

Current trends in Industry 4.0 and the supply chain in the period 2020 to 2023: A systematic review of the literature

David Isaí Rojas Sánchez, Br. International Business¹, Juan Manuel Callupe Macuri, Br. International Business², Kenneth Rubén Rodríguez Cucho, Br. International Business³, Leonela Eymi Marcilla Pascua, Br. International Business⁴, Mónica Milagros Romero Cisneros, Br. International Business⁵, and Jorge Alfonso Santa Cruz Salazar, Ph. D. Candidate in Administration⁷ and  Julio Ricardo Moscoso Cuaresma, Ph. D. Candidate in Law⁶

^{1,7} Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201814277@upc.edu.pe, u201824018@upc.edu.pe, u201824016@upc.edu.pe, u201824075@upc.edu.pe, u201824017@upc.edu.pe, pccpjsan@upc.edu.pe and julio.moscoso@upc.pe

Abstract– This study examines the constantly evolving complexity of markets and the need for adaptation in supply chain management, highlighting the relevance of Industry 4.0. Through a systematic literature review of 40 articles published between 2020 and 2023, it analyzes the trends and crucial elements that connect both variables, discovering their strong link with three fundamental factors: sustainability, the actors involved and, finally, digitalization. Moreover, this study offers an original theoretical perspective on the current management of supply chain management, providing a referential framework that may be useful for future research in the field, while at the same time proposing a bibliographic methodological tool useful to the field of knowledge for its scrutiny through future research.

Keywords– Industry 4.0, Supply Chain, Sustainability, Agent Relations, Digitalization

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Tendencias actuales de la Industria 4.0 y el Supply Chain en el periodo 2020 a 2023: una revisión sistemática de la literatura

David Isaí Rojas Sánchez, Br. International Business¹, Juan Manuel Callupe Macuri, Br. International Business², Kenneth Rubén Rodríguez Cucho, Br. International Business³, Leonela Eymi Marcilla Pascua, Br. International Business⁴, Mónica Milagros Romero Cisneros, Br. International Business⁵, and Jorge Alfonso Santa Cruz Salazar, Ph. D. Candidate in Administration⁷ y  Julio Ricardo Moscoso Cuaresma, Ph. D. Candidate in Law⁶

^{1,7} Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201814277@upc.edu.pe, u201824018@upc.edu.pe, u201824016@upc.edu.pe, u201824075@upc.edu.pe, u201824017@upc.edu.pe, pccpjsan@upc.edu.pe y julio.moscoso@upc.pe

Resumen– Este estudio investiga la complejidad en constante evolución de los mercados y la necesidad de adaptación en la gestión de la cadena de suministros, destacando la relevancia de la Industria 4.0. A través de una revisión sistemática de literatura de 40 artículos publicados entre los años 2020 y 2023, se analizan las tendencias y elementos cruciales que conectan ambas variables, descubriendo su fuerte vinculación con tres factores fundamentales: la sostenibilidad, los agentes involucrados, y, por último, la digitalización. Este estudio, además, ofrece una perspectiva teórica original sobre la gestión actual de la gestión de la cadena de suministros, aportando un marco referencial que puede ser útil para futuras investigaciones en el área, al mismo tiempo que propone una herramienta metodológica bibliográfica útil al campo de conocimiento para su escrutinio a través de futuras investigaciones.

Palabras clave– Industria 4.0, Supply Chain, Sostenibilidad, Relaciones de Agentes, Digitalización

I. INTRODUCCIÓN

La literatura actual preferentemente menciona que las organizaciones están preocupadas por mejorar el rendimiento dentro de sus cadenas, por lo cual se enfocan en implementar los avances tecnológicos que les permita contar con canales de comunicación competentes y herramientas colaborativas [1]. Además, varios autores señalan que la Industria 4.0 representa una nueva era en la producción industrial, caracterizada por la integración de tecnologías avanzadas con el fin de potenciar la eficiencia y el rendimiento de las empresas a lo largo de la cadena de valor [2].

Es importante enfatizar la influencia que de la Industria 4.0 posee en el *Supply Chain*, ya que ofrece una oportunidad estratégica para mejorar la competitividad de las empresas en el futuro, ayudando a optimizar las cadenas de valor [3]. Aunque la integración de las tecnologías *Lean Supply Chain Management* y la Industria 4.0 son fenómenos de estudios relativamente recientes, estas han recibido mucha atención y un gran interés, porque son campos recientes de práctica e investigación con enfoque industrial, lo que refleja la importancia de mantener una actualización constante de los fenómenos empíricos que ocurran en la coyuntura actual [4]. Además, la integración industrial del *Lean Supply Chain Management* y la Industria 4.0 tiene el potencial de generar importantes mejoras en la eficiencia y la calidad de la cadena de suministro.

Por otro lado, se busca desarrollar la brecha de la implementación del *supply chain management* en el contexto de la Industria 4.0, centrándose en la sustentabilidad, la transformación digital y la flexibilidad de las empresas para adaptarse. A pesar del creciente interés empírico en la integración de la Industria 4.0 en las operaciones de la cadena de suministro, hay una falta de investigaciones teóricas que aborden los desafíos y oportunidades asociados con la implementación del SCM en los negocios. Esta brecha científica se manifiesta en la falta de comprensión de las tendencias actuales sobre cómo las empresas pueden aprovechar plenamente las tecnologías de la Industria 4.0 para mejorar la sostenibilidad, la eficiencia y la flexibilidad.

Por tanto, esta investigación cualitativa tiene como principal propósito describir y analizar las actuales tendencias de investigación que se hayan publicado sobre las variables de la Industria 4.0 y el *Supply Chain* durante el periodo de los años 2020 y 2023, además de establecer y examinar tres objetivos específicos: (i) determinar el impacto que mantiene en la sostenibilidad, (ii) analizar el impacto de las relaciones de los agentes involucrados; y, (iii) evaluar el impacto de digitalización.

II. MARCO TEÓRICO

A. Acerca de la Industria 4.0

Es importante definir a que nos referimos cuando usamos el término industria 4.0. Khan y otros autores la definen como un sistema de producción novedoso que se apoya en la tecnología de la información, creado e implementado para fomentar tanto la productividad como el desarrollo sostenible [5]. Por otra parte, la Industria 4.0 se caracteriza por la integración de tecnologías digitales avanzadas en los procesos de producción y la automatización de los sistemas de manufactura [2].

En cuanto a su objetivo, la literatura menciona que las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 pueden ser utilizadas para mejorar la eficiencia y la transparencia en la gestión de la cadena de suministro, lo que contribuye a la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental [1].

Otros autores señalan que la clave para obtener los beneficios en la digitalización, la integración y optimización de la cadena de suministro es implementar las tecnologías

brindadas por la Industria 4.0 [6]. El Foro Económico Mundial señala, además, que la cuarta revolución industrial impulsó el uso de tecnologías como la robótica avanzada, la inteligencia artificial, las técnicas de procesamiento e intercambio de datos, el Internet de las cosas, entre otras tecnologías [7].

B. *Acerca del Supply Chain*

Para el desarrollo de esta investigación es fundamental también entender la definición de *Supply Chain* o cadena de suministro. Autores como Zhang y otros la definen como una cadena que junta a socios, se organiza y adapta a los diferentes cambios ambientales de forma inteligente, asimismo, sigue decisiones efectivas que ayudan a lograr los objetivos comerciales de forma más eficiente [8].

La cadena de suministro se caracteriza por su capacidad de integración, inteligencia, adaptabilidad y búsqueda automatizada de optimización. La gestión de esta cadena es un proceso dinámico y progresivo que abarca tanto la integración vertical como horizontal, además del impulso continuo de tecnología e innovación empresarial [4]. A partir de ello, el concepto de la cadena de suministro inteligente está relacionada con la toma de decisiones eficientes, de tal forma que ayuda a cumplir con los objetivos organizacionales, el desarrollo tecnológico y la innovación.

Por otro lado, la cadena de suministro funciona como una red coordinada y armoniosa, que engloba muchos proveedores, fabricantes, distribuidores y clientes; con la finalidad de lograr productos que satisfagan las necesidades de los consumidores [9]. Esta definición coincide con la afirmación de que la cadena de suministro es un conjunto de actividades funcionales que engloba redes de instalaciones, vehículos y sistemas de información logísticos. Estos elementos facilitan la conexión entre proveedores, fabricantes y distribuidores, con el objetivo último de transformar materias primas en productos terminados que satisfagan las necesidades de los clientes [10].

Asimismo, las cadenas de suministro están adoptando grandes cambios hacia la digitalización, automatización y agilidad de sus procesos, ya que las organizaciones buscan que sus cadenas se vuelvan más eficaces, flexibles, transparentes y sólidas [11].

C. *La industria 4.0 y la sostenibilidad en la cadena de abastecimiento*

La Industria 4.0 y la sostenibilidad en la cadena de suministro están estrechamente vinculadas y pueden lograrse simultáneamente a través de la innovación en tecnologías y la aplicación de prácticas sostenibles. La implementación de la tecnología de la Industria 4.0, permite, entonces, una gestión sostenible más eficaz de la cadena de suministro (SSCM) mediante la toma de decisiones precisas en cuanto a las actividades de la cadena y la promoción del desarrollo circular [12]. De igual manera, la utilización de recursos renovables y la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 en las cadenas de suministro permiten la implementación de prácticas de economía circular y fomentan el avance hacia un desarrollo sostenible [13]. Por otra parte, el propósito fundamental de la Industria 4.0 consiste en lograr que los procesos y sistemas de

producción sean eficaces, automatizados y respetuosos con el medio ambiente [14].

La literatura coincide en determinar que es fundamental que las empresas adopten un enfoque para implementar Industria 4.0 en su cadena, considerando no solo los beneficios de la tecnología digital en términos de eficiencia y productividad, sino también los impactos en la sostenibilidad social y ambiental. Afirman, también, que en la actualidad existe un enfoque empresarial innovador que utiliza tecnologías avanzadas para facilitar la transición de las organizaciones hacia el desarrollo sostenible [14]. Así, entonces, los sistemas inteligentes que forman parte de la Industria 4.0, tienen un impacto positivo en la sostenibilidad, ya que optimizan el uso de los recursos y la tecnología, abordando el desafío de la aplicación del desarrollo sostenible que ha sido reconocida a nivel mundial.

Por último, existe una gran cantidad de artículos recientes que se enfocan en la interacción entre la sostenibilidad y las tecnologías de la Industria 4.0 [15]. Esto implica que el mundo académico está realizando una importante contribución para mantenerse al día con la rápida evolución de las industrias y las políticas de sostenibilidad; y, por tanto, es una prioridad académica y empírica para la protección de la humanidad y el medio ambiente.

D. *Los agentes involucrados en la cadena de abastecimiento y la Industria 4.0*

Los agentes involucrados en el *Supply Chain* o *Stakeholders* tienen un papel importante en la industria 4.0. La definición de cadena de suministro 4.0 presentada por corresponder a “un enfoque transformacional y holístico para su gestión utiliza tecnologías disruptivas de la industria 4.0 para optimizar los procesos, actividades y relaciones de la cadena de suministro con el fin de generar beneficios estratégicos significativos para todos los participantes [16].

La construcción de relaciones entre las partes interesadas es fundamental para la adopción de prácticas de Big Data en el contexto de la Industria 4.0 orientada hacia la circularidad. Sin una colaboración efectiva entre los stakeholders, la implementación de prácticas de la Industria 4.0 se vuelve considerablemente más compleja. En un entorno impulsado por el Big Data, la tecnología inteligente tiene el potencial de procesar grandes volúmenes de datos de manera rápida y eficiente para impulsar la adopción de prácticas de la Industria 4.0. La interoperabilidad y la extensibilidad emergen como aspectos cruciales que pueden asistir a las organizaciones en el desarrollo de un marco sólido de Big Data y en la integración de tecnologías de la Industria 4.0 hacia modelos de prácticas circulares [5].

Durante mucho tiempo, las organizaciones han sido conscientes del impacto positivo que las innovaciones tecnológicas tienen en el desempeño de la cadena de suministro. Estas innovaciones no solo son impulsadas por las propias organizaciones, sino también por su red de socios y clientes en la cadena de suministro. Se ha constatado que las actividades de innovación colaborativa contribuyen significativamente a mejorar el rendimiento general y la capacidad innovadora de las cadenas de suministro [17]. Por tanto, es necesario lograr con

la Industria 4.0 una visión común de la transición a una economía circular que unifique a estos actores en la creación de estrategias de transformación [18].

E. La digitalización en la cadena de abastecimiento y la Industria 4.0

El paso a la industria 4.0 fue inevitable, al incluir una amplia gama de tecnologías innovadoras que están cambiando los negocios en muchas industrias [11]. Durante los últimos años se observa un cambio hacia la digitalización dentro de las cadenas de suministro [12].

Las características principales de la industria 4.0 son la cooperación e integración de sistemas horizontales y verticales. Respecto a la integración vertical, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) se integran en diferentes niveles organizacionales, desde el control local hasta los niveles de producción, operaciones y gestión [14]. En cuanto a la integración horizontal, se utilizan las tecnologías de la información y las comunicaciones para intercambiar información, de forma efectiva, entre los diferentes actores dentro la cadena de suministro [11]. Finalmente, la implementación de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 dentro de la cadena de abastecimiento puede ayudar a la organización a disminuir costos, aumentar la productividad, eficiencia y flexibilidad, así como también mejorar la personalización de los productos [9].

III. METODOLOGÍA

Existen dos tipos de revisiones sistemáticas: cualitativas o cuantitativas (y las de meta-análisis) [20]. Para realizar el análisis de los artículos y sabiendo que la investigación sistemática cualitativa se establece por la validación de la audiencia, se recopilan artículos de investigación cualitativa que han sido publicados entre los años 2020 y 2023, estos a su vez extraídos en las plataformas de Scopus y Web of Science. Para la investigación cualitativa, por otro lado, existe una data grande de fuentes sobre herramientas de recolección de datos y que, además, estas se pueden usar de forma individual o conjunta [21].

Finalmente, es crucial destacar que esta revisión sistemática de literatura se realizó siguiendo las pautas establecidas en la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Esta metodología garantizó la transparencia, reproducibilidad y rigurosidad en la selección y síntesis de la evidencia científica. Se implementaron, además, pasos específicos, como la definición de la pregunta de investigación, la búsqueda exhaustiva y sistemática de artículos, la selección de estudios pertinentes según los criterios predefinidos, la extracción y síntesis de datos, y la evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos. Al seguir estas directrices, se aseguró la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos, permitiendo así generar conclusiones fundamentadas y relevantes para el avance del conocimiento en el campo de la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro. Los criterios de selección para mayor detalle se encuentran detallados en la Tabla I.

TABLA I

CRITERIOS PARA LA BÚSQUEDA EN LA SELECCIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Base	Keywords	Área	Orden	Tipo
Scopus	Supply chain	Business	Grado de vínculo con el tema principal	Artículo
Web of Science	Digitalización	Management	Fecha de publicación	Artículo
Scopus	Sostenibilidad	Engineering	Número de citas	Artículo
Scopus	Cadena de suministro	Business	Nivel de cuartil del artículo	Artículo

Nota. Esta tabla muestra los criterios empleados para la exploración y selección de tablas de investigación

IV. RESULTADOS

Para este estudio, se eligieron 40 artículos, todos redactados en inglés. Respecto al año de publicación, abarcan el período comprendido entre 2020 y 2023, garantizando así información actualizada. Estos artículos fueron seleccionados principalmente de la base de datos de Scopus y, en menor medida, de Web of Science. Un criterio crucial de búsqueda fue que todos los artículos abordaran las dos variables elegidas: Industria 4.0 y Cadena de Suministro.

TABLA II
PUBLICACIONES POR AÑO Y CUARTIL DE LA INDUSTRIA 4.0 Y EL SUPPLY CHAIN EN EL PERIODO 2020 A 2023

	2020	2021	2022	2023	Total	%
Q1	1	4	4	24	33	82.50%
Q2	0	0	0	4	4	10.00%
Q3	0	0	0	0	0	0.00%
Q4	0	0	0	3	3	7.50%
Total	1	4	4	31	40	100.00%
%	2.50%	10.00%	10.00%	77.50%		

Nota. Elaboración propia, 2023.

En relación con los artículos por año y por cuartil, se observa que el 82.5% se encuentran en el cuartil 1; asimismo el 77.50% de ellos fueron publicados en el año 2023. El análisis detallado de la distribución de los artículos por año y cuartil revela tendencias significativas en la evolución y el reconocimiento académico de la investigación relacionada con la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro. Se observa un aumento progresivo del número de artículos ubicados en el cuartil 1 a lo largo de los años y concentrándose la mayoría de ellos en el año 2023. Este incremento sugiere un creciente reconocimiento de la calidad y relevancia de la investigación en este campo, posiblemente impulsado por avances tecnológicos y cambios en las demandas del mercado. Este análisis respalda, además, la importancia y la creciente atención hacia la intersección entre la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro en el ámbito académico.

TABLA III
PUBLICACIONES POR ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN Y RELACIÓN INDUSTRIA 4.0 Y SUPPLY CHAIN: 2020- 2023

Relación Industria 4.0 y Supply Chain				
Enfoque	Nº	Sí	No	Ambiguo
Cualitativo	34	30	-	4
Cuantitativo	2	2	-	-
Mixto	4	3	-	1

Total	40	35	-	5
Cualitativo	85.00%	88.24%	-	11.76%
Cuantitativo	5.00%	100.00%	-	-
Mixto	10.00%	75.00%	-	25%
Total	100.00%	87.50%	-	12.50%

Nota. Elaboración propia, 2023.

Mayoritariamente, los artículos revisados, señalan también que sí existe un efecto positivo de las tendencias de la industria 4.0 sobre el *Supply Chain* en un (87.5%). Además, Actualmente, las economías más avanzadas del mundo, las industrias globales y las empresas de consultoría colocan las prioridades de la cadena de suministro en la cima de las prioridades industriales [22].

TABLA IV
PUBLICACIONES POR PAÍS ORIGEN DE LA INVESTIGACIÓN: 2020-2023

Países	Cantidad	Porcentaje
Alemania	1	2.38%
Brasil	2	4.76%
Canadá	2	4.76%
Estados Unidos	4	9.52%
India	3	7.15%
Irán	1	2.38%
Países Bajos	1	2.38%
Reino Unido	25	59.53%
Turquía	1	2.38%
Singapur	1	2.38%
Suiza	1	2.38%

Nota. Elaboración propia, 2023.

El análisis de la distribución de las publicaciones por país de origen (ver Tabla I) revela una predominancia significativa del Reino Unido en la investigación relacionada con la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro durante el período 2020-2023, representando el 59.53% del total de las publicaciones. Este hallazgo sugiere un liderazgo destacado de instituciones y académicos británicos en este campo específico. Además, se observa una representación diversa de otros países, aunque en menor medida. Los Estados Unidos, Brasil, Canadá e India también contribuyen significativamente a la investigación en este ámbito, cada uno representando entre el 4.76% y el 9.52% del total de las publicaciones. Por otro lado, países como Alemania, Irán, Países Bajos, Turquía, Singapur y Suiza muestran una participación más limitada, cada uno contribuyendo con el 2.38% de las publicaciones. Este análisis resalta la importancia de considerar las contribuciones de diferentes países en el panorama global de la investigación en la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro.

TABLA V
NÚMERO DE CITAS CODIFICADAS EN ATLAS TI

Nro.	Tipo de objetivo	Campo	Codificación	Cantidad de citas
1	1	Sostenibilidad	Economía Circular	25
2	1	Sostenibilidad	Circularidad	6

3	1	Sostenibilidad	Sostenibilidad	88
4	1	Sostenibilidad	Medio Ambiente	4
5	1	Sostenibilidad	Tecnologías digitales	13
6	1	Sostenibilidad	Innovación	8
7	2	Agentes Involucrados	Stakeholders	43
8	2	Agentes Involucrados	SCOR	5
9	2	Agentes Involucrados	Supply Chain Management	30
10	2	Agentes Involucrados	Potencial de crear valor	29
11	2	Agentes Involucrados	Competitividad	5
12	3	Digitalización	Tecnología	66
13	3	Digitalización	Big Data	25
14	3	Digitalización	Herramientas de Industria4.0	57
15	3	Digitalización	Automatización	18
16	3	Digitalización	Inteligencia de las cosas	18
17	3	Digitalización	Blockchain	17
18	H	Hallazgos	Industria 4.0	138
19	H	Hallazgos	Supply Chain	120
20	H	Hallazgos	Barreras de la industria 4.0	16

Nota. Elaboración propia, 2023.

Con relación a las codificaciones de los objetivos, la tabla Nro. 5 muestra la cantidad de códigos sistematizados en AtlasTi que se alcanzaron por cada campo y codificación. El análisis expuesto, además, proporciona una visión detallada de los objetivos y campos de investigación en el ámbito de la Industria 4.0 y la gestión de la cadena de suministro, así como la cantidad de citas que cada uno ha recibido. Se observa que la sostenibilidad es un objetivo clave, con la mayoría de las citas concentradas en este campo, seguido de las tecnologías digitales y la economía circular. En cuanto a los agentes involucrados, se destacan las investigaciones sobre los *stakeholders* y el potencial de crear valor en la cadena de suministro. En el ámbito de la digitalización, se observa un interés significativo en la tecnología, las herramientas de la Industria 4.0 y el Big Data.

V. DISCUSIÓN

A. Tendencias de sostenibilidad, supply chain e Industria 4.0

En relación con el objetivo 1 de sostenibilidad, se identificaron diversas categorías y códigos los cuales guardan relación con el objetivo específico planteado. La literatura coincide en señalar que el sistema de retroalimentación de la evaluación de la sostenibilidad garantiza que toda la cadena funcione sin dañar el medio ambiente ni la sociedad y hace realidad el desarrollo circular mediante una toma de decisiones precisa y trazable [12]. Por otro lado, la economía mundial no puede seguir basándose en un modelo extractivo que ignore los recursos naturales y los ecosistemas medioambientales porque

es previsible que el actual paradigma económico de "tomar-hacer-usar" sea insostenible [23]. Finalmente, las innovaciones de la Industria 4.0 pueden impulsar prácticas más sostenibles, pero obliga a los profesionales a tener en cuenta los aspectos de sostenibilidad social y medioambiental cuando se diseñan nuevos procesos y modelos empresariales y se introducen cambios en las cadenas de suministro y los productos [5].

Una de las categorías examinadas se refiere a las investigaciones sobre sostenibilidad, las cuales presentan desafíos y oportunidades para el progreso tecnológico y los avances en diversos sectores empresariales. Esta temática se encuentra claramente ilustrada en el análisis realizado por Ghadge y otros investigadores, quienes señalan que, desde una perspectiva de gestión, las organizaciones implementan diversas estrategias para promover políticas de desarrollo sostenible. Además, destacan que, aunque la adopción de la Industria 4.0 varía según el tamaño de la organización y el área de operaciones de acuerdo con el SCOR, ambas iniciativas ofrecen beneficios tangibles para mejorar las cadenas de suministro. [14]. Por otro lado, en el escenario actual, las empresas compiten constantemente para mejorar su rendimiento empresarial; las buenas prácticas pueden llevar a las empresas a lograr resultados sostenibles y la transición a la economía circular [24]. La implementación del enfoque *Lean* genera una mejora en el rendimiento operativo, siendo necesario que la empresa continúe implementando las metodologías suaves como las rigurosas de la Industria 4.0.

Acerca de las tecnologías avanzadas de la Industria 4.0 y sus beneficios, la literatura coincide en determinar que estas impulsan la integración de procesos para lograr objetivos de sostenibilidad, e indican que es necesario que los directivos reconozcan la importancia de integrarlas correctamente para obtener resultados positivos, siendo fundamental la colaboración y cooperación constante de todas las partes involucradas [15]. Investigaciones futuras recomiendan analizar cómo las organizaciones pueden integrar de manera efectiva sus objetivos de sostenibilidad social y ambiental en sus estrategias comerciales y cómo estas afectan el rendimiento organizacional, pues se reconoce la importancia de este fenómeno de negocios en la actualidad [5].

Otra categoría relevante es la economía circular, que establece una conexión entre el consumo de recursos y los desechos, con el fin de reducir o eliminar la contaminación y los residuos. En resumen, su objetivo es optimizar el uso de las materias primas disponibles y prolongar el ciclo de vida de los productos [1]. La integración de la economía circular en la cadena de suministro conlleva numerosos beneficios, ya que ayuda a mitigar los impactos ambientales de la industrialización [26]. En una revisión sistemática de la literatura realizada por [5], se encontró una notable tendencia hacia la vinculación de conceptos de la Industria 4.0 y la sostenibilidad. Muchos artículos examinados abordaban innovaciones basadas en la Industria 4.0 que se relacionaban con los pilares de la sostenibilidad, como aspectos económicos, sociales y ambientales, economía circular, modelos de negocio sostenibles y el logro de los objetivos de desarrollo sostenible, entre otros [15].

Además, se destaca que, para un rendimiento óptimo en la cadena de suministro circular, la servitización y la competencia son esenciales [26]. Esto se debe a que lograr un desempeño eficiente en la cadena de suministro circular requiere la participación efectiva de diversas partes interesadas en diferentes niveles del sistema.

Por último, en relación con el primer objetivo, es importante mencionar el papel de las tecnologías de la Industria 4.0 en el contexto de una gestión de la cadena de suministro sostenible (SSCM). En los últimos años, la Industria 4.0 no solo ha promovido la innovación, sino que también ha avanzado hacia la creación de un valor industrial más sostenible, dada su importancia actual [5]. Por lo tanto, la Industria 4.0 debe adaptarse a este nuevo paradigma y satisfacer las necesidades actuales del mercado. En este sentido, la llegada de la Industria 4.0 está transformando la forma en que las empresas adquieren, mejoran y distribuyen sus productos, lo que ha motivado la integración de nuevas tecnologías en las instalaciones y procesos de producción de los fabricantes [1]. Por lo tanto, consideran necesario que las organizaciones también se adapten a estos cambios operativos futuros y amplíen su oferta para responder a las cambiantes tendencias comerciales. Se resalta, también, la importancia y la aplicación de las tecnologías centrales de la Industria 4.0, como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), la computación en la nube, la cadena de bloques (Blockchain), el análisis de datos masivos y los gemelos digitales, para lograr una SSCM [23], [1].

B. Tendencias de los agentes involucrados de Supply Chain en la Industria 4.0

Analizando el objetivo 2 mediante la herramienta de Atlas Ti se afirma que la principal categoría generada es el de Stakeholders o "agentes involucrados". Una de los principales argumentos radica en establecer que las empresas están impulsando el cambio hacia una transformación digital apoyadas también por sus socios y clientes [27]. Otros autores indican que la transición de las cadenas de suministro tradicionales a las digitales implica la interacción de las partes involucradas dentro de las cadenas de suministro [22]; sin embargo, la ausencia de comunicación afecta de manera significativa a la cadena debido a la existencia de múltiples actores que tienen escaso o nulo conocimiento de las acciones que realizan los demás agentes participantes [28]

Por otro lado, los estados cuentan con papel crucial en la promoción de cadenas de suministro circulares mediante la implementación de leyes y políticas apropiadas [26]. La gobernanza en la gestión de la cadena de suministro es fundamental para que los gerentes tengan la capacidad de emplear los recursos internos de las empresas de forma intencionada y de acuerdo a la misión y visión organizacional que tengan los estados nación [7]. En este escenario, las compañías se enfrentan a un nuevo modelo industrial que redefine su enfoque tradicional hacia la generación de valor a políticas que sean más sostenibles en el tiempo [15].

Otra categoría señalada, es la del *Supply Chain Operations* (SCOR). Diversos autores indican que es esencial tener en cuenta los requisitos de la Industria 4.0 para fomentar la colaboración entre proveedores y fabricantes [29]. La ausencia

del seguimiento adecuado puede dar lugar a problemas en la cadena de suministro y socavar la confianza de los clientes, lo cual puede tener como consecuencia una disminución en las ventas y menores ganancias [28], siendo el principal objetivo de la herramienta SCOR la de establecer una estructura unificada que facilite la comunicación entre los distintos actores involucrados en la cadena de suministro [7].

La gran mayoría de los hallazgos de los autores coinciden en que la implementación de las herramientas digitales brindadas por la Industria 4.0 en la cadena de suministro generan la creación de distintas redes digitales [11], [30]. Siendo su característica principal su mayor enfoque en el cliente y su capacidad para cumplir con las necesidades primordiales de todas las partes involucradas, como proveedores, terceros, productos y servicios [22]. Hopkins y otros autores mencionan que el tiempo en el que las cadenas de suministro compiten entre sí, es cada vez más crucial para seguir avanzando en el desarrollo de soluciones digitales novedosas y enfocadas en satisfacer al cliente [27]. En este contexto, es importante seleccionar un proveedor que cumpla con los requisitos de la industria 4.0, ya que esto fomentará estrategias de colaboración entre proveedores y fabricantes [29].

Por último, la literatura coincide en establecer que se investigue el rediseño de la cooperación entre otros miembros de la cadena de suministro o incluso a competidores, para conocer la forma como vienen generando innovación de sus procesos, así como ir más allá, con el estudio de investigaciones que analicen los límites organizativos, con el objetivo conocer con mayor detalle sus aplicaciones prácticas y su impacto en los consumidores [31]. Por otra parte, es necesario señalar que la literatura también recomienda analizar los fenómenos vinculados con la gestión de la información y su almacenamiento dentro de las cadenas de bloques internos, así como su influencia en las cadenas de bloques externos, a fin de garantizar estudios más rigurosos que garanticen la transparencia y rastreabilidad de cada una de las operaciones de la cadena de suministro [28]. Finalmente, la literatura afirma que la adopción de la Industria 4.0 es un reto que demanda dedicación y una constante motivación por parte de todos los involucrados internamente [32]; por tanto, el apoyo y financiamiento de la actividad empresarial es fundamental para la mejora de eficiencia.

C. Tendencias de la digitalización en el Supply Chain en la Industria 4.0

Diversos autores señalan que la manufactura y sus industrias aliadas, así como los procesos de creación de valor, están experimentando una novedosa transformación digital impulsada por la "Industria 4.0" [28]. Los fabricantes y las partes interesadas de la cadena de suministro están incorporando IoT, *blockchain*, computación en la nube, análisis y aprendizaje automático para rediseñar sus procesos de negocio [14], a fin que las organizaciones mejoraren su capacidad y toma de decisiones comerciales. Se cree que IoT, CPS, automatización y robótica y AM están aportando beneficios significativos a las organizaciones. La literatura concuerda en que las empresas deben evaluar si la asignación de recursos financieros se adapta al entorno comercial y si su

infraestructura está adecuadamente desarrollada para cumplir con los requisitos de la automatización. [6].

Por otro lado, la literatura se concentra en aquellos estudios investigan en el efecto la *big data*, el Internet de las cosas y el gemelo digital, entre otros, en la gestión de la cadena de suministro; y, la forma cómo ayudan a las organizaciones a lograr ventajas competitivas [33], así como su aplicación industrial en los servicios de consultoría, educación, capacitación, gobierno corporativo, comercio exterior, manufactura, recursos humanos y comercio minorista [27]. Futuras investigaciones deben priorizar análisis de las variables que integren a las organizaciones empresariales y su impacto en el uso de las tecnologías derivadas de la Industria 4.0 y la sostenibilidad [34].

Por otro lado, existen diversas investigaciones que estudian el impacto del uso del *blockchain*, los contratos inteligentes y el Internet de las cosas (IoT), como tecnologías esenciales para la reingeniería de procesos comerciales de las cadenas de suministro [28]; incluso aquellas investigaciones que analizan su impacto en el sector bancario y financiero, que priorizan la aceleración de la eficiencia y reducción de los costos relacionados con los pagos y las transacciones bancarias [35]. Así también, la literatura concentra su atención en los problemas que enfrenta la Industria 4.0, como el caso de la seguridad cibernética.

Asimismo, el uso de tecnologías como el *blockchain* y la *big data* puede brindar el apoyo necesario para establecer sistemas legales y mejorar las regulaciones ambientales, ya que la transparencia es un tema crucial para los sistemas de impuestos e incentivos al permitir un manejo automatizado y eficiente [36], máxime cuando la Industria 5.0, con inteligencia artificial y tecnología *blockchain*, facilitará la gestión de la ciberseguridad, los sistemas de capacitación y administración virtual efectivos, así como la producción y entrega más rápida de bienes y servicios [37].

La revisión sistemática resalta el papel crucial en la configuración de redes de cadena de suministro más inteligentes y conectadas, que ofrecen una gama de beneficios significativos. Estos incluyen una mayor transparencia y seguimiento en tiempo real, pronósticos más precisos, personalización mejorada de productos, reducción de ineficiencias y una mayor automatización de tareas repetitivas [27].

Desde la perspectiva de la Industria 4.0, se subraya el potencial de la tecnología inteligente para manejar eficientemente grandes volúmenes de datos, acelerando así la implementación de prácticas industriales avanzadas [34]. Además, se destaca la digitalización en el abastecimiento, que implica el uso de tecnologías digitales como aplicaciones móviles, *big data* y computación en la nube para optimizar el proceso de adquisición [38].

En el contexto de la revisión sistemática, la categoría de Tecnología emerge como un factor crítico, teniendo investigaciones que señalan que la digitalización de la cadena de suministro en el sector de la atención médica mejora el desempeño, pero sugieren que su impacto puede ser aún mayor cuando se combinan con habilidades de resiliencia, especialmente en contextos específicos como India y Brasil

[39]. Además, se argumenta que la adopción de tecnologías centrales de Supply Chain 4.0 conlleva a reducción de costos y mejoras en la eficiencia y eficacia [40].

Por otro lado, la literatura enfatiza la importancia de comprender el nivel actual de adopción de tecnologías clave de la Industria 4.0 y las medidas preparatorias que las empresas están tomando para estar digitalmente preparadas [27]. También es esencial investigar cómo estas tecnologías pueden impactar en las cadenas de suministro y si el tamaño de la organización influye en la adopción de tecnología, así como se sugiere que los beneficios de la tecnología Industria 4.0 pueden motivar a los gerentes de la industria a implementar prácticas de la Industria 4.0, lo cual es crucial en el contexto de una revisión sistemática para comprender las tendencias y motivaciones detrás de la adopción de estas tecnologías [34].

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La literatura analizada enfatiza imperativamente la urgencia de adoptar prácticas sostenibles en la cadena de suministro, especialmente en el dinámico entorno de la Industria 4.0. Tal compromiso implica una sinergia con tecnologías avanzadas, encaminadas a optimizar la eficiencia operativa y mitigar el impacto ambiental, todo ello mientras se integran consideraciones sociales y medioambientales en el diseño de procesos y modelos empresariales innovadores.

La transición hacia la Industria 4.0 exige una interacción armoniosa entre los diversos agentes de la cadena de suministro. En este sentido, la comunicación fluida y la colaboración proactiva emergen como pilares ineludibles para asegurar el éxito en esta transformación, ya que la falta de coordinación podría desembocar en efectos adversos para la integridad de la cadena. Asimismo, resalta la importancia del rol gubernamental en la promoción de políticas que fomenten la circularidad y la sostenibilidad en las cadenas de suministro.

La creciente digitalización, propulsada por la Industria 4.0, está rediseñando los paradigmas operativos en la cadena de suministro. La adopción de tecnologías disruptivas como el Internet de las Cosas (IoT), *blockchain* y análisis de datos (*big data*) está propiciando mejoras significativas en la eficiencia y habilitando una mayor transparencia y trazabilidad en tiempo real. Además, se subraya la importancia de evaluar tanto el nivel de adopción actual de estas tecnologías como las medidas preparatorias que las empresas están implementando para alcanzar una digitalización efectiva.

No obstante, a pesar de los beneficios tangibles que ofrecen las tecnologías de la Industria 4.0, surgen desafíos significativos, como la seguridad cibernética y la necesidad de comprender plenamente su impacto en las cadenas de suministro. Es imperativo que las organizaciones evalúen su capacidad para implementar estas tecnologías y adapten sus operaciones en consecuencia, anticipándose a las cambiantes dinámicas del mercado.

En cuanto a futuras investigaciones, resulta imprescindible llevar a cabo estudios longitudinales que aborden la verdadera influencia de la integración de tecnologías de la Industria 4.0 en la sostenibilidad a lo largo del tiempo, considerando no solo el

aspecto medioambiental, sino también los aspectos sociales y económicos implicados.

Además, es crucial profundizar en el análisis de las barreras que obstaculizan una colaboración efectiva entre los distintos actores de la cadena de suministro en el contexto de la Industria 4.0, con el fin de identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias efectivas para superar tales obstáculos.

Por último, se vislumbra como beneficioso la realización de estudios sectoriales específicos que permitan comprender de manera más precisa cómo la digitalización está impactando en cada industria de manera singular, identificando así los desafíos y oportunidades particulares que enfrenta cada sector.

Si bien esta investigación ha proporcionado una visión amplia y detallada sobre las tendencias y desafíos en la integración de tecnologías de la Industria 4.0 en la cadena de suministro, es importante reconocer ciertas limitaciones inherentes al estudio. Entre ellas, se destaca la posibilidad de sesgos en la selección de los artículos analizados, lo que podría haber influido en la representatividad de la muestra. Además, la mayoría de los trabajos examinados se centran en contextos específicos o en aspectos particulares de la cadena de suministro, lo que limita la generalización de los hallazgos a otros entornos o sectores industriales. Asimismo, la disponibilidad de información y la calidad de los datos en algunos de los estudios revisados pueden haber sido variables, lo que podría haber afectado la exhaustividad y fiabilidad de los resultados obtenidos. Estas limitaciones subrayan la necesidad de abordar con mayor profundidad y rigor metodológico futuras investigaciones en este campo, a fin de obtener una comprensión más completa y robusta de los procesos y dinámicas involucradas en la transformación de la cadena de suministro en la era de la Industria 4.0.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la presente investigación agradecen el apoyo recibido por el Grupo de Investigación de Negocios Internacionales y la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

REFERENCIAS

- [1] S. Chauhan, R. Singh, A. Gehlot, S. V. Akram, B. Twala, and N. Priyadarshi, "Digitalization of Supply Chain Management with Industry 4.0 Enabling Technologies: A Sustainable Perspective," *Processes*, vol. 11, no. 1, p. 96, Dec. 2022, doi: 10.3390/pr11010096.
- [2] P. Chatchawanchanchanakij, K. Jermstittiparsert, T. Chankoson, and P. Waiyawuththanapoom, "The role of industry 4.0 in sustainable supply chain: Evidence from the textile industry," *Uncertain Supply Chain Management*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2023, doi: 10.5267/j.uscm.2022.12.006.
- [3] M. Blanco, K. Gónzales, and J. Rodríguez, "Proposed Industry 4.0 architecture in the supply chain from the perspective of industrial engineering," *Ingeniería Solidaria*, vol. 13, no. 23, pp. 77–90, 2017, Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/2007/2439>
- [4] M. Rossini, D. J. Powell, and K. Kundu, "Lean supply chain management and Industry 4.0: a systematic literature review," *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 14, no. 2, pp. 253–276, Feb. 2023, doi: 10.1108/IJLSS-05-2021-0092.
- [5] I. S. Khan, M. O. Ahmad, and J. Majava, "Industry 4.0 innovations and their implications: An evaluation from sustainable development perspective," *J Clean Prod*, vol. 405, p. 137006, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.137006.

- [6] F. F. Rad *et al.*, "Industry 4.0 and supply chain performance: A systematic literature review of the benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies," *Industrial Marketing Management*, vol. 105, pp. 268–293, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.indmarman.2022.06.009.
- [7] T. L. Kunrath, A. Dresch, and D. R. Veit, "Supply chain management and industry 4.0," *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, vol. 20, no. 1, p. 1263, Oct. 2022, doi: 10.14488/BJOPM.1263.2023.
- [8] G. Zhang, Y. Yang, and G. Yang, "Smart supply chain management in Industry 4.0: the review, research agenda and strategies in North America," *Ann Oper Res*, vol. 322, no. 2, pp. 1075–1117, Mar. 2023, doi: 10.1007/s10479-022-04689-1.
- [9] F. García, "La Gestión de Cadenas de Suministros: Un enfoque de integración global de procesos," *Visión Gerencial*, pp. 53–62, 2006, Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545874007>
- [10] A. Correa and R. Gómez, "Tecnologías de la información y comunicación en la gestión de almacenes," *Avances En Sistemas e Informática*, vol. 6, no. 2, pp. 113–118, 2009, Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33362>
- [11] A. Ghadge, M. Er Kara, H. Moradlou, and M. Goswami, "The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 31, no. 4, pp. 669–686, Mar. 2020, doi: 10.1108/JMTM-10-2019-0368.
- [12] L. Liu, W. Song, and Y. Liu, "Leveraging digital capabilities toward a circular economy: Reinforcing sustainable supply chain management with Industry 4.0 technologies," *Comput Ind Eng*, vol. 178, p. 109113, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109113.
- [13] N. Tsolakis, A. T. Goldsmith, E. Aivazidou, and M. Kumar, "Microalgae-based circular supply chain configurations using Industry 4.0 technologies for pharmaceuticals," *J Clean Prod*, vol. 395, p. 136397, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136397.
- [14] A. Ghadge, D. G. Mogale, M. Bourlakis, L. M. Maiyar, and H. Moradlou, "Link between Industry 4.0 and green supply chain management: Evidence from the automotive industry," *Comput Ind Eng*, vol. 169, p. 108303, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.cie.2022.108303.
- [15] S. Srhir, A. Jaegler, and J. R. Montoya-Torres, "Uncovering Industry 4.0 technology attributes in sustainable supply chain 4.0: A systematic literature review," *Bus Strategy Environ*, vol. 32, no. 7, pp. 4143–4166, Nov. 2023, doi: 10.1002/bse.3358.
- [16] R. M. da Silva, G. F. Frederico, and J. A. Garza-Reyes, "Logistics Service Providers and Industry 4.0: A Systematic Literature Review," *Logistics*, vol. 7, no. 1, p. 11, Feb. 2023, doi: 10.3390/logistics7010011.
- [17] H. Hu, T. Lin, S. Wang, and L. F. Rodriguez, "A cyberGIS approach to uncertainty and sensitivity analysis in biomass supply chain optimization," *Appl Energy*, vol. 203, pp. 26–40, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.03.107.
- [18] C. F. Fratini, S. Georg, and M. S. Jørgensen, "Exploring circular economy imaginaries in European cities: A research agenda for the governance of urban sustainability transitions," *J Clean Prod*, vol. 228, pp. 974–989, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.193.
- [19] A. Ghadge, M. Er Kara, H. Moradlou, and M. Goswami, "The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 31, no. 4, pp. 669–686, Mar. 2020, doi: 10.1108/JMTM-10-2019-0368.
- [20] R. Aguilera Eguía, "¿Revisión sistemática, revisión narrativa o metaanálisis?," *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, vol. 21, no. 6, pp. 359–360, Dec. 2014, doi: 10.4321/S1134-80462014000600010.
- [21] D. Huchim and R. Reyes, "INVESTIGACIÓN BIOGRÁFICO-NARRATIVA, UNA ALTERNATIVA PARA EL ESTUDIO DE LOS DOCENTES," *Actualidades Investigativas En Educación*, vol. 13, no. 3, pp. 1–27, 2013, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/447/44729878019.pdf>
- [22] S. Joshi and M. Sharma, "Sustainable Performance through Digital Supply Chains in Industry 4.0 Era: Amidst the Pandemic Experience," *Sustainability*, vol. 14, no. 24, p. 16726, Dec. 2022, doi: 10.3390/su142416726.
- [23] Y. Ren, R. Li, K.-J. Wu, and M.-L. Tseng, "Discovering the systematic interlinkages among the circular economy, supply chain, industry 4.0, and technology transfer: A bibliometric analysis," *Cleaner and Responsible Consumption*, vol. 9, p. 100123, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.clrc.2023.100123.
- [24] M. Sharma, S. Luthra, S. Joshi, A. Kumar, and A. Jain, "Green logistics driven circular practices adoption in industry 4.0 Era: A moderating effect of institution pressure and supply chain flexibility," *J Clean Prod*, vol. 383, p. 135284, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135284.
- [25] K. M. Qureshi, B. G. Mewada, S. Kaur, and M. R. N. M. Qureshi, "Assessing Lean 4.0 for Industry 4.0 Readiness Using PLS-SEM towards Sustainable Manufacturing Supply Chain," *Sustainability*, vol. 15, no. 5, p. 3950, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15053950.
- [26] M. N. Faisal, "Role of Industry 4.0 in circular supply chain management: a mixed-method analysis," *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 36, no. 1, pp. 303–322, Jan. 2023, doi: 10.1108/JEIM-07-2021-0335.
- [27] J. L. Hopkins, "An investigation into emerging industry 4.0 technologies as drivers of supply chain innovation in Australia," *Comput Ind*, vol. 125, p. 103323, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.compind.2020.103323.
- [28] Z. Raza, I. U. Haq, and M. Muneeb, "Agri-4-All: A Framework for Blockchain Based Agricultural Food Supply Chains in the Era of Fourth Industrial Revolution," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 29851–29867, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3259962.
- [29] C. H. L. Resende, C. A. S. Geraldés, and F. R. Lima, "Decision Models for Supplier Selection in Industry 4.0 Era: A Systematic Literature Review," *Procedia Manuf*, vol. 55, pp. 492–499, 2021, doi: 10.1016/j.promfg.2021.10.067.
- [30] M. S. Attiany *et al.*, "Barriers to adopt industry 4.0 in supply chains using interpretive structural modeling," *Uncertain Supply Chain Management*, vol. 11, no. 1, pp. 299–306, 2023, doi: 10.5267/j.uscm.2022.9.013.
- [31] Y. M. Pfaff, "Agility and digitalization: why strategic agility is a success factor for mastering digitalization – evidence from Industry 4.0 implementations across a supply chain," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 53, no. 5/6, pp. 660–684, Aug. 2023, doi: 10.1108/IJPDLM-06-2022-0200.
- [32] H. Md. M. Taqi *et al.*, "Behavioural factors for Industry 4.0 adoption: implications for knowledge-based supply chains," *Operations Management Research*, vol. 16, no. 3, pp. 1122–1139, Sep. 2023, doi: 10.1007/s12063-022-00338-9.
- [33] H. Majiwala and R. Kant, "A bibliometric review of a decade' research on industry 4.0 & supply chain management," *Mater Today Proc*, vol. 72, pp. 824–833, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.09.058.
- [34] A. Patil, A. Dwivedi, Md. Abdul Moktadir, and Lakshay, "Big data-Industry 4.0 readiness factors for sustainable supply chain management: Towards circularity," *Comput Ind Eng*, vol. 178, p. 109109, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109109.
- [35] M. Javaid, A. Haleem, R. Pratap Singh, S. Khan, and R. Suman, "Blockchain technology applications for Industry 4.0: A literature-based review," *Blockchain: Research and Applications*, vol. 2, no. 4, p. 100027, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.bcr.2021.100027.
- [36] N. Ada, Y. Kazancoglu, M. D. Sezer, C. Ede-Senturk, I. Ozer, and M. Ram, "Analyzing Barriers of Circular Food Supply Chains and Proposing Industry 4.0 Solutions," *Sustainability*, vol. 13, no. 12, p. 6812, Jun. 2021, doi: 10.3390/su13126812.
- [37] T. Ahmed, C. L. Karmaker, S. B. Nasir, Md. A. Moktadir, and S. K. Paul, "Modeling the artificial intelligence-based imperatives of industry 5.0 towards resilient supply chains: A post-COVID-19 pandemic perspective," *Comput Ind Eng*, vol. 177, p. 109055, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.cie.2023.109055.
- [38] R. Mishra, R. Kr Singh, and A. Gunasekaran, "Digitalization of supply chains in Industry 4.0 environment of manufacturing organizations: conceptualization, scale development & validation," *Production Planning & Control*, pp. 1–20, Feb. 2023, doi: 10.1080/09537287.2023.2172622.
- [39] G. L. Tortorella, A. Prashar, J. Antony, F. S. Fogliatto, V. Gonzalez, and M. Godinho Filho, "Industry 4.0 adoption for healthcare supply chain performance during COVID-19 pandemic in Brazil and India: the mediating role of resilience abilities development," *Operations Management Research*, Mar. 2023, doi: 10.1007/s12063-023-00366-z.
- [40] H. Sharifpour, Y. Ghaseminezhad, M. Hashemi-Tabatabaei, and M. Amiri, "Investigating cause-and-effect relationships between supply chain 4.0 technologies," *Engineering Management in Production and Services*, vol. 14, no. 4, pp. 22–46, Dec. 2022, doi: 10.2478/emj-2022-0029.