

Industria 4.0: Adaptabilidad y Barreras de la Industria Automotriz: Análisis Biblio-Hermográfico

Industry 4.0: Adaptability and Barriers in the Automotive Industry: Biblio-Hermographic Analysis

Paola Itzel Ceseña-Romero

Universidad Autónoma de Baja California, México

paola.cesena@uabc.edu.mx

 <https://orcid.org/0009-0002-4691-3182>

Blanca Rosa García-Rivera

Universidad Autónoma de Baja California, México

blanca_garcia@uabc.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0003-3114-4114>

Jesús Everardo Olguín-Tiznado

Universidad Autónoma de Baja California, México

jeol79@uabc.edu.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-6205-0973>

Recepción: 18 Enero 2024

Aprobación: 26 Junio 2024



Acceso abierto diamante

Resumen

El objetivo es identificar patrones en la literatura para crear estrategias innovadoras en investigación y desarrollo, mediante un análisis biblio-hemerográfico. Se analizaron en dos bases de datos conceptos como autores, países, citas y palabras clave de artículos sobre la industria automotriz, adaptabilidad y barreras en el contexto de I4.0. Se evidencio el interés de las barreras e I4.0, así como la importancia de sistemas integrados, ciber-físicos e IoT relacionados con la adaptabilidad y la industria automotriz. La investigación se destaca por analizar un conjunto de conceptos clave para una implementación eficiente de I4.0 en el sector automotriz. Sin embargo, se debe considerar que el estudio presento limitaciones en la profundidad de los artículos, por lo que se sugiere realizar investigaciones futuras más detalladas, como revisiones sistemáticas. Entre los principales hallazgos destacamos un creciente interés en la I4.0 y la relevancia de la sostenibilidad y el liderazgo en India y China.

Palabras clave: Industria 4.0, Industria automotriz, Barreras, Estado del Arte, Adaptabilidad.

Abstract

The objective of this research is to identify patterns in the literature to develop innovative strategies in research and development through a bibliographic-hemerographic analysis. Concepts such as authors, countries, citations, and keywords in articles about the automotive industry, adaptability, and barriers in the context of Industry 4.0 (I4.0) were analyzed in two databases. A growing interest in barriers and I4.0 was evidenced, highlighting the importance of integrated systems, cyber-physical systems, and the Internet of Things (IoT) related to adaptability in the automotive industry. The research stands out for examining key concepts for the efficient implementation of I4.0 in the automotive sector. However, a limitation in the depth of the articles is recognized, suggesting future, more detailed investigations, such as systematic reviews. The main findings highlight a growing interest in I4.0 and the relevance of sustainability and leadership in countries like India and China.

Keywords: Industry 4.0, Automotive industry, Barriers, State of Art, Adaptability.

Introducción

La Industria 4.0 ha emergido como un paradigma transformador que redefine los procesos de producción y gestión en la era digital. Este fenómeno, impulsado por la convergencia de tecnologías avanzadas como el Internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la computación en la nube, ha generado una revolución en la forma en que las empresas operan y se relacionan con sus entornos industriales. La interconexión y automatización de sistemas, característica distintiva de la Industria 4.0, promete aumentar la eficiencia, mejorar la toma de decisiones y crear entornos de producción más flexibles y adaptables (Rahim et al., 2021); un ejemplo del aprovechamiento de la industria automotriz de las nuevas tecnologías es el caso de Volkswagen que se ha asociado con Amazon web services para construir su propia nube industrial, en la cual se almacenarán productos y datos de producción (Geissbauer & Vedso, 2016); de igual manera, uno de los fabricantes de automóviles más grandes del mundo anunció que había desarrollado un Sistema de Diagnóstico de Automóviles con Inteligencia Artificial para diagnosticar problemas en los vehículos basándose en ruidos, y un Sistema de Detección de Sensores de Golpes (KSDS) para analizar vibraciones y determinar si el motor presenta anomalías (Lee, Lee, & Kim, 2019). Debido a la gran influencia que tiene la industria automotriz en el mercado global, esta está migrando rápidamente hacia las nuevas tecnologías de la industria 4.0 (I4.0) para aprovechar sus beneficios. Desde mediados de la década de 1960 hasta la actualidad, ha habido un gran esfuerzo en avanzar y desarrollar la capacidad de los vehículos y automóviles para hacerlos más inteligentes, incluyendo la tecnología de IoT conectado (Braun & Missler-Behr, 2021).

El análisis biblio-hemerográfico es una metodología que utiliza métricas cuantitativas para evaluar la producción y el impacto de la investigación científica, se presenta como una herramienta valiosa para comprender la evolución, tendencias y áreas clave de enfoque dentro del ámbito de la Industria 4.0. En este contexto, la presente investigación propone realizar un estado del arte exhaustivo de la literatura existente sobre la Industria 4.0, con el objetivo de revisar patrones de tendencias de investigación, autores principales o gurús sobre el tema de investigación, temas predominantes y áreas de innovación. Es importante destacar que en la actualidad, existen distintos trabajos dedicados al análisis biblio-hemerográfico referentes a la industria 4.0, enfocados en contextos distintos como: la cadena de suministro (Motallebi et al., 2023), manufactura esbelta (Kumar et al., 2023) o desde la gestión de operaciones (Sordan et al., 2022), así como con enfoques hacia industrias como: industria marítima (Razmjooei et al., 2023), manufactureras de comida y bebida (Telukdarie et al., 2023), incluso vemos análisis respecto a la industria automotriz (Braun & Missler-Behr, 2021), sin embargo, no existe una comparativa que incluya las barreras, adaptabilidad y la industria automotriz, conceptos clave e importantes para analizar entre sí; esto para ofrecer información relevante para el tipo de industrias automotrices, y destacar la importancia de las barreras y la adaptabilidad. Por tal motivo este artículo pretende llenar ese vacío de información, así como la importancia de los sistemas integrados, el internet de las cosas y los sistemas ciber físicos, proporcionando a los futuros investigadores una guía sobre los conceptos a considerar y las bases de datos para comenzar, así como los artículos más citados para iniciar sus lecturas, ya que estos contienen información relevante sobre el tema. La importancia de este análisis radica en su capacidad para proporcionar una visión holística y actualizada de la investigación en la Industria 4.0, identificando lagunas de conocimiento, destacando áreas de crecimiento y ofreciendo una base sólida para futuras investigaciones. Aunque existen trabajos previos que abordan aspectos específicos de la Industria 4.0, una evaluación integral mediante el análisis biblio-hemerográfico permite una comprensión profunda de la evolución de este campo y su impacto en diversas disciplinas. Por lo tanto, la investigación realizada se enfoca en la revisión del estado del arte de la industria automotriz en su adaptabilidad y sus barreras en el contexto de la industria 4.0. Se analizó información relevante de los artículos que se encontraron para la industria 4.0 vs industria automotriz, industria 4.0 vs adaptabilidad e industria 4.0 vs barreras, en dos de las bases de datos más importantes dentro de la comunidad científica.

A lo largo de esta investigación, se exploran categorías de análisis, como la frecuencia de publicaciones, la distribución geográfica de la investigación, las áreas temáticas predominantes y la colaboración entre investigadores e instituciones. Este análisis contribuye a consolidar el conocimiento actual sobre la Industria 4.0 y sirve como referencia esencial para académicos, profesionales e investigadores que buscan comprender y contribuir al avance de esta revolucionaria área de estudio. El artículo está estructurado de la siguiente manera: primero se hace una introducción muy breve de la industria 4.0 y del objetivo de esta investigación. Posteriormente, en la sección dos, se identifica la cantidad de artículos que se considerarán para el análisis de cada uno de los conceptos por medio de una modificación del diagrama de PRISMA donde se incluye la sección filtro y palabras claves. En la sección tres nos encontramos con los resultados y discusión, donde se presentan: la base de datos más influyente, publicaciones por año, palabras claves, países y revistas con mayor elaboración de artículos, así como autores y títulos mayormente citados. Por último, en la cuarta sección se exponen las conclusiones y futuras líneas de investigación, resumiendo los resultados más relevantes y exponiendo el vacío identificado para futuras investigaciones.

La expresión "Industria 4.0" se popularizó en el año 2011 en Alemania durante la Hannover Messe (Bolpagni, 2022). También conocida como "manufactura inteligente" o "La cuarta revolución industrial". Esta iniciativa tiene como objetivo principal digitalizar todo el proceso de fabricación, reduciendo al mínimo las interacciones humanas o físicas (Azizi, 2022). Esta visión, basada en la revolución digital, implica la combinación de diversas tecnologías que están generando cambios sin precedentes en la economía, los negocios, la sociedad y la vida cotidiana, alterando tanto el "qué" como el "cómo" de las actividades (Schwab, 2016). Este concepto representa la visión de la fábrica del futuro o fábrica inteligente, que promueve la tendencia hacia la automatización total de la manufactura (Joyanes, 2017). La Industria 4.0 se apoya en los cimientos de las revoluciones industriales previas, tales como la máquina de vapor, el tratamiento de acero, la electricidad, la química, la combustión, la nanotecnología, la biotecnología, y nuevos materiales, entre otras. Sin embargo, se diferencia al incorporar mayores niveles de integración, digitalización, virtualización, tecnologías avanzadas y la capacidad de respuesta rápida a estímulos (Pererira, 2020). Desde una perspectiva tecnológica, la Industria 4.0 se presenta como una tecnología emergente para las organizaciones industriales, enfocada en la digitalización y la integración de ecosistemas digitales industriales. Busca la completa integración de soluciones, abogando por un enfoque integral de extremo a extremo (Xu et al., 2018). Además, se define como la fusión de procedimientos de producción inteligentes y la automatización de los sistemas de producción, especialmente en lo que respecta a las cadenas de suministro y los marcos de línea de producción e industria (Annanth et al., 2021). Estos hallazgos y definiciones resaltan la complejidad y la amplitud de la Industria 4.0, subrayando su potencial transformador en el panorama industrial y tecnológico. La integración de tecnologías emergentes, la digitalización y la automatización son elementos centrales que definen esta nueva era industrial.

La elección de la industria automotriz para este estudio se fundamenta en su destacada posición como uno de los principales productos de exportación a nivel mundial, superando incluso los ingresos generados por el petróleo. Proyecciones indican que para el año 2030, los ingresos brutos de la industria automotriz experimentarán un notable aumento, generando ingresos adicionales de aproximadamente 1,5 billones de dólares, lo que representa un incremento del 30% (Saberí, 2018). Este sector no solo se distingue por su importancia económica, sino también por su significativa vinculación con la Industria 4.0 (I4.0), que ha desencadenado diversos avances notables. Por ejemplo, la implementación de gemelos digitales inteligentes y co-botics 2.0 en procesos de remanufactura ha sido un desarrollo destacado en esta industria (Bai et al., 2020a). Asimismo, investigaciones respaldan la idea de que el análisis de big data y la inteligencia artificial contribuyen a mejorar el desempeño organizacional, especialmente en condiciones dinámicas (Bag et al., 2021).

Otros estudios resaltan los considerables beneficios que aportan tecnologías como el blockchain a la industria automotriz. La aplicación de registros globales extendidos de vehículos mediante blockchain permite un mayor control sobre el historial de automóviles, abarcando aspectos como reparaciones, repuestos y pagos

de servicios. Además, se destaca la utilidad del blockchain en la lucha contra la falsificación, aprovechando el Internet de las Cosas (IoT) para el rastreo en tiempo real de las partes, desde su origen hasta el punto de venta, incluso ofreciendo información sobre la ubicación en tiempo real para definir el tiempo estimado de llegada (Fraga-Lamas & Fernández-Caramés, 2019). Estos hallazgos subrayan la relevancia y el impacto de la Industria 4.0 en la industria automotriz, señalando hacia una transformación significativa en diversos aspectos de su funcionamiento y gestión.

El término de adaptabilidad puede encontrarse bajo distintos conceptos (capacidad de adaptación, resiliencia o flexibilidad) dependiendo del enfoque o investigación (Hognon et al.2023), en este caso nos referimos a adaptabilidad como a la habilidad para modificar comportamientos, prácticas (Salem et al., 2022), pensamientos o sentimientos como respuesta a nuevas situaciones (Feraco et al.2022), haciendo énfasis en condiciones tecnológicas, productos y estrategias (Iranmanesh et al., 2023). Por lo tanto, se decidió estudiar la adaptabilidad debido a su gran relevancia en la implementación de las tecnologías de la industria 4.0. Esta capacidad no solo impulsa la producción industrial, sino que también constituye una habilidad clave para los empleados en la gestión de la transformación digital. (Ciccarelli et al., 2023; Sayem et al., 2022 y Sony & Mekoth, 2022).

En la actualidad, se realizan diversos estudios para identificar las barreras que afectan la adopción de nuevas tecnologías en diferentes contextos. La detección de estas barreras es crucial para el éxito de los proyectos de implementación de la industria 4.0 (Saatçioğlu et al., 2019). Se observan investigaciones con un enfoque hacia la economía circular, donde se incluyen barreras referentes a la gestión del conocimiento, financieras o tecnológicas (Trevisan et al., 2023) asimismo, bajo el contexto de implantación donde destaca el liderazgo como barrera principal (Govindan & Arampatzis, 2023). Por tal motivo es importante considerar las barreras para el estado del arte, puesto que el superar las barreras es el camino para la implementación exitosa de la I4.0 (Kamble et al., 2018), dado que, nos da una guía de las tendencias que tienen los investigadores referentes a las barreras, brindando un punto de partida para las futuras investigaciones.

Método

Este análisis se encuentra compuesto por tres conceptos claves en el contexto de la industria 4.0, la adaptabilidad, las barreras y la industria automotriz, con el propósito de recopilar y analizar los datos bibliohemerográficos de esta cuarta revolución bajo los conceptos mencionados, proporcionando una base para investigaciones futuras.

La recolección de datos se basa en una combinación del diagrama de PRISMA, el cual ha sido diseñado para la revisión sistemática de estudios, con más de 60,000 citaciones en informes en distintas revistas (Yepes et al., 2021) y el método de revisión de literatura para identificar las palabras claves y considerar los filtros de las bases de datos utilizado por la ref. (Grybauskaset al., 2022) (ver Figura 1).

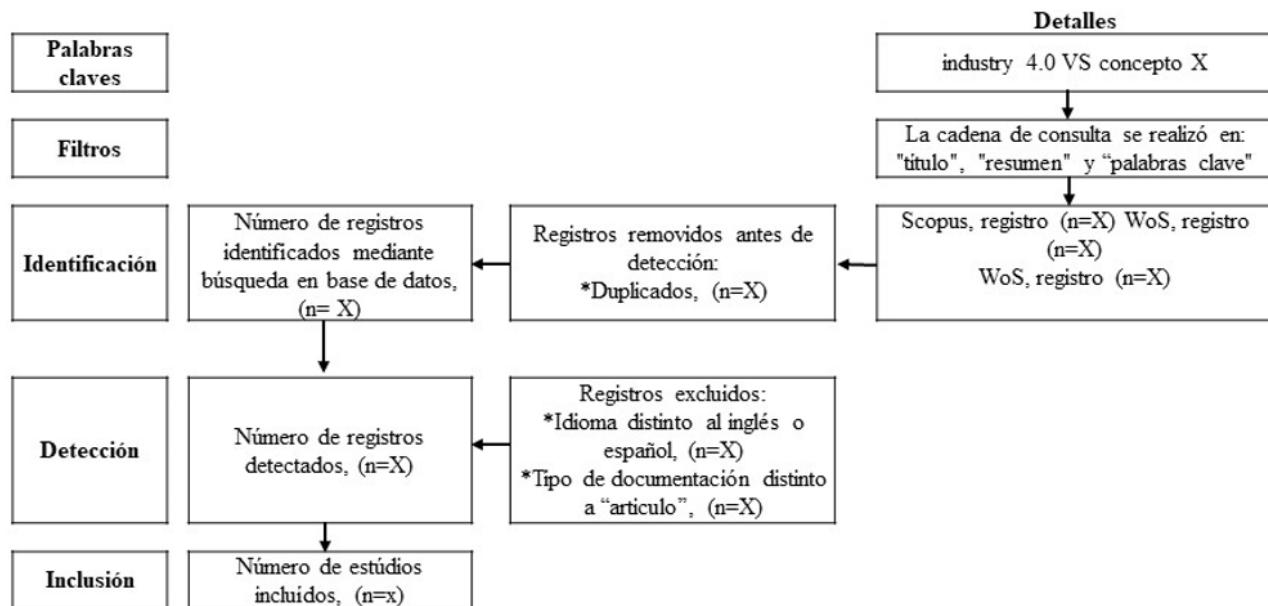


Figura 1. Diagrama de Flujo del Análisis Biblio-Hemerográfico

Fuente: Elaboración propia basada en PRISMA

Para esta investigación se realizaron tres análisis biblio-hemerográficos para poder hacer una comparativa de las barreras y la adaptabilidad que enfrenta la industria automotriz bajo el contexto de industria 4.0, considerándose de la siguiente manera:

- Primer análisis (An1): Industria 4.0 vs Industria automotriz
- Segundo análisis (An2): Industria 4.0 vs Barreras
- Tercer análisis (An3): Industria 4.0 vs Adaptabilidad

Teniendo claras las palabras claves para el análisis se procedió a la búsqueda dentro de las bases de datos Scopus (S) y WoS (W), considerando todos los resultados bajo el filtro “Article title, Abstract, Keywords” arrojando todas las investigaciones que tengan, ya sea, en el título, resumen o palabras claves, cualesquiera de las palabras que vamos a analizar, seguido de la eliminación de los productos duplicados, es decir, se identificó cuales investigaciones se encontraban en scopus y WoS y se descartaron de la base de datos WoS.

Para la detección de los artículos se eliminaron investigaciones que tenían un idioma distinto al inglés o español y que no era un documento de tipo artículo, es decir, se excluyeron artículos de conferencia, capítulos de libros, revisiones, entre otras (ver Tabla 1), llegando a tener un total de 1,497 artículos entre los tres análisis.

Palabras claves		An1	An2	An3
Filtro		Article Title, Abstract, Keywords		
Identificación	Base de datos	Scopus	1061	333
		WoS	410	143
	Bases Totales		1471	476
Detección	Duplicados		251	101
	Idioma distinto		25	15
Inclusión	Tipo de documento		676	182
	Número de estudios incluidos	519	178	800

Tabla 1. Selección de Artículos

Fuente: Elaboración propia

Los documentos finales obtenidos de las bases de datos fueron analizados por VOSviewer 1.6.19, dado que su uso es gratuito y es aplicado en revisiones biblio-hemerográficas en varios campos del conocimiento. Este artículo se enfoca en determinar los siguientes planteamientos: 1. La comparación entre dos bases de datos científicas en la cantidad de publicaciones y citas de documentos sobre la I4.0 and la industria automotriz; and las barreras; and la adaptabilidad. 2. Tendencias en la publicación de documentos sobre la I4.0 and la industria automotriz; and las barreras; and la adaptabilidad. 3. Las principales palabras claves entre los documentos sobre la I4.0 and la industria automotriz; and las barreras; and la adaptabilidad. 4. Los principales países que investigan sobre la I4.0 and la industria automotriz; and las barreras; and la adaptabilidad. 5. Los autores más citados y las principales revistas que publican temas de la I4.0 and la industria automotriz; and las barreras; and la adaptabilidad. 6. Los documentos más citados, sus aportaciones y trabajos futuros de investigación.

Resultados

Se realizó un análisis respecto a la publicación y citas de las dos bases de datos (ver Figura 2) para identificar cuál de ellas cuenta con más información respecto a los conceptos a analizar.

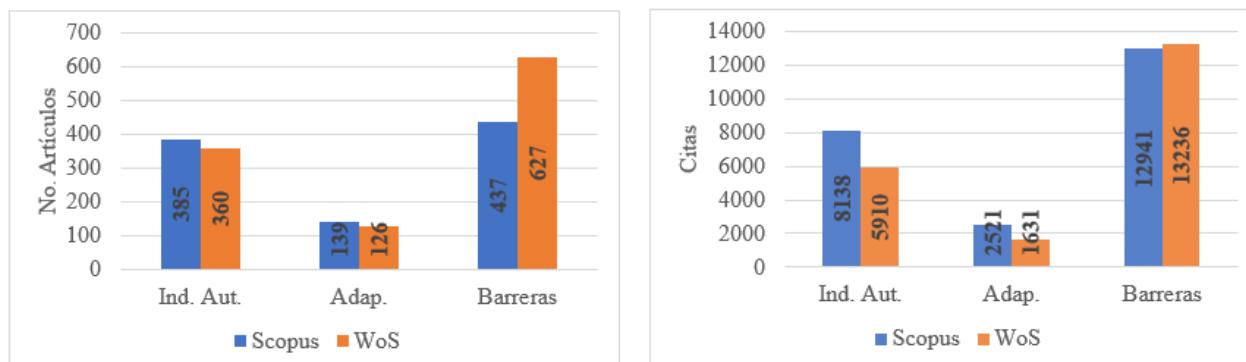


Figura 2. Comparación de las Bases de Datos

Fuente: Elaboración propia

Nota: Se realizó la comparación de las bases de datos sin eliminar los duplicados, para no afectar los datos correspondientes a cada base. Se consideró el análisis de Barreras, Industria Automotriz (Ind. Aut.) y Adaptabilidad (Adap.), todas estas vs Industria 4.0

Los resultados muestran que la base de datos de Scopus presenta una diferencia mínima a la de WoS referente a la cantidad de artículos publicados sobre I4.0 and Ind. Aut. con 25. Asimismo, el de I4.0 and Adap. con 13 artículos, lo cual podemos decir que la base de datos Scopus contiene información relevante respecto a estas palabras clave. Sin embargo, en cuanto a I4.0 and las barreras WoS resultó tener más artículos publicados con 627, al igual que una mayor cantidad de citas con 13,236 con respecto a Scopus, a pesar de que la diferencia de citas es de 295 y artículos publicados es de 190 entre estas dos bases de datos, se recomienda iniciar la búsqueda con la base de datos WoS para tener un mejor resultado en las búsquedas de barreras e industria 4.0.

Así mismo, se analizó la frecuencia de publicaciones por año (Figura 3), donde se observa que la I4.0 en los tres conceptos ha crecido exponencialmente dentro del mundo de la investigación científica sobre todo después del año 2016 que empezaron a duplicarse el número de publicaciones por año, siendo el año 2022 el de mayor impacto, sin embargo, hay que tomar en cuenta que los artículos fueron considerados hasta octubre 2023 y aún puede crecer el número de publicaciones de este último año.

Otro punto para resaltar es cómo el tema de las barreras tiene mayor impacto que los otros dos conceptos, por lo que es importante considerar este concepto cuando se investigue acerca de la I4.0. De igual manera, podemos observar que la Ind. Aut. es un sector fuerte para la I4.0, debido al interés que muestran los investigadores, a diferencia de la adaptabilidad que tiene menor cantidad de artículos, sin embargo, hay que considerar que la adaptabilidad puede ser investigada desde el punto de vista de la resiliencia o flexibilidad disminuyendo la atención de los investigadores para los temas específicos de este concepto.

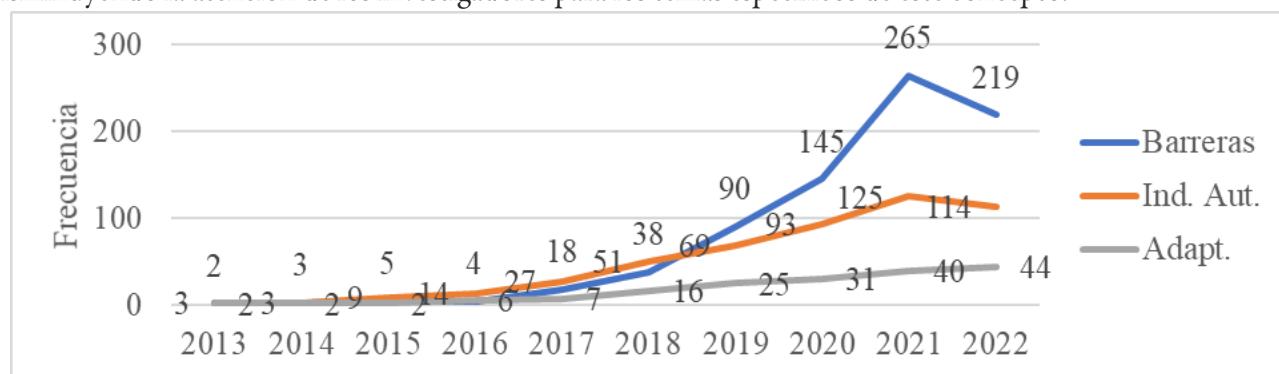


Figura 3. Publicaciones Realizadas por Año

Fuente: Elaboración propia

Nota: Es importante destacar que no se consideraron los años en los que solo se publicó un artículo.

Para el análisis de las palabras clave (indexadas y relevantes del resumen) se utilizó el software VOSviewer 1.6.19, el cual es una herramienta lanzada en el 2010 con el objetivo de explorar mapas basados en datos de red, gracias a su exploración por citas, co-ocurrencia, acoplamiento bibliográfico, entre otras como se menciona en (Arruda, 2022).

Para las palabras clave establecidas por las bases de datos para catalogar los artículos, se utilizó la herramienta de mapas basados en datos de red para la “I4.0 and Industria automotriz” (Figura 4), ““I4.0 and Adaptabilidad” (Figura 5) y ““I4.0 and Barreras” (Figura 6), donde podemos identificar los distintos clústeres (donde cada clúster es representado por un color distinto), que se forman gracias a las conexiones que forman las palabras claves, es decir, si una palabra clave coincide con otra en un artículo diferente, se crea un clúster que va creciendo conforme más palabras tengan coincidencia.

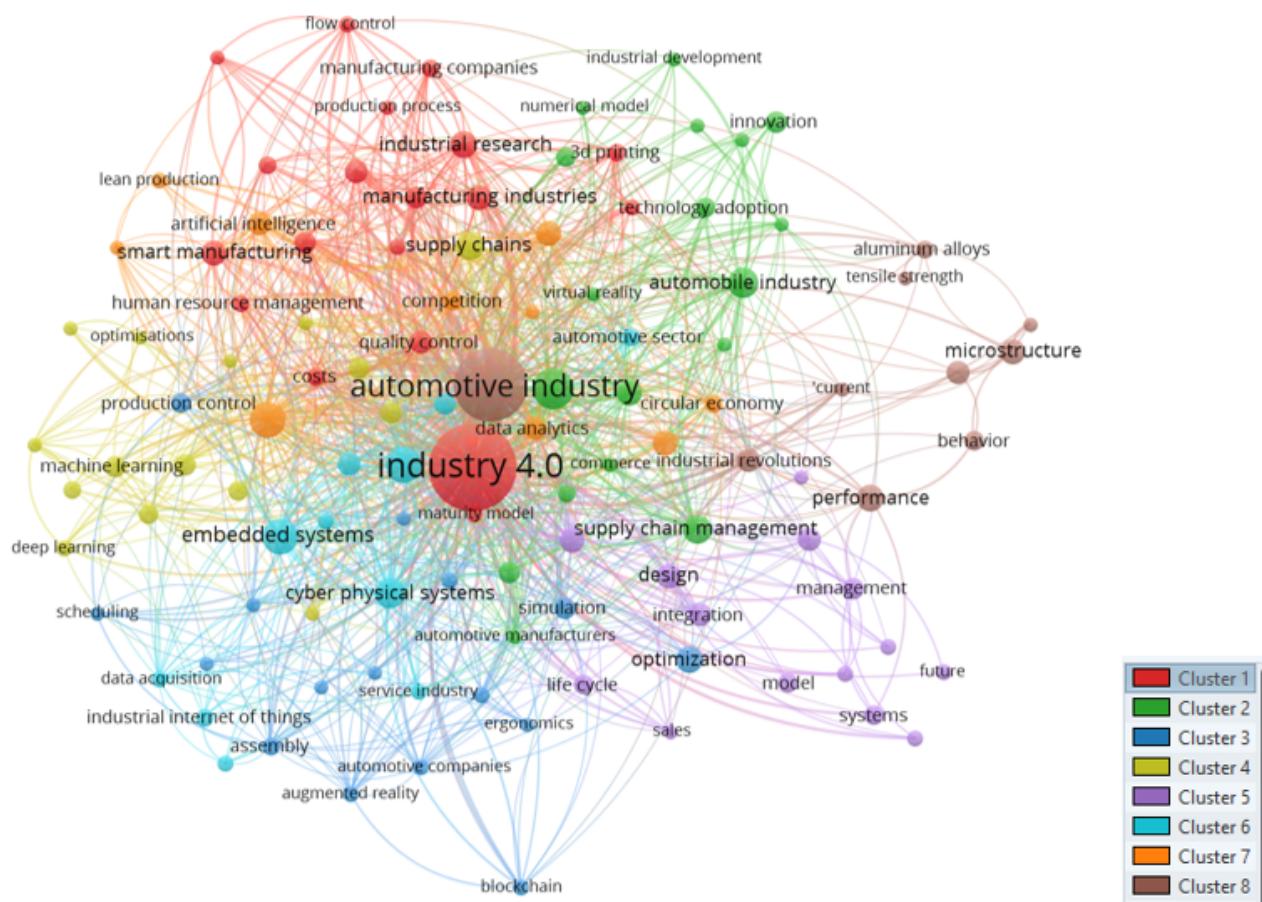


Figura 4. Palabras Clave Indexadas – Industria 4.0 vs Industria Automotriz

Fuente: Elaboración propia en VOSviewer

En el caso de la industria automotriz, en la figura 4 se muestra que existen ocho clústeres con 113 palabras dentro de los artículos identificados, donde se destaca el que tiene una mayoría de conceptos con (19) identificado con el color rojo, con un enfoque hacia las tecnologías, la industria y la manufactura con palabras clave como 3d printing, industry 4.0 o manufacturing sector, seguido del clúster identificado en color verde con (18), el cual su relación se conforma hacia la manufactura automotriz y lo tecnológico, muy similar al azul con (16) que cuenta con palabras como “simulación”; “blockchain” o “software de computadora” que va más hacia las tecnologías computacionales.

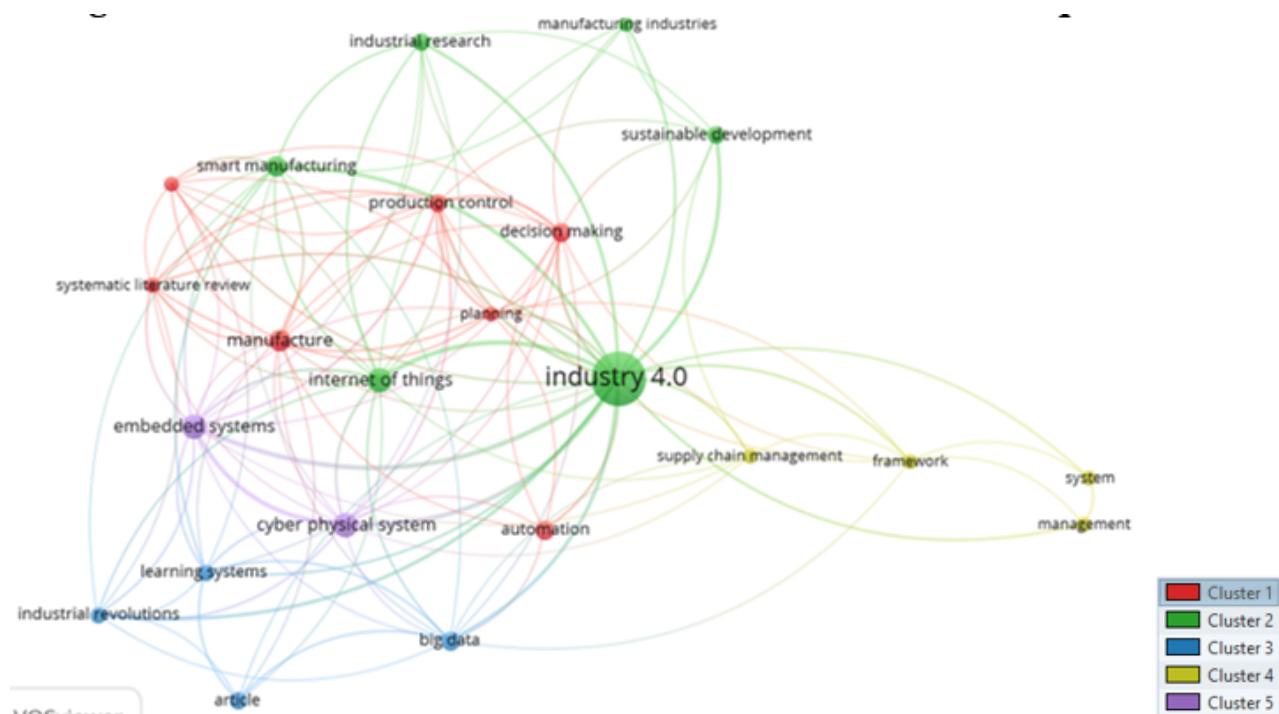


Figura 5. Palabras clave indexadas – Industria 4.0 vs Adaptabilidad

Fuente: Elaboración propia en VOSviewer

En la Figura 5 se muestra el análisis de las palabras claves de Industria 4.0 and adaptabilidad, donde se identificaron 5 clústeres, destacando el que se identifica con el color rojo al contar con siete conexiones, donde los conceptos como manufactura, planeación o control de producción, presentan un enfoque hacia la manufactura y los procesos. Así mismo, el clúster verde liderado por industria 4.0 con términos relacionados hacia la nueva manufactura como IoT, manufactura inteligente y desarrollo sustentable, lo cual nos indica que cuando se habla de adaptabilidad e I4.0 es importante no solo considerar los factores internos de una industria sino también los externos como sustentabilidad o cadena de suministro.

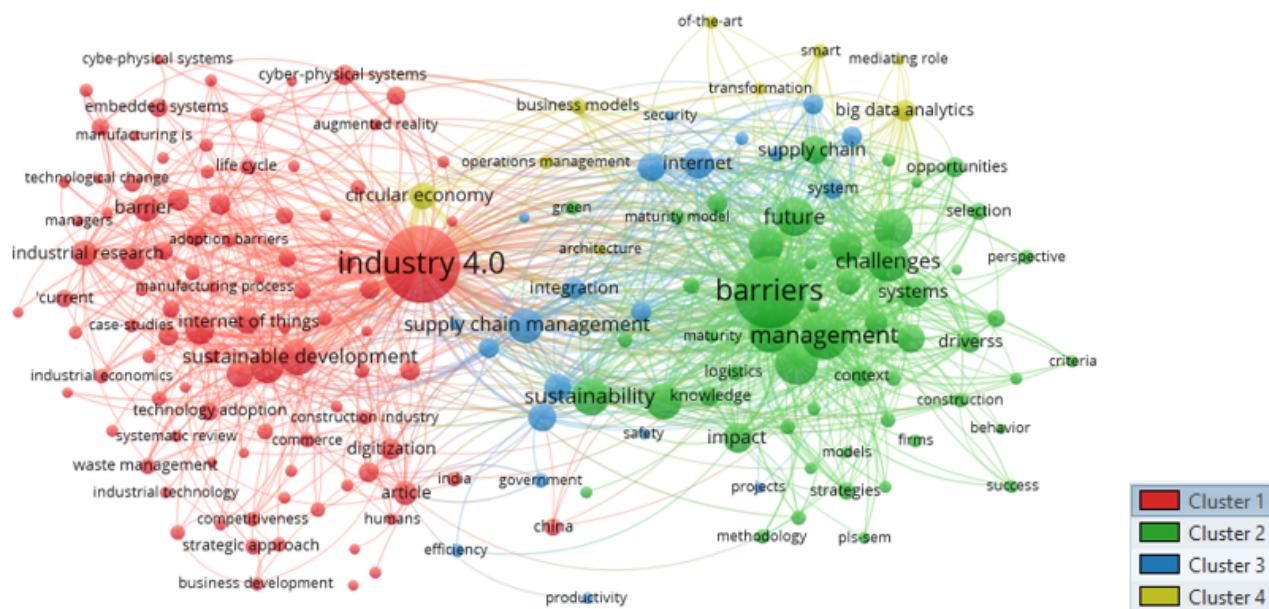


Figura 6. Palabras Clave Indexadas – Industria 4.0 vs Barreras

Fuente: Elaboración propia en VOSviewer

Por otro lado, podemos identificar que para las barreras se han formado cuatro clústeres dentro de estas palabras clave, sin embargo, los conceptos que se relacionan con industria 4.0, es decir, los identificados en color rojo con 95 conceptos y en color verde con 54 palabras incluyendo barreras, son los principales, mostrando que existe una gran relación entre los artículos, como se muestra en la Figura 6.

Otra función que nos ofrece el VOSviewer es identificar las palabras con mayor relevancia dentro de los resúmenes donde el programa le da una menor puntuación a los términos generales como conclusión, nuevo método o resultado interesante, dado que, proporcionan muy poca información para el análisis. Por eso se decidió aplicar los tres conceptos, como se detalla en la Tabla 2, para obtener diferentes perspectivas sobre las palabras clave.

An1		An2		An3	
Palabras relevantes	*Rel.	Palabras relevantes	*Rel.	Palabras relevantes	*Rel.
Mega pascales (MPA)	6.76	Enfoque de la metodología del diseño	6.48	República checa	3.86
Compuesto	4.63	Valor de originalidad	5.6	MEE-MCP	3.8
Propiedad mecánica	4.31	Literatura	2.75	Relación contextual	3.33
Internet industrial de las cosas (IIOT)	3.57	Autor	2.34	Analisis factorial exploratorio	3.14
Temperatura	3.08	Compañía	2.25	MICMAC	3.09
Resultados experimentales	3.05	Fiabilidad	1.85	Objetivo principal	3.07
Internet industrial	2.99	Relación	1.79	Medio	2.91
ILI	2.88	Servicio	1.7	MEIT	2.82
Pequeñas y medianas empresas (PYMES)	2.55	Sensor	1.39	Objeto	2.79
Valor de originalidad	2.54	Operador / Humano	1.34	Modelado estructural interpretativo	2.63

Tabla 2. Palabras del Resumen con Mayor Relevancia

Fuente: Elaboración propia

Dentro de los términos más relevantes del resumen para la industria automotriz encontramos el término “MPA” (6.76) que se refiere a los mega pascales, lo que nos da como referencia que mucho de estos artículos pueden ser experimentales o con casos de estudio, debido a la relevancia de la palabra, así mismo vemos términos como IIOT y PYMES, que nos da referencia a que se ha estado estudiando la industria 4.0 en las PYMES de la industria automotriz, también rescatamos que la tecnología que más resulta es una de los principales pilares de la I4.0, es decir, el IIOT. En cuanto a las palabras más relevantes para la adaptabilidad, podemos encontrar palabras como Sensor, operador y humano, que nos habla de un enfoque hacia la interacción de los sistemas tecnológicos y los procesos. Respecto a las barreras, se destacan las investigaciones respecto a las distintas técnicas como: Modelado de Ecuaciones Estructurales de Mínimos Cuadrados Parciales (MEE-MCP), Matriz de Impactos Cruzados y de Multiplicación Aplicada con una Clasificación (MICMAC) y Modelado Estructural Interpretativo Total (MEIT) para el análisis de las barreras, las cuales son procedimientos para identificar cuáles son las barreras que se consideran más fuertes bajo el tema a estudiar de cada artículo, dándonos pie a la fiabilidad de los artículos.

Otro aspecto importante que analizar es la distribución geográfica de la investigación sobre estos temas. Aplicando un filtro para mostrar únicamente los países que aparecen al menos cinco veces en los artículos, hemos seleccionado los cinco países con más publicaciones para cada concepto. Esto nos proporciona una mejor comprensión de la información, como se observa en la Figura 7.

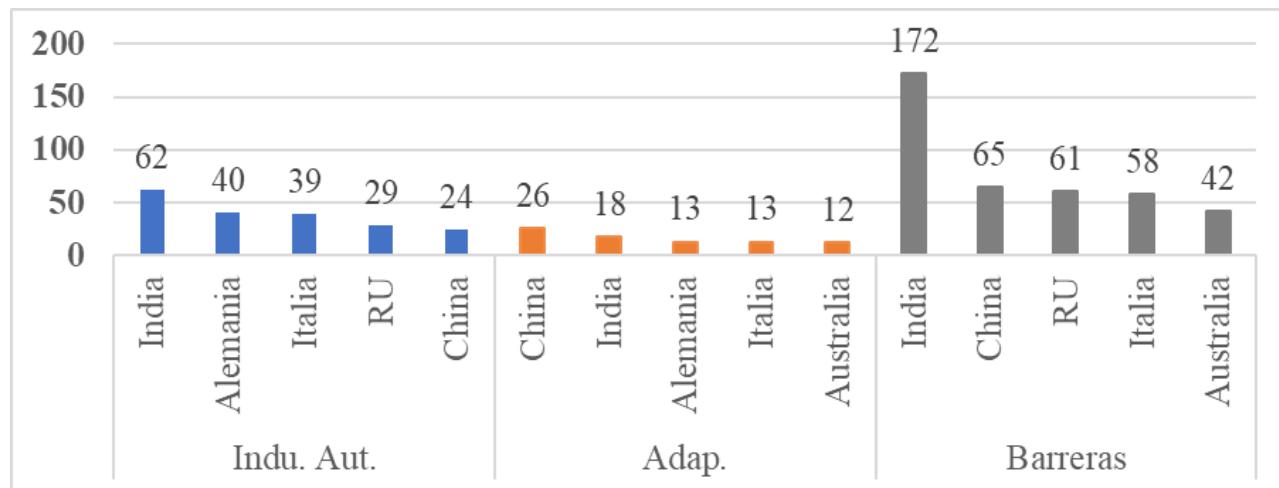


Figura 7. Publicaciones por País

Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior se puede destacar la relevante participación por parte de India, Alemania y China, demostrando el interés de Asia y Europa en temas de I4.0. Respecto a la industria automotriz, destacamos la participación de Italia que tiene una larga tradición en la fabricación de vehículos, además de ser hogar de algunas marcas de automóviles muy reconocidas en el mundo, por lo tanto, es importante indagar la innovación en tecnologías automotrices y la participación en la adopción de conceptos avanzados relacionados con la Industria 4.0. En cuanto a adaptabilidad tenemos países muy similares a los de barreras e industria automotriz, sin embargo, bajo ese contexto tienen menos publicaciones que los otros conceptos. En relación con las barreras podemos destacar el interés de la India en identificar las barreras que afectan la implementación efectiva de la I4.0. Las investigaciones sobre barreras en India superan considerablemente a la de los conceptos de adaptabilidad e industria automotriz, así mismo, vemos que países como China, Reino Unido (RU) o Italia, muestran menos estudios centrados en las barreras comparado con la India. De igual manera, se puede observar que Alemania no figura entre los cinco principales países que enfocados en investigar este concepto. En cambio, Alemania parece priorizar el fortalecimiento de su adaptabilidad sobre la identificación de barreras, evidenciando una estrategia orientada a optimizar sus fortalezas en lugar de abordar sus debilidades, a diferencia de la India.

También se realizó un análisis para identificar cuáles son los autores más citados dentro de los artículos para los tres conceptos como se muestra en la Tabla 3, con el fin de resaltar cuales son los autores con un aporte más relevante en temas de industria 4.0 y su concepto correspondiente.

Concepto	Autores	Citas
Ind. Aut.	Müller J.M.; Buliga O.; Voigt K.-I.	640
	Bai C.; Dallasega P.; Orzes G.; Sarkis J.	481
	Yin Y.; Stecke K.E.; Li D.	416
	Yadav G.; Luthra S.; Jakhar S.K.; Mangla S.K.; Rai D.P.	311
	Bag S.; Pretorius J.H.C.; Gupta S.; Dwivedi Y.K.	262
Adap.	Urbina Coronado P.D.; Lynn R.; Louhichi W.; Parto M.; Wescoat E.; Kurfess T.	185
	Bueno A.; Godinho Filho M.; Frank A.G.	130
	Kipper L.M.; Iepsen S.; Dal Forno A.J.; Frozza R.; Furstenau L.; Agnes J.; Cossul D..	108
	Kergroach S.	91
	Baroroh D.K.; Chu C.-H.; Wang L.	89
Barreras	Sanders A.; Elangeswaran C.; Wulfsberg J.	586
	Horváth D.; Szabó R.Z.	578
	Raj A.; Dwivedi G.; Sharma A.; Lopes de Sousa Jabbour A.B.; Rajak S.	440
	Nascimento DLM.; Alencastro V.; Quelhas OLG.; Caiado RGG.; Garza-Reyes JA.; Lona LR.; Tortorella G.	381
	Moses III H.; Dorsey E.R.; Matheson D.H.M.; Thier S.O.	378

Tabla 3. Autores con Mayores Citas

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, se realizó un análisis de la frecuencia con dónde la que se publican artículos sobre estos temas en diversas revistas, como se muestra en la Figura 8. En ella se presentan las tres revistas con mayor número de publicaciones para cada concepto.

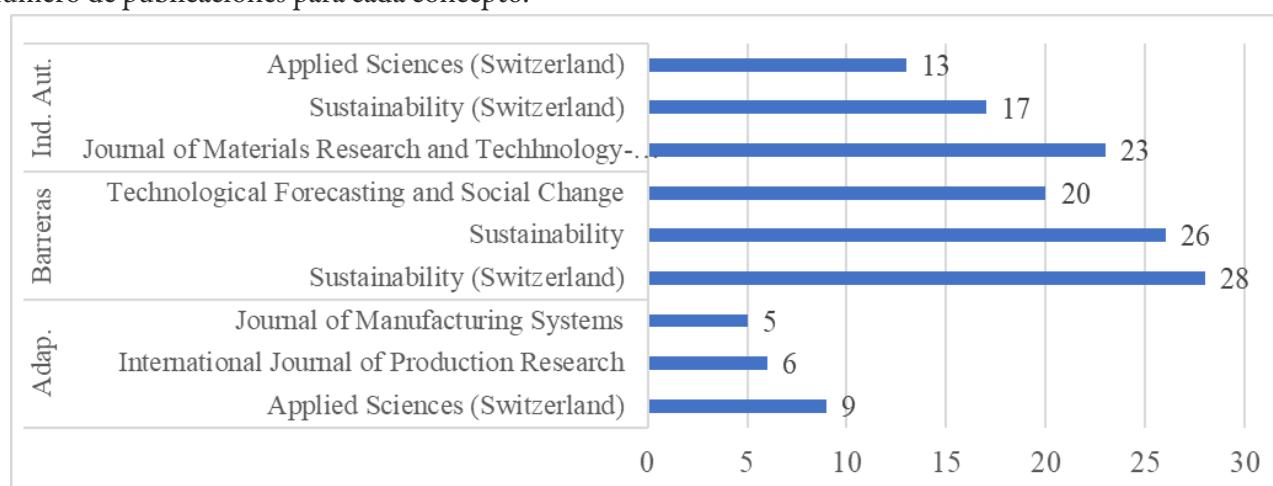


Figura 8. Revistas con Mayores Publicaciones Referentes a los Conceptos

Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior podemos destacar que la revista Applied Sciences muestra interés en dos de los conceptos: adaptabilidad y la industria automotriz, al igual que Sustainability que cuenta con artículos referentes a las barreras y la industria automotriz, confirmando la gran relación que tiene la industria automotriz con estos dos conceptos.

Es importante resaltar los artículos más referenciados en los tres análisis, dado que su reconocimiento como fuentes de consulta por otros investigadores sugiere que ofrecen información de gran relevancia en relación con los temas abordados. Dentro de los primeros 29 artículos más relevantes, se destacan investigaciones enfocadas a las PYMES (pequeñas y medianas empresas) en el contexto de la industria 4.0 donde se aborda como esta afecta la creación del valor, su captura y oferta (Müller et al., 2018) o cómo influye en la creación de productos inteligentes (Urbina et al., 2018), incluso como se busca la creación de un marco conceptual y un sistema de trabajo ciber físico (Sanders et al., 2016), además de comparativas con empresas multinacionales (Horváth & Szabó, 2019). Para estas PYMES, sin embargo, también vemos como el tamaño y naturaleza de la empresa no aumentan el uso de tecnologías de producción avanzada en el caso de la industria automotriz en China (Lin et al., 2018).

Otra tendencia que se observa dentro de las lecturas es el uso de las tecnologías de la I4.0 analizado desde diferentes puntos, como la manufactura aditiva en el sector automotriz (Yin et al., 2018; Bai et al., 2020) y en el sector salud en el cual ha tenido un crecimiento exponencial en su financiamiento (Donoso, 2006), el blockchain y el como puede mejorar la adaptabilidad de la cadena de suministro (Sheel & Nath, 2019) así como en la industria automotriz, puede aportar una plataforma capaz de distribuir información confiable y ciber resiliente (Fraga & Fernández, 2019). Además del Big data el cual las multinacionales muestran una inclinación hacia esa tecnología (Makris et al., 2019), además de una asociación positiva con las capacidades de prácticas de manufactura sostenible y la economía circular (Bag et al., 2021). También vemos como se tocan temas de realidad aumentada donde se argumenta que es de gran ayuda para reducir la carga de trabajo mental humana (Baroroh et al., 2021). Por su parte el IoT destaca en la planificación y control de producción (Bueno et al., 2020).

De igual manera, es importante destacar que, dentro de las lecturas, hubo un gran enfoque en la creación de modelos dedicados a esta cuarta revolución, ya sea dedicados hacia la madurez (Sjödin et al., 2018), modelos de clasificación para diferenciar entre enfoques de control existentes basados en arquitecturas de control distribuidas (Bendul & Blunck, 2019), de programación lineal entera mixta que busca la optimización del consumo de energía y el costo de maquinaria (Rajput & Singh, 2020) y modelos para la reutilización de dispositivos electrónicos (Nascimento et al., 2019), además de sistemas que permiten recuperar el cronograma de la estación de trabajo y generar automáticamente instrucciones de ensamblaje (Mourtzis et al., 2019).

También se observaron diferentes artículos con un enfoque hacia lo económico desde el punto de vista de cómo se están manejando los impuestos para las nuevas tecnologías (Ślusarczyk, 2018) o el cómo la falta de una estrategia digital junto con la escasez de recursos y la incertidumbre jurídica y contractual son unas de las barreras más prominentes (Raj et al., 2020; Kamble et al., 2018), sin embargo, también se encuentran investigaciones que nos hablan sobre cómo la integración de la I4.0 tiene grandes beneficios en cuanto a costo, flexibilidad, productividad, calidad, reducir inventario y fiabilidad (Buer, Strandhagen, & Chan, 2018).

Así mismo se identifican investigaciones referentes a los desafíos críticos para la adopción de tecnologías avanzadas en la industria, como la Gestión del Conocimiento en Sistemas Globales de Servicio (GCSS) y la Arquitectura del Sistema de Información de Línea (ASIL) para la fabricación discreta (Yadav et al., 2020; Theorin et al., 2017) donde se abordan aspectos administrativos y organizacionales como económicos para optimizar la integración de la Industria 4.0. Al igual que investigaciones donde se abordan habilidades de adaptabilidad, resiliencia, aprendizaje, educación, fundamentales para la I4.0 (Kipper et al., 2021; Kergroach, 2017).

Todos estos artículos los podemos definir con el siguiente diagrama (ver figura 9), donde al insertar la información dentro de ATLAS.ti y asignar los códigos correspondientes podemos observar una gran fuerza por

parte de las barreras, de las cuales lo que mas lo representan es la incertidumbre y la integración de desafíos, al igual vemos que para adaptabilidad el modelo de negocio toma gran fuerza dejando atrás a industria automotriz, puesto que dentro de las lecturas fue quien represento menor fuerza.



Figura 9. Diagrama de Sankey
Fuente: Elaboración propia por ATLAS.ti

Analisis

Con un análisis de 1,497 artículos distribuidos en tres categorías: industria automotriz, adaptabilidad y barreras en el contexto de la industria 4.0, se pudo comprobar que no hubo grandes discrepancias entre las bases de datos examinadas. Sin embargo, SCOPUS se destacó, evidenciando un mayor número de publicaciones y citaciones. Asimismo, se observó un crecimiento progresivo en la mayoría de las publicaciones a medida que avanzan los años, indicando un interés significativo por parte de los investigadores en temas relacionados con la industria 4.0. Esto se atribuye a la creciente importancia de esta temática en los ámbitos industrial y tecnológico, respondiendo a la necesidad de comprender y abordar los desafíos asociados con esta transformación digital.

En relación con los conceptos destacados en las palabras clave del índice, se resaltan términos como sistemas integrados, internet de las cosas y sistemas ciber físicos. Estos conceptos, que convergen en la informática y la tecnología en entornos físicos, son fundamentales en la aplicación de adaptabilidad e industria automotriz. Facilitan la eliminación de tareas monótonas tangibles, reemplazándolas con tecnología digital. La sostenibilidad también emerge como un concepto relevante en el entorno industrial, dado que la responsabilidad ambiental y social se convierten en un requisito, impulsados por diversas organizaciones debido a las condiciones actuales del planeta. Por lo tanto, los profesionales en la industria automotriz deben considerar la sostenibilidad como un componente esencial en el desarrollo de tecnologías y procesos, lo que puede requerir un cambio en la mentalidad y la adopción de prácticas más responsables desde el diseño hasta la producción.

Discusión

En cuanto a los países que lideran la investigación en estos temas (industria automotriz, adaptabilidad y barreras), se identifica a la India, China, Reino Unido, Italia, Australia y Alemania como los más destacados. Estos países demuestran un fuerte compromiso y liderazgo en la investigación relacionada con la I4.0, sugiriendo que están a la vanguardia en la comprensión y aplicación de las nuevas tecnologías. Además, el número de publicaciones refleja niveles significativos de inversión en investigación e innovación. Cabe destacar que Estados Unidos, a pesar de ser un país altamente tecnológico, se sitúa por debajo de estas potencias en términos de investigación en estos temas específicos. Alemania, como impulsor de este concepto, mantiene una posición destacada, subrayando su trabajo constante en temas tecnológicos. Sin embargo, India y China los superan en investigación de estos conceptos en el contexto de la industria 4.0, debido a la gran producción de artículos y su enfoque en las nuevas tecnologías, al igual que el Reino Unido. Sorprendentemente, Italia se encuentra entre los cinco primeros, sugiriendo un desarrollo prometedor en investigación innovadora. Estos hallazgos resaltan la importancia de la colaboración internacional y la diversidad en la investigación, ya que diferentes países contribuyen de manera significativa al avance del conocimiento en la industria 4.0 y sus aplicaciones en la industria automotriz, así como a la identificación de barreras y adaptabilidad de la I4.0.

En relación con México, se puede observar que no se tienen una participación tan relevante en cuanto a publicaciones lo que nos indica que la participación de México, en comparación con otros países, puede estar influenciada por una variedad de factores, como sus prioridades de investigación, el desarrollo tecnológico actual y la capacidad de investigación, sin embargo, para fortalecer la contribución de México en la investigación sobre la cuarta revolución industrial, se sugiere enfocarse en varios aspectos clave. Primero, es fundamental priorizar la investigación en áreas estratégicas que reflejen las necesidades y capacidades actuales del país en sectores como la industria automotriz, donde se observa un creciente interés con 12 publicaciones registradas. Además, es crucial desarrollar y mejorar las capacidades tecnológicas y de investigación para abordar efectivamente las barreras identificadas, como las siete publicaciones relacionadas con este tema específico. Esto podría incluir iniciativas para fortalecer las colaboraciones internacionales y aprovechar las oportunidades emergentes en la adopción de tecnologías avanzadas. Estos esfuerzos no solo ampliarían la participación de México en la investigación global sobre la Industria 4.0, sino que también potenciarían su impacto y relevancia en el ámbito internacional.

Es esencial destacar que la información recopilada será de utilidad para futuros investigadores en el tema, permitiéndoles identificar la mejor base de datos para obtener información, así como autores y revistas relevantes. Donde se rescata que el concepto de barreras es el de mayor enfoque de investigación como lo demuestran las lecturas “Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?” (Horváth & Szabó, 2019), “Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective” (Raj et al., 2020), “Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry” (Kamble et al., 2018). Sin embargo, esto solo si lo comparamos con industria automotriz y adaptabilidad, puesto que dentro de las lecturas, vimos coincidencias en conceptos como economía circular y sustentabilidad, temas que están representando gran interés bajo el contexto de industria 4.0.

Asimismo, se observan coincidencias también en los temas tratados con mayor fuerza en cada uno de los análisis (industria automotriz, adaptabilidad y barreras) con el respaldo de las palabras clave, observando su evolución a lo largo de los años. Además, podrán identificar los artículos más citados, entendidos como aquellos que han sido más útiles para otros investigadores. No obstante, es importante mencionar que este análisis es exclusivamente biblio-hemerográfico, por lo que esto deja a futuras investigaciones que podrían llevar a cabo una revisión sistemática, utilizando los datos proporcionados en este análisis como punto de partida. Asimismo, se podría explorar un estudio de estrategias de adaptabilidad en la industria automotriz, tomando como referencia las tecnologías identificadas como palabras clave, dado que indican una creciente

influencia en este ámbito, o incluso realizar una comparativa de las estrategias aplicadas por los países que han mostrado mayor fortaleza en estos temas.

Contribuciones de los Autores

Conceptualización, Paola Ceseña, Blanca García, Jesús Olguín; Curación y análisis formal de los datos, Paola Ceseña; Investigación y metodología, Paola Ceseña, Blanca García, Jesús Olguín; Validación, Paola Ceseña; Visualización, Paola Ceseña, Blanca García, Jesús Olguín; Redacción del borrador original, Paola Ceseña, Blanca García, Jesús Olguín; Redacción de revisión y edición antes mencionadas, Paola Ceseña, Blanca García, Jesús Olguín

Financiamiento de la investigación

Los autores agradecen la beca doctoral número I1200/224/2024 otorgada a Paola Itzel Ceseña Romero por Conahcyt.

Anexos

Anexo A: Artículos más citados

	#	Sector/País	Tecnología/citas	Contexto
Industria automotriz	1	Fortune favors the prepared: How smes approach business model innovations in Industry 4.0 (Müller, Buliga, & Voigt, 2018)		
	1	Automóviles, Ing. Mecánica, plantas, ing. Eléctrica y TIC/ Alemania	Industria 4.0/ 640	Modelos de negocio pymes
	2	Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective (Bai, Dallasega, Orzes, & Sarkis, 2020b)		
	2	Automotriz, electrónica, comida y bebidas, textil, prendas de vestir y calzado / General	Industria 4.0/ 481	Sustentabilidad
	3	The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0 (Yin, Stecke, & Li, 2018)		
	3	Automotriz/ General	Industria 2.0 - 4.0/ 416	Sistemas de producción
	4	A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case (Yadav, Luthra, Jakhar, Mangla, & Rai, 2020)		
	4	Automotriz/ India	Industria 4.0/ 311	Gestión de la cadena de suministro sostenible
	5	Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities (Bag et al., 2021)		
	5	Automotriz/ Sudáfrica	Big data análisis-inteligencia artificial (BDA-IA)/ 262	Economía circular (EC) / prácticas de manufactura sostenible (PMS)
	6	An event-driven manufacturing information system architecture for Industry 4.0 (Theorin et al., 2017)		
	6	Automotriz/ General	Sistemas ciber físicos/ 246	Arquitectura del sistema de información de línea (lisa)
	7	Smart Factory Implementation and Process Innovation (Sjödin, Parida, Leksell, & Petrovic, 2018)		
	7	Automotriz/ Suiza, Brasil, Alemania	Industria 4.0/ 244	Digitalización en la manufactura
	8	Statistic analysis of operational influences on the cold start behaviour of PEM fuel cells (Oszcipok, Riemann, Kronenwett, Kreideweis, & Zedda, 2005)		
	8	Automotriz/ General	N-A/ 203	Comportamiento de arranque en frío de las Pilas de Combustible de Membrana de Electrolito Polimérico (PCMEP).

Adaptabilidad	9	A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry (Fraga-Lamas & Fernández-Caramés, 2019)		
	10	Automotriz/ General	Blockchain/ 197	Cyber-resilientes
	11	Strategic response to Industry 4.0: an empirical investigation on the Chinese automotive industry (Lin, Lee, Lau, & Yang, 2018)		
	Automotriz/ China	Industria 4.0/ 191	Respuesta estratégica	
	Part data integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and cloud technologies to enable a manufacturing execution system (Urbina Coronado et al., 2018)			
	Un estudio de caso sobre la fabricación de yo-yos de titanio. / Estados Unidos		Pequeñas empresas manufactureras	
	Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review (Bueno, Godinho Filho, & Frank, 2020)			
	General/ General	IoT, sistemas ciberfísicos, BDA-IA, y fabricación aditiva/ 130	Planificación y Control de Producción (PCP)	
	General/ General	Industria 4.0/ 108	Competencias requeridas	
	General/ General	Industria 4.0/ 91	Mercado laboral	
	Systematic literature review on augmented reality in smart manufacturing: Collaboration between human and computational intelligence (Baroroh, Chu, & Wang, 2021)			
	General/ General	Inteligencia computacional y RA/ 89	Fabricación inteligente	
	Effect of blockchain technology adoption on supply chain adaptability, agility, alignment and performance (Sheel & Nath, 2019)			
	General/ India	Blockchain/ 844	Cadena de suministro	
	The design space of production planning and control for industry 4.0 (Bendul & Blunck, 2019)			
	General/ General	Blockchain/ 83	Planificación y control de la producción	
	Augmented reality application to support the assembly of highly customized products and to adapt to production re-scheduling (Mourtzis, Zogopoulos, & Xanthi, 2019)			
	Automotriz/ General	RA/ 77	Montaje de productos personalizados y adaptación a producción	
	General/ General	IoT/ 77	Economía circular/producción limpia	
	Industry 4.0 Model for circular economy and cleaner production (Rajput & Singh, 2020)			
	Adapting to supply chain 4.0: an explorative study of multinational companies (Makris, Hansen, & Khan, 2019)			

		Químicas, comida y bebidas, alta tecnología, farmacéutica y minorista/General	Big data, Impresión 3D, la nube/63	Cadena de suministro
	21	Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing (Sanders, Elangeswaran, & Wulfberg, 2016) General/ Alemania	Industria 4.0/586	Manufactura esbelta
	22	Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? (Horváth & Szabó, 2019)		
	22	Automatización, desarrollo de software, electrónicos, comida y bebidas, etc./General	Industria 4.0/578	Fuerzas impulsoras y barreras
	23	Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective (Raj, Dwivedi, Sharma, Lopes de Sousa Jabbour, & Rajak, 2020) Manufacturero/ India- Francia	Industria 4.0/440	Barreras en economías desarrolladas y en desarrollo
	24	Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context A business model proposal (Nascimento et al., 2019) Manufacturero/general	Impresión 3d/381	Economía circular (EC)
	25	Financial anatomy of biomedical research (Donoso, 2006)		
	25	Fuentes públicas y privadas/Estados Unidos	Inteligencia artificial/378	Anatomía financiera
	26	Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry (Kamble et al., 2018) Industria manufacturera/India	Industria 4.0/373	Barreras de adopción
	27	The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda (Buer, Strandhagen, & Chan, 2018) General/general	Industria 4.0/372	Manufactura esbelta
	28	Connecting circular economy and industry 4.0 (Rajput & Singh, 2019) General/general	Industria 4.0/311	Economía circular / cadena de suministro
	29	Industry 4.0 – Are we ready? (Slusarczyk, 2018)v General/general	Industria 4.0/261	Actitud de los empresarios/ barreras

Fuente: Elaboración propia

Referencias

- Arruda, H. (2022). Vosviewer and Bibliometrix. *Journal of the Medical Library Association Word of Mouth*, 32(5), 10–12. <https://doi.org/10.1177/10483950211008345b>
- Aydin Azizi, R. V. B. (2022). Industry 4.0 Technologies, Applications, and Challenges. Singapore: Springer Nature Singapore. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-2012-7>
- Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of Institutional Pressures and Resources in the Adoption of Big Data Analytics Powered Artificial Intelligence, Sustainable Manufacturing Practices and Circular Economy Capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163(May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020a). Industry 4.0 Technologies Assessment: A Sustainability Perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Baroroh, D. K., Chu, C. H., & Wang, L. (2021). Systematic Literature Review on Augmented Reality in Smart Manufacturing: Collaboration Between Human and Computational Intelligence. *Journal of Manufacturing Systems*, 61(November 2020), 696–711. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.10.017>
- Bendul, J. C., & Blunck, H. (2019). The Design Space of Production Planning and Control for Industry 4.0. *Computers in Industry*, 105, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.010>
- Braun, J., & Missler-Behr, M. (2021). Product Development in the Automotive Industry in the Context of Industry 4.0 - A Bibliometric Analysis. *2021 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2021*, (Cc), 354–360. <https://doi.org/10.1109/IEEM50564.2021.9672820>
- Bueno, A., Godinho Filho, M., & Frank, A. G. (2020). Smart Production Planning and Control in the Industry 4.0 Context: A Systematic Literature Review. *Computers and Industrial Engineering*, 149(August), 106774. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106774>
- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The Link Between Industry 4.0 and Lean Manufacturing: Mapping Current Research and Establishing a Research Agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Ciccarelli, M., Papetti, A., & Germani, M. (2023). Exploring How New Industrial Paradigms Affect The Workforce: A Literature Review of Operator 4.0. *Journal of Manufacturing Systems*, 70(April), 464–483. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.08.016>
- Donoso, L. A. (2006). Financial Anatomy of Biomedical Research: Commentary. *Evidence-Based Ophthalmology*, 7(1), 45–46. <https://doi.org/10.1097/01.ieb.0000195562.59103.1c>
- Feraco, T., Casali, N., & Meneghetti, C. (2022). Adaptability Favors Positive Academic Responses and Posttraumatic Growth Under COVID-19: A Longitudinal Study With Adolescents. *European Journal of Psychology of Education*, 1771–1789. <https://doi.org/10.1007/s10212-022-00667-0>
- Fraga-Lamas, P., & Fernández-Caramés, T. M. (2019). A Review on Blockchain Technologies for an Advanced and Cyber-Resilient Automotive Industry. *IEEE Access*, 7, 17578–17598. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2895302>
- Govindan, K., & Arampatzis, G. (2023). A Framework To Measure Readiness and Barriers for the Implementation of Industry 4.0: A Case Approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59(March), 101249. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101249>

- Grybauskas, A., Stefanini, A., & Ghobakhloo, M. (2022). Social Sustainability in the Age of Digitalization: A Systematic :Literature Review on the Social Implications of Industry 4.0. *Technology in Society*, 70(February), 101997. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101997>
- Hognon, L., Heraud, N., Varray, A., & Torre, K. (2023). Complex Systems Approaches to the Adaptability of Human Functions and Behavior in Health, Aging, and Chronic Diseases: Protocol for a Meta-Narrative Review. *Systematic Reviews*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02268-4>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving Forces and Barriers of Industry 4.0: Do Multinational and Small and Medium-Sized Companies Have Equal Opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146(May), 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., Asadi, S., Ghobakhloo, M., Dwivedi, Y. K., & Tseng, M. L. (2023). Effects Of Supply Chain Transparency, Alignment, Adaptability, and Agility on Blockchain Adoption in Supply Chain Among Smes. *Computers and Industrial Engineering*, 176(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108931>
- Joyanes, L. (2017). Industria 4.0 La Cuarta Revolución Industrial: Marcombo https://books.google.com.mx/books?id=QyN1EAAAQBAJ&pg=PA4&source=gbs_selected_pages&cad=1#v=onepage&q&f=false
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the Driving and Dependence Power of Barriers to Adopt Industry 4.0 in Indian Manufacturing Industry. *Computers in Industry*, 101, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- Kergroach, S. (2017). Industry 4.0: New Challenges and Opportunities for the Labour Market. *Foresight and STI Governance*, 11(4), 6–8. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2017.4.6.8>
- Kipper, L. M., Iepsen, S., Dal Forno, A. J., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2021). Scientific Mapping to Identify Competencies Required by Industry 4.0. *Technology in Society*, 64(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101454>
- Kishorre Annanth, V., Abinash, M., & Rao, L. B. (2021). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Case Study of Siemens Industry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1969(1), 0–17. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1969/1/012019>
- Kumar, N., Singh, A., Gupta, S., Kaswan, M.S. and Singh, M. (2023). Integration of Lean Manufacturing and Industry 4.0: a Bibliometric. *The TQM Journal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0243>
- Lee, S. M., Lee, D., & Kim, Y. S. (2019). The Quality Management Ecosystem for Predictive Maintenance in the Industry 4.0 Era. *International Journal*.<https://doi.org/10.1186/s40887-019-0029-5>
- Lin, D., Lee, C. K. M., Lau, H., & Yang, Y. (2018). Strategic Response to Industry 4.0: an Empirical Investigation on the Chinese Automotive Industry. *Industrial Management and Data Systems*, 118(3), 589–605. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2017-0403>
- Makris, D., Hansen, Z. N. L., & Khan, O. (2019). Adapting to Supply Chain 4.0: an Explorative Study of Multinational Companies. *Supply Chain Forum*, 20(2), 116–131. <https://doi.org/10.1080/16258312.2019.1577114>
- Marizia Bolpagni, R. G. (2022). Shaping the Future of Construction Professionals. in Industry 4.0 for the Built Environment: Springer International Publishing https://www.researchgate.net/publication/356757964_Shaping_the_Future_of_Construction_Professionals
- Motallebi, S., Zandieh, M. & Alem Tabriz, A. (2023). Bibliometric Analysis of the Emergence and Evolution of Industry 4.0 In The Supply Chain. *Production Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11740-023-01226-2>

- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., & Xanthi, F. (2019). Augmented Reality Application to Support the Assembly of Highly Customized Products and to Adapt to Production Re-Scheduling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 105(9), 3899–3910. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03941-6>
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. I. (2018). Fortune Favors the Prepared: How Smes Approach Business Model Innovations in Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 132(September 2017), 2–17. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 Technologies to Enable Circular Economy Practices in a Manufacturing Context: A Business Model Proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607–627. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2018-0071>
- Núbia Pererira, E. W. (2020). Industry 4.0 - What is it. In Industry 4.0 Current Status and Future Trends: IntechOpen https://library.oapen.org/bitstream/id/fa28a2ab-2770-4c5b-b756-c01c7e4c295d/external_content.pdf
- Oszcipok, M., Riemann, D., Kronenwett, U., Kreideweis, M., & Zedda, M. (2005). Statistic Analysis of Operational Influences on the Cold Start Behaviour of PEM Fuel Cells. *Journal of Power Sources*, 145(2), 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.02.058>
- Rahim, M. A., Rahman, M. A., Rahman, M. M., Asyhari, A. T., Bhuiyan, M. Z. A., & Ramasamy, D. (2021). Evolution of IoT-Enabled Connectivity and Applications in Automotive Industry: A Review. *Vehicular Communications*, 27, 100285. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2020.100285>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the Adoption of Industry 4.0 Technologies in the Manufacturing Sector: An Inter-Country Comparative Perspective. *International Journal of Production Economics*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2019). Connecting Circular Economy and Industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49(November 2018), 98–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002>
- Rajput, S., & Singh, S. P. (2020). Industry 4.0 Model for Circular Economy and Cleaner Production. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123853. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123853>
- Razmjooei, D., Alimohammadlou, M., Ranaei Kordshouli, H. A., & Askarifar, K. (2023). Industry 4.0 Research in the Maritime Industry: A Bibliometric Analysis. *WMU Journal of Maritime Affairs* (Vol. 22). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s13437-022-00298-8>
- Reinhard Geissbauer, Jesper Vedso, S. S. (2016). Industry 4.0: Building the Digital Enterpris.. *PWC* (Vol. 15). <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Saatçioğlu, Ö. Y., Özispa, N., & Kök, G. T. (2019). Scrutinizing the Barriers that Impede Industry 4.0 Projects (pp. 294–314). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7865-9.ch016>
- Saberi, B. (2018). The Role of the Automobile Industry in the Economy of Developed Countries. *International Robotics & Automation Journal*, 4(3), 179–180. <https://doi.org/10.15406/iratj.2018.04.00119>
- Salem, M., Van Quaquebeke, N., & Besiou, M. (2022). Aid Worker Adaptability in Humanitarian Operations: Interplay of Prosocial Motivation and Authoritarian Leadership. *Production and Operations Management*, 31(11), 3982–4001. <https://doi.org/10.1111/poms.13798>

- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811–833. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Sayem, A., Biswas, P. K., Khan, M. M. A., Romoli, L., & Dalle Mura, M. (2022). Critical Barriers to Industry 4.0 Adoption in Manufacturing Organizations and Their Mitigation Strategies. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(6). <https://doi.org/10.3390/jmmp6060136>
- Schwab, K. (2016). La cuarta revolución industrial: Debate <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/economia/article/download/20360/20303>
- Sheel, A., & Nath, V. (2019). Effect of Blockchain Technology Adoption on Supply Chain Adaptability, Agility, Alignment And Performance. *Management Research Review*, 42(12), 1353–1374. <https://doi.org/10.1108/MRR-12-2018-0490>
- Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation. *Research Technology Management*, 61(5), 22–31. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0 – Are We Ready? *Polish Journal of Management Studies*, 17(1), 232–248. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.1.19>
- Sony, M., & Mekoth, N. (2022). Employee Adaptability Skills for Industry 4.0 Success: A Road Map. *Production and Manufacturing Research*, 10(1), 24–41. <https://doi.org/10.1080/21693277.2022.2035281>
- Sordan, J. E., Oprime, P., Pimenta, M. L., Chiabert, P., & Lombardi, F. (2022). Industry 4.0: A Bibliometric Analysis in the Perspective of Operations Management. *Operations and Supply Chain Management*, 15(1), 93–104. <https://doi.org/10.31387/oscsm0480333>
- Telukdarie, A., Munsamy, M., Katsumbe, T. H., Maphisa, X., & Philbin, S. P. (2023). Industry 4.0 Technological Advancement in the Food and Beverage Manufacturing Industry in South Africa—Bibliometric Analysis via Natural Language Processing. *Information (Switzerland)*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/info14080454>
- Theorin, A., Bengtsson, K., Provost, J., Lieder, M., Johnsson, C., Lundholm, T., & Lennartson, B. (2017). An Event-Driven Manufacturing Information System Architecture for Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1297–1311. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1201604>
- Trevisan, A. H., Lobo, A., Guzzo, D., Gomes, L. A. de V., & Mascarenhas, J. (2023). Barriers To Employing Digital Technologies for a Circular Economy: A Multi-Level Perspective. *Journal of Environmental Management*, 332(January), 117437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117437>
- Urbina Coronado, P. D., Lynn, R., Louhichi, W., Parto, M., Wescoat, E., & Kurfess, T. (2018). Part Data Integration in the Shop Floor Digital Twin: Mobile and Cloud Technologies To Enable a Manufacturing Execution System. *Journal of Manufacturing Systems*, 48, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.02.002>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of The Art and Future Trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yadav, G., Luthra, S., Jakhar, S. K., Mangla, S. K., & Rai, D. P. (2020). A Framework to Overcome Sustainable Supply Chain Challenges Through Solution Measures tf Industry 4.0 and Circular Economy: An Automotive Case. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120112>

Yepes-Nuñez, J. J., Urrútia, G., Romero-García, M., & Alonso-Fernández, S. (2021). The PRISMA 2020 Statement: An Updated Guideline for Reporting Systematic Reviews. *Revista Espanola de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The Evolution of Production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>

Información adicional

Autor de Correspondencia: Paola Itzel Ceseña Romero paola.cesena@uabc.edu.mx

Clasificación JEL: O32, M11.