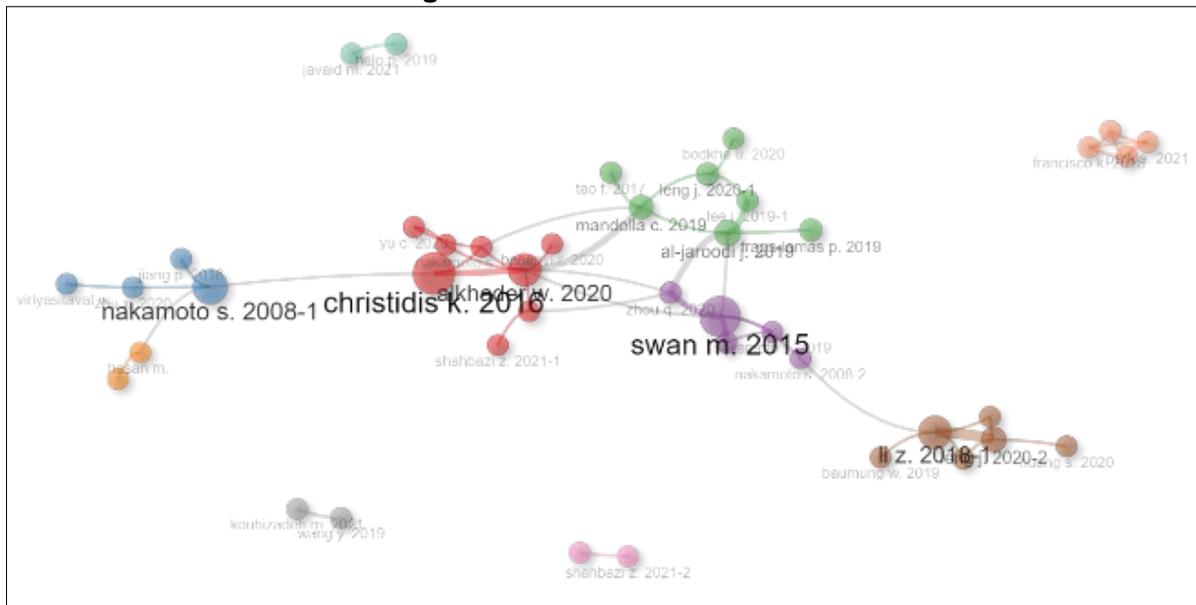
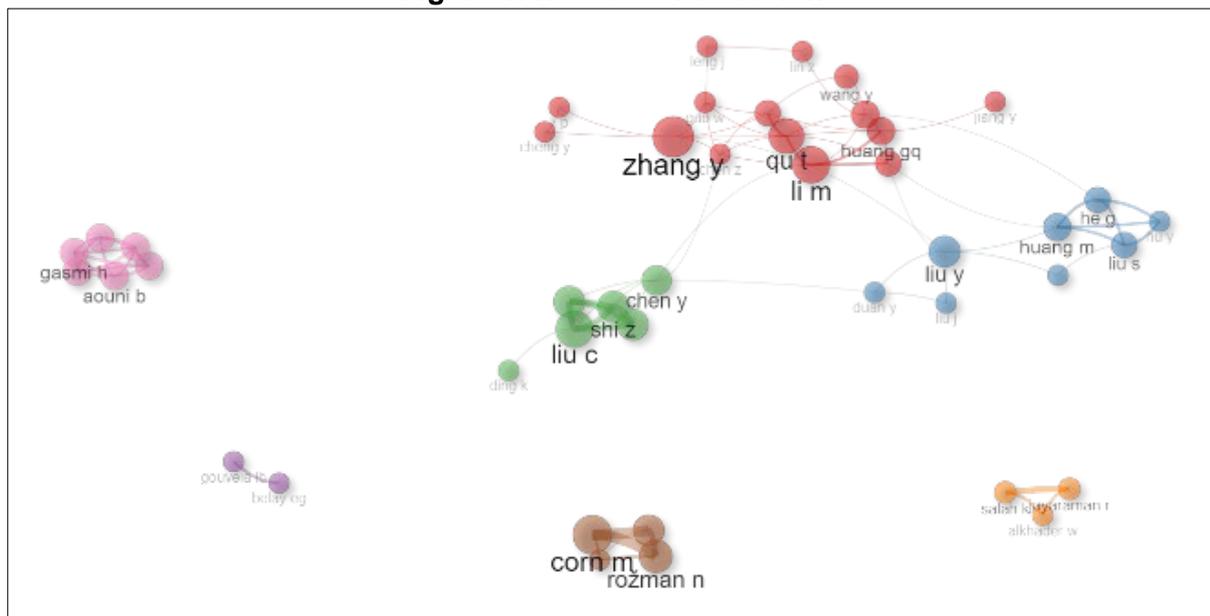


Figura 4: Red de colaboración



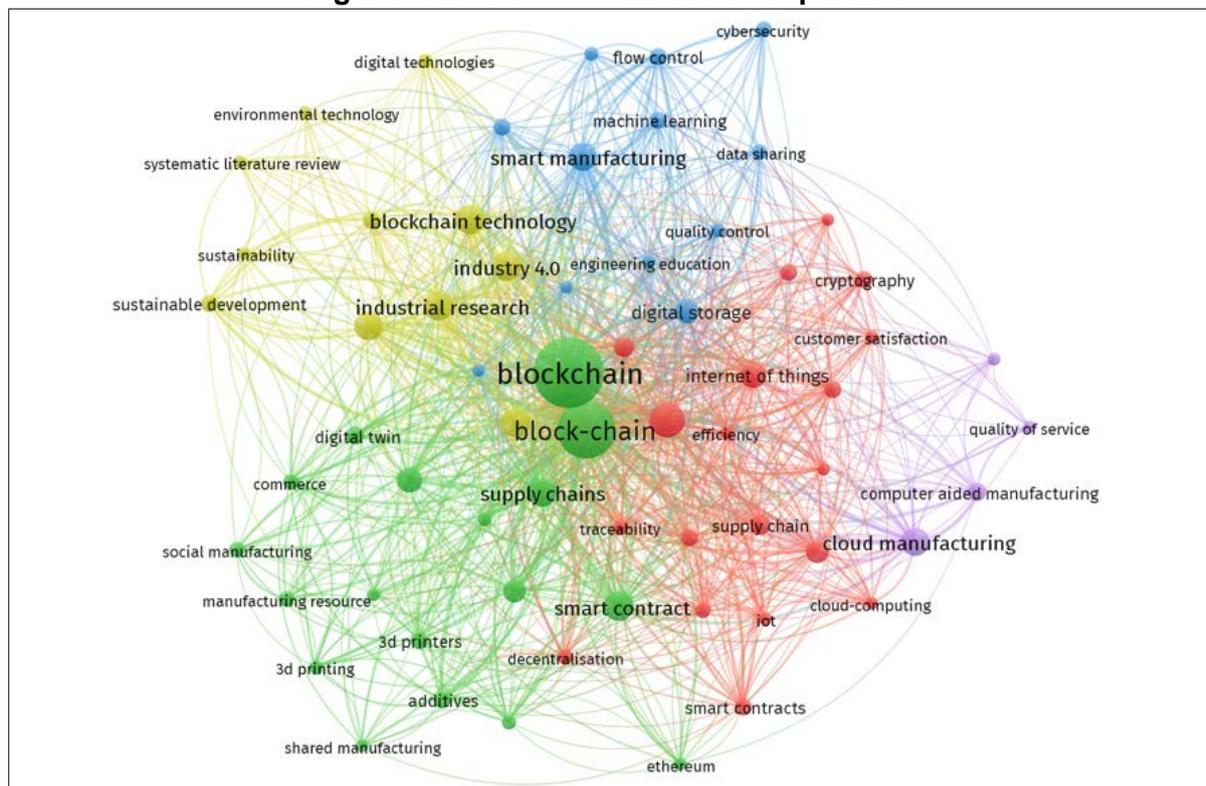
El análisis de las afiliaciones en la producción de publicaciones en el ámbito investigado pone de relieve las importantes contribuciones de diversas instituciones académicas de todo el mundo. En la Tabla 5 se presentan las diez principales instituciones y el número de publicaciones que han realizado en el tema, siendo Univerza v Ljubljani, con 15,8%, la que lidera el ranking de acuerdo con los criterios de búsqueda. Se destaca que el 50% de las publicaciones tienen como origen instituciones ubicadas en Estados Unidos.

Tabla 5: Principales instituciones

Institución	Publicaciones	Participación	Países
-------------	---------------	---------------	--------

Univerza v Ljubljani	6	15,8%	Eslovenia
Guangdong University of Technology	5	13,2%	China
Jinan University	5	13,2%	China
Mississippi State University	3	7,9%	Estados Unidos
The University of Texas at Arlington	3	7,9%	Estados Unidos
NC State University	4	7,9%	Estados Unidos
Oklahoma State University	3	7,9%	Estados Unidos
The University of Hong Kong	3	7,9%	Hong Kong
Bagley College of Engineering	3	7,9%	Estados Unidos
The Hong Kong Polytechnic University	3	7,9%	Hong Kong

Figura 5: Red de coocurrencias de palabras



La red de coocurrencia que se observa en la Figura 5 se construyó con la finalidad de identificar la estructura conceptual del tema de estudio y establecer cómo dos o más términos se relacionan entre sí. Cada color representa un grupo temático, en el que los nodos y enlaces en ese grupo se pueden usar para explicar la cobertura del tema (grupo) de los temas (nodos) y las relaciones (vínculos) entre los temas (nodos) que se manifiestan bajo ese tema (grupo). De las palabras clave recuperadas, 64 palabras clave alcanzaron el umbral. Puede verse que las palabras clave formaron 5 grupos (que se distinguen por los

colores amarillo, azul, rojo, violeta, y verde) para identificar los puntos relevantes de investigación, de acuerdo con el método de agrupamiento predeterminado en RStudio. La Tabla 6 enumera las palabras clave, así como sus frecuencias de co-ocurrencia en cada grupo.

Tabla 6: Clúster por palabra clave

Clúster	Palabra clave	Aparición	Enfoque temático
1	manufacture	34	Tecnología inteligente en la industria manufacturera.
	internet of things	19	
	smart contracts	9	
	computer architecture	8	
	intelligent manufacturing	8	
	emerging technologies	7	
	cloud-computing	5	
2	blockchain	137	Blockchain en la industria manufacturera.
	supply chains	23	
	manufacturing industries	18	
	manufacturing resource	7	
	social manufacturing	7	
3	smart manufacturing	22	Análisis de ciclo de vida en la industria manufacturera.
	digital storage	17	
	life cycle	9	
	machine learning	8	
	quality control	6	
	manufacturing process	5	
4	blockchain technology	26	La tecnología Blockchain asociada a la sostenibilidad.
	sustainable development	9	
	environmental technology	5	
	sustainability	5	

De acuerdo con el análisis bibliométrico realizado se analizan los 4 primeros clústeres. En el clúster 1, la mayoría de las palabras clave hacen referencia a la tecnología inteligente en la industria manufacturera. El clúster 2 analiza Blockchain en la industria manufacturera. El clúster 3 tiene que ver con el análisis de ciclo de vida en la industria manufacturera y el clúster 4 se enfoca en la tecnología Blockchain asociada a la sostenibilidad. El análisis temático por clústeres es una aportación que ayuda a identificar los temas de estudio. Las

principales áreas engloban diferentes aspectos relacionados con la tecnología Blockchain en el ACV.

3.2 Análisis de red de investigaciones

En la Tabla 7 se muestra la clasificación de los trabajos más relevantes, para ello, se empleó el algoritmo Tree of Science, que los categoriza en tres grupos; raíz, tronco y hojas, identificando así, las corrientes emergentes de las tendencias de investigación de la integración de la tecnología Blockchain en el ACV en la industria manufacturera.

Tabla 7: Árbol de la ciencia

		Clúster 1		Clúster 2		Clúster 3	
Análisis de evolución	Hojas	Al-Jaroodi & Mohamed, 2019 Liu & Chen, 2023		Karaszewski et al., 2021 Shou y Domenech, 2022 Carrières et al., 2022 Jiang et al., 2022		Meyliana et al., 2021 Nagariya et al., 2022 (Reja et al., 2022)	
	Tronco	Dutta et al., 2020	Agrawal et al., 2021	Maddikunta et al., 2022	Raja Santhi y Muthuswamy, 2022	Liu et al., 2023	
	Raíz	Abeyratne y Monfared, 2016	Lehmann et al., 2017	Lin et al., 2018	Zhao et al., 2019	Lee et al., 2019	

3.2.1. Raíz (referentes clásicos)

Los documentos originarios producto de la identificación de los indicadores Raíz permitieron categorizar las publicaciones, que se convierten en las investigaciones soporte a referenciar, por ser la base del campo de estudio de la de la tecnología Blockchain. A continuación, se analizan las publicaciones más relevantes de acuerdo con su nivel de citación.

En 2016, la investigación de Abeyratne & Monfared utiliza el término de Blockchain, definiéndolo como base de los libros de contabilidad distribuidos que ofrece una plataforma innovadora para un nuevo mecanismo de transacción descentralizado y transparente en industrias y empresas. Señala que las características de esta tecnología aumentan la confianza a través de la transparencia y la trazabilidad en cualquier transacción de datos, bienes y recursos financieros. Menciona que, recientemente los gobiernos y las grandes empresas han investigado para adoptarla y mejorarla en diversos ámbitos de aplicación, desde las finanzas y las industrias sociales y jurídicas hasta el diseño, la fabricación y las redes de cadenas de suministro.

Mas tarde, Lehmann et al., (2017) mencionan que Blockchain es un libro de contabilidad público que permite transacciones de bajo coste, casi en tiempo real, seguras y con sello de tiempo en una red de participantes entre pares sin necesidad de un tercero; ofrece un gran potencial para las redes de empresas cooperantes de la industria manufacturera.

Después, Lin et al., (2018) presentan un sistema basado en Blockchain para la autenticación mutua y segura, con el fin de aplicar políticas de control de acceso de gran precisión. El sistema propuesto (con firma de atributos integrada, cifrado multireceptor y código de autenticación de mensajes) fue diseñado para ofrecer garantías de privacidad y seguridad, como autenticación anónima, auditabilidad y confidencialidad. La propuesta se adapta bien debido a la utilización de contratos inteligentes.

Finalmente, se encontraron publicaciones en donde Zhao et al., (2019), Lee et al., (2019) mencionan que la tecnología Blockchain es un nuevo enfoque tecnológico digital respaldado por la Industria 4.0 que garantiza la integridad de los datos y evita la manipulación y el fallo de un solo punto ofreciendo tolerancia a fallos, inmutabilidad, confianza, transparencia y trazabilidad completa de los registros de transacciones almacenados a todos los socios de la cadena de valor.

3.2.2. Tronco (referentes estructurales)

Este apartado se centra en los artículos que citan la raíz y proporcionan conocimiento estructural sobre la tecnología Blockchain en la industria manufacturera. Se han identificado publicaciones relevantes, como la de Dutta et al., (2020) en donde señala que Blockchain es una tecnología con una combinación única de características como estructura descentralizada, notas distribuidas y mecanismo de almacenamiento, algoritmo de consenso, contratación inteligente y cifrado asimétrico que garantiza la seguridad, transparencia y visibilidad de la red. Blockchain tiene un inmenso potencial para transformar las funciones de la cadena de suministro, desde la procedencia CS, la reingeniería de procesos de negocio a la mejora de la seguridad. La investigación muestra que, en varios sectores industriales como el transporte marítimo, la fabricación, la automoción, la aviación, las finanzas, la tecnología, la energía, la sanidad, la agricultura y la alimentación, el comercio electrónico y la educación, entre otros, pueden renovarse con éxito con tecnologías basadas en Blockchain mediante una mayor visibilidad y gestión de los procesos empresariales.

La investigación de Agrawal et al., (2021) propone un marco de trazabilidad basado en Blockchain para la trazabilidad en la cadena de suministro textil y de la confección a varios niveles. El sistema propuesto puede crear una confianza basada en la tecnología entre los socios de la cadena de suministro, donde el libro mayor distribuido puede utilizarse para almacenar y autenticar las transacciones de la cadena de suministro. Además, el sistema de trazabilidad basado en Blockchain proporcionaría una oportunidad única, flexibilidad y autoridad a todos los socios para rastrear su red de suministro y crear una cadena de suministro transparente y sostenible en la industria. Maddikunta et al., (2022) menciona que la Industria 5.0 se considera la próxima evolución industrial, el objetivo es aprovechar la creatividad de los expertos humanos en colaboración con máquinas eficientes, inteligentes y precisas, con el fin de obtener soluciones de fabricación eficientes en recursos y preferidas por los usuarios en comparación con la Industria 4.0. en este contexto analiza algunas tecnologías de apoyo a la Industria 5.0, como la computación periférica, los gemelos digitales, los robots colaborativos, el Internet de todas las cosas, el Blockchain y las redes 6G y superiores.

El estudio de Raja Santhi & Muthuswamy, (2022) demuestra que la tecnología Blockchain puede transformar la cadena de suministro y la logística en funciones seguras, ágiles, fiables y transparentes. Un escenario de aplicación conceptualizado demuestra las ventajas de la tecnología Blockchain para proporcionar procedencia y trazabilidad a productos críticos. Liu et al., 2023 proponen un enfoque interactivo de datos basado en Blockchain para formar el mecanismo de intercambio de datos entre pares entre los sistemas de fabricación basados en gemelos digitales. Desarrolla la cadena de bloques de fabricación para tareas de fabricación específicas. La cadena de bloques permite a los sistemas de fabricación de gemelos digitales intercambiar datos de forma eficaz y segura.

3.2.3. Hojas (referentes recientes)

Se identifican y analizan las tendencias de investigación a partir del criterio bibliométrico, categorizando los siguientes tres grupos:

Clúster 1. Blockchain en la Industria manufacturera

En 2023, Liu & Chen, señala que existen fábricas de IoT que han invertido en la arquitectura Blockchain para gestionar los datos del sistema de fabricación para la predicción de inteligencia. La arquitectura del sistema basada en Blockchain puede garantizar el proceso de transmisión y conservación de datos. El empleo de las tecnologías Blockchain y la posibilidad de aplicarlas en diferentes situaciones según Al-Jaroodi & Mohamed, (2019) permite muchas aplicaciones industriales gracias al aumento de la eficiencia y la seguridad, la mejora de la trazabilidad y la transparencia, y la reducción de costes.

Clúster 2. Blockchain para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La investigación de Karaszewski et al., (2021) señala que la tecnología Blockchain, originalmente está relacionada con el sector financiero y las criptomonedas, pero, es una solución innovadora que cada vez se aplica más en otros ámbitos de la economía y los sectores industriales, lo que está en consonancia con las tendencias actuales de desarrollo de este método. Según Shou & Domenech, (2022) la tecnología Blockchain puede permitir una mejor trazabilidad al hacer más transparentes el origen y el trayecto. Los resultados de la investigación ponen de relieve la contribución de la tecnología Blockchain para permitir la trazabilidad y datos fiables para la identificación de puntos críticos ambientales y la cuantificación precisa del potencial circular. El propósito del estudio de Carrières et al., (2022) fue evaluar cómo los datos de trazabilidad de Blockchain pueden mejorar el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los productos manufactureros y medir el valor real de la explotación de estos datos de trazabilidad específicos. Jiang et al., (2022) menciona que el ACV está limitado en las áreas de recopilación y gestión de datos fiables. Blockchain puede resolver este problema almacenando y distribuyendo de forma fiable datos de diversas fuentes sin manipularlos gracias a su naturaleza descentralizada y segura. El estudio propone un sistema de ACV basado en Blockchain y demuestra sus aplicaciones potenciales utilizando datos relativos a los vehículos eléctricos de Tesla.

Clúster 3. Blockchain en la Cadena de Suministro

De acuerdo a Nagariya et al., (2022) la gestión de la cadena de suministro agrícola distribuye productos agrícolas como verduras, frutas, legumbres y cereales. La investigación identifica la adopción de Blockchain por parte de las agroindustrias en su cadena de suministro para lograr la sostenibilidad. Al hacer transparentes las cadenas de suministro, la tecnología puede seguir los productos desde el punto de fabricación y evitar el despilfarro y la ineficiencia. En Reja et al., (2022) la gestión de la cadena de suministro (GCS) es un sistema para gestionar el flujo de bienes y servicios, desde la transformación de la materia prima en productos acabados. Las industrias necesitan digitalizar los activos reales a través de una cadena de bloques (Blockchain) y hacer posibles transacciones distribuidas e inmutables para rastrear los activos desde la fabricación hasta el suministro. De esta manera superar la falta de transparencia y trazabilidad de los productos en el sistema de planificación de recursos empresariales. Finalmente Meyliana et al., (2021) señala que la gestión de la cadena de suministro es el proceso central de la industria. La SCM actual necesita mejorar en algunas áreas porque los datos pueden ser cambiados o borrados, por lo que se necesita la tecnología adecuada para fortalecer la SCM. La tecnología Blockchain es inmutable, segura, distribuida y acreditada ahora en muchas industrias. La investigación trata de crear un modelo SCM utilizando la tecnología Blockchain. El modelo propuesto muestra el apoyo de la tecnología Blockchain en la parte de los procesos SCM. El método utilizado en esta investigación es un método cualitativo con diseño centrado en el usuario, a partir de la literatura para encontrar el proceso que esencial para la formación del modelo.

4. Conclusiones

El estudio tuvo como objetivo proporcionar un análisis bibliométrico de las publicaciones sobre la Tecnología Blockchain para el ACV en la industria. A pesar de que no existe una cantidad considerable de literatura sobre este tema, los autores han observado que la literatura carecía de un análisis bibliométrico. Utilizando el flujo de trabajo de mapeo científico, se investigó la tendencia de las publicaciones científicas sobre el tema, la información inexplorada, las direcciones futuras y las implicaciones. Para responder con precisión el objetivo de investigación, se realizó un análisis bibliométrico mediante el uso del paquete R de bibliometrix. Los resultados identifican países, instituciones, revistas, artículos originales y autores destacados, indicando los canales de investigación más influyentes. El análisis de co-ocurrencias, combinado con el análisis de redes, arrojó clusters reflejan los diferentes enfoques de investigación. Esto aclara las tendencias de la investigación sobre el tema estudiado. El análisis destaca que la integración de Blockchain en el ACV es un campo de reciente exploración, sobre todo en sectores relacionados con la industria. Al ser un tema de actualidad, las investigaciones desarrolladas se encuentran en fases muy tempranas de madurez, formulando el concepto o estudiando su viabilidad de implementación. La integración de Blockchain en el ACV integra el uso de herramientas y tecnologías habilitadoras inteligentes, ofrece un gran potencial para optimizar los criterios de sostenibilidad de la cadena de suministro a través de la excelencia operativa. A partir de los resultados arrojados en este estudio los autores estiman que sería muy interesante la concepción de un sistema para la Integración de Blockchain para el ACV que permita la trazabilidad en las Industrias, es decir, el rastreo de todos los procesos desde la producción hasta el consumo final, para que las empresas acrediten el cumplimiento de la reducción de emisiones de carbono.

5. Referencias

- Abeyratne, S., & Monfared, R. (2016). Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(09), 1-10. <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0509001>
- Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers and Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130>
- Aguirre, K. A., & Paredes Cuervo, D. (2023). Water Safety and Water Governance: A Scientometric Review. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su15097164>
- Al-Jaroodi, J., & Mohamed, N. (2019). Blockchain in Industries: A Survey. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2903554>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Carrières, V., Lemieux, A., Margni, M., Pellerin, R., & Cariou, S. (2022). Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14042109>
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>
- Dutta, P., Choi, T. M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation*

Research Part E: Logistics and Transportation Review.
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>

Gorchakova, N., Belenichev, I., Harnyk, T., Shumeyko, O., & Klymenko, O. (2023). Membranotropic action of phytodrugs. *Fitoterapia*, 4, 5-10. <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2023-4-5>

Gregorio-Chaviano, O., Limaymanta, C. H., & López-Mesa, E. K. (2020). Análisis bibliométrico de la producción científica latinoamericana sobre COVID-19. *Biomédica*, 40(Supl. 2), 104-115. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5571>

Hernández-Betancur, J. E., Montoya-Restrepo, I., & Montoya-Restrepo, L. A. (2020). The tree of science of deliberate and emergent strategies. *IIMB Management Review*. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2020.12.004>

Hevey, D. (2018). Network analysis: A brief overview and tutorial. *Health Psychology and Behavioral Medicine*. <https://doi.org/10.1080/21642850.2018.1521283>

Jiang, L., Gu, Y., Yu, W., & Dai, J. (2022). Blockchain-based Life Cycle Assessment System for ESG Reporting. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/SSRN Electronic Journal>

Karaszewski, R., Modrzyński, P., Müldür, G. T., & Wójcik, J. (2021). Blockchain technology in life cycle assessment—New research trends. *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en14248292>

Lee, J., Azamfar, M., & Singh, J. (2019). A blockchain enabled Cyber-Physical System architecture for Industry 4.0 manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2019.05.003>

Lehmann, C., Schock, C., Uhlemann, T. H., & Küfner, T. (2017). Requirements for blockchain applications in manufacturing small and medium sized enterprises. *24th International Conference on Production Research*. <https://doi.org/10.12783/dtetr/icpr2017/17601>

Lin, C., He, D., Huang, X., Choo, K. K. R. V., & 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*. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.05.005>

Liu, H., & Chen, Y. (2023). Using blockchain technology in IoT manufacture environment for intelligence prediction. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06044-1>

Liu, S., Lu, Y., Li, J., Shen, X., Sun, X., & Bao, J. (2023). A blockchain-based interactive approach between digital twin-based manufacturing systems. *Computers and Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108827>

López, A. C. C., Marin, A. A. L., & Pérez, M. Á. de las H. (2024). Indagación, modelización y pensamiento computacional: Un análisis bibliométrico con el uso de Bibliometrix a través de Biblioshiny. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(1), Article 1. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1102

Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V. B. P., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>

Malcolm, K. (2021). Systemic Lupus Erythematosus Research: A Bibliometric Analysis over a 50-Year Period. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137095>

Meyliana, Surjandy, Fernando, E., Cassandra, C., & Marjuki. (2021). Propose Model Blockchain Technology Based Good Manufacturing Practice Model of Pharmacy Industry in

Indonesia. *2021 2nd International Conference on Innovative and Creative Information Technology, ICITech 2021*. <https://doi.org/10.1109/ICITech50181.2021.9590120>

Nagariya, R., Mukherjee, S., Baral, M. M., Patel, B. S., & Venkataiah, C. (2022). The Challenges of Blockchain Technology Adoption in the Agro-based Industries. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*. <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2022.7.6.059>

Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2022). Influence of Blockchain Technology in Manufacturing Supply Chain and Logistics. *Logistics*. <https://doi.org/10.3390/logistics6010015>

Reja, K., Choudhary, G., Shandilya, S. K., Sharma, D. M., & Sharma, A. K. (2022). *Blockchain in Logistics and Supply Chain Monitoring*. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-8697-6.ch006>

Robledo, S., Arbelaez-Echeverri, O., Duque, P., Zuluaga, M., Alzate-Cardona, J. D., & Valencia, L. A. (2022). Tree of Science with Scopus: A Shiny Application. *Issues in Science and Technology Librarianship*. <https://doi.org/10.29173/istl2698>

Shou, M., & Domenech, T. (2022). Integrating LCA and blockchain technology to promote circular fashion – A case study of leather handbags. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133557>

Valencia-Hernández, D. S., Robledo, S., Pinilla, R., Duque-Méndez, N. D., & Olivar-Tost, G. (2020). Sap algorithm for citation analysis: An improvement to tree of science. *Ingenieria e Investigacion*. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n1.77718>

Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgueta, S., Chen, H., & Boshkoska, B. M. (2019). Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>

Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

