


# Tendencias en tecnologías convergentes en la industria 4.0: una revisión de literatura

Paula Andrea Rodríguez-Correa<sup>1</sup>; Camilo Andrés Echeverri-Gutiérrez<sup>2</sup>; Alejandro Valencia-Arias<sup>1</sup>; Leidy Catalina Acosta-Agudelo<sup>2</sup>; Mauricio Echeverri-Gutiérrez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones, Institución Universitaria Escolme, Calle 50 # 40-39, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>AM&C COLOMBIA, CR 7 # 23 Sur 94 CA 4, Medellín, Colombia.

\*formulacion@administrativemc.com

Fecha recepción: mayo 23 de 2023

Fecha aceptación: julio 6 de 2023

## Resumen

De cara a los desafíos que ha traído consigo la industria 4.0 para las organizaciones, las tecnologías convergentes han cobrado gran importancia para responder a algunas de las necesidades de la actualidad. Por tanto, este estudio se propone como objetivo central identificar las tendencias temáticas en estudios de tecnologías convergentes en la Industria 4.0. Con base en esto se incluyen cuatro preguntas de investigación. Se realiza un análisis bibliométrico a partir de la declaración PRISMA. Se seleccionan las bases de datos Scopus y Web of Sciences y finalmente, se seleccionan 137 documentos para realizar el análisis. Los resultados permiten identificar los principales actores investigativos, es decir, los principales referentes en términos de autores, revistas y países que generan mayor impacto en el tema. También se analiza el comportamiento evolutivo de las temáticas de investigación en función de las palabras claves más recurrentes por año. Se identifican clústeres temáticos y los temas más frecuentes y vigentes en la literatura a partir del software VOSviewer. De esta manera, se propone una agenda investigativa en la que se marcan las futuras líneas de investigación y las preguntas que se deben responder con base en los vacíos académicos identificados. Los hallazgos permiten identificar un mayor interés por los temas relacionados con la inteligencia artificial, el cuidado de la salud y las farmacéuticas y la automatización en las ciencias de la salud.

**Palabras clave:** *Tecnologías convergentes; Industria 4.0; Gestión organizacional; Digitalización; Automatización.*

# Trends in converging technologies in industry 4.0: a literature review

## Abstract

Facing the challenges that Industry 4.0 has brought to organizations, convergent technologies have gained great importance to respond to some of today's needs. Therefore, this study proposes as a central objective to identify the thematic trends in studies of converging technologies in Industry 4.0. Based on this, four research questions are included. A bibliometric analysis is carried out from the PRISMA statement. The Scopus and Web of Sciences databases are selected and finally, 137 documents are selected to carry out the analysis. The results make it possible to identify the main research actors, that is, the main references in terms of authors, journals and countries that generate the greatest impact on the subject. The evolutionary behavior of the research topics is also analyzed based on the most recurring keywords per year. Thematic clusters and the most frequent and current themes in the literature are identified using the VOSviewer software. In this way, a research agenda is proposed in which future lines of research are marked and the questions that must be answered based on the identified academic gaps. The findings allow us to identify a greater interest in topics related to artificial intelligence, health care and pharmaceuticals and automation in health sciences.

**Keywords:** *Converging technologies; Industry 4.0; Organizational management; Digitization; Automation.*

# Tendências em tecnologias convergentes na indústria 4.0: uma revisão da literatura

## Resumo

Face aos desafios que a Indústria 4.0 trouxe às organizações, as tecnologias convergentes ganharam grande importância para responder a algumas das necessidades atuais. Apesar dos benefícios que as tecnologias convergentes proporcionam na indústria no contexto da digitalização, poucos estudos realizaram uma revisão teórica da relação entre ambas. Portanto, este estudo propõe como objetivo central identificar as tendências temáticas nos estudos de tecnologias convergentes na Indústria 4.0. Com base nisso, quatro perguntas de pesquisa são incluídas. Uma análise bibliométrica é realizada a partir da declaração PRISMA. As bases de dados Scopus e Web of Sciences são selecionadas e, finalmente, 137 documentos são selecionados para realizar a análise. Os resultados permitem identificar os principais atores da pesquisa, ou seja, as principais referências em termos de autores, periódicos e países que geram maior impacto sobre o tema. O comportamento evolutivo dos temas de pesquisa também é analisado com base nas palavras-chave mais recorrentes por ano. Os agrupamentos temáticos e os temas mais frequentes e atuais na literatura são identificados por meio do software VOSviewer. Dessa forma, propõe-se uma agenda de pesquisa na qual são marcadas as futuras linhas de pesquisa e as questões que devem ser respondidas com base nas lacunas acadêmicas identificadas. Os achados permitem identificar um maior interesse por temas relacionados à inteligência artificial, saúde e farmacêutica e automação nas ciências da saúde.

**Palavras-chave:** *Tecnologias convergentes; Indústria 4.0; Gestão organizacional; Digitalização; Automação.*

## Introducción

A medida que los desarrollos tecnológicos avanzan, las organizaciones adaptan sus modelos de negocio y capacidades dinámicas [1]. La innovación tecnológica para el desarrollo también se ha convertido en una prioridad para los países. Esto implica inversión en investigación, desarrollo e innovación, sobre todo en la era de la Industria 4.0 [2]. La convergencia de diversas tecnologías emergentes tiene la capacidad de crear valor para las organizaciones interviniendo en las actividades industriales de cara a la transformación digital, anticipándose a tiempo a los cambios del mercado [3]. En ese sentido, la industria 4.0 busca impulsar el desarrollo tecnológico a través de la información y la conectividad [4].

La denominada cuarta revolución industrial se concentra en el desarrollo de tecnologías como vehículos autónomos, internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), impresión 3D, computación en la nube, inteligencia artificial, nanotecnología, tecnologías cognitivas, robótica, entre otras [5], las cuales se busca integrar con el uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) a fin de impactar a todos los agentes del ecosistema (proveedores, clientes, entidades regulatorias, inversionistas), empresas e individuos [6]. Principalmente, la sinergia alude a cuatro ramas de la ciencia y la tecnología: nanotecnología, biotecnología y ciencias cognitivas, es decir, campos tecnocientíficos, y las TIC para proporcionar nuevas bases de desarrollo de conocimiento e innovación que permitan responder a las necesidades actuales [7].

Pese a los beneficios que proporcionan las tecnologías convergentes en la industria en el contexto de la digitalización, pocos estudios han realizado una revisión teórica de la relación entre los dos [8]. Estudios como el de Szász *et al.* [9] ofrece una investigación empírica más generalizable sobre el impacto en el rendimiento de la implementación de la Industria 4.0 y la forma en que los factores de contingencia importantes afectan los esfuerzos de implementación. En el estudio de Zhong *et al.* [10] proporciona una revisión exhaustiva de temas asociados, como la fabricación inteligente, Internet de las cosas (IoT) fabricación habilitada y fabricación en la nube. No obstante, no se registran investigaciones que aborden la relación entre las tecnologías convergentes en el contexto de la Industria 4.0.

Con base en lo anterior, este estudio se propone como objetivo central identificar las tendencias

temáticas en estudios de tecnologías convergentes en la Industria 4.0. Para esto, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles son los actores investigativos más relevantes?
2. ¿Cómo ha sido la evolución temática con el tiempo alrededor de la industria 4.0 y las tecnologías convergentes?
3. ¿Cuáles son las tendencias temáticas alrededor de la industria 4.0 y las tecnologías convergentes?
4. ¿Hacia dónde se dirigen las futuras líneas de investigación del tema de la industria 4.0 y las tecnologías convergentes?

## Tecnologías convergentes

Las tecnologías convergentes son aplicables a diversas áreas del conocimiento, entre esas, las matemáticas, programación, computación, bioinformática, genética, bioquímica, biotecnología y biología celular y molecular [11]. Una característica de estas tecnologías es su heterogeneidad ya que permite su aplicación en diversas disciplinas del conocimiento e involucra actores de distintos ámbitos, por ejemplo, universidades, empresas y gobiernos. También implica la movilización de recursos tecnológicos, industrias y mercados [12]. Esta integración incidirá en la sinergia requerida para la investigación y el desarrollo y la transferencia del conocimiento científico que impulsará el desarrollo social [13]. Por tanto, las principales aplicaciones de las tecnologías convergentes de acuerdo con Morales [14] se orientan al aumento de capacidades físicas, mejora de la salud, aumento de las capacidades de entendimiento social, incremento de la seguridad, mejora de la productividad y el crecimiento económico.

Desde inicios del siglo XXI se ha visualizado el futuro de las tecnologías convergentes como prometedor [15]. Fundamentalmente, se ha esperado de estas tecnologías que puedan extender la vida y la salud humana, generar nuevas fuentes de energía para mejorar la calidad de vida o acelerar la productividad y el comercio [16]. La aceleración del progreso científico y tecnológico ha permitido que se estén trabajando actualmente en esas necesidades identificadas que se podían satisfacer mediante las tecnologías convergentes formadas como resultado de la fusión de conocimientos de diferentes industrias [17]. En ese sentido, estas tecnologías configuran un campo de interés para el crecimiento económico de los países, redistribuyen la inversión y el potencial humano,

abren la puerta a un nuevo mapa de asignación de fuerzas productivas en el mundo, constituye un masivo capital en industrias intangibles y representa un valor agrado para las industrias, sobre todo aquellas basadas en nanotecnologías, biotecnologías de la información [18]. Por lo que se convierte hoy en día en un foco de innovación importante en la estructura de la economía del conocimiento [19].

En la actualidad, la innovación tiene un efecto exponencial de la convergencia, esto implica el aprovechamiento de la fuerza cuántica de fusión de varios objetos, ideas, personas, funciones, tecnologías, organizaciones, industrias y sociedades [20]. La característica principal de la innovación convergente es el ecosistema, el cual está diseñado para apoyar la toma de decisiones de forma autónoma, a partir del uso de tecnologías convergentes como sensores inteligentes, inteligencia artificial, IoT, análisis de Big Data, aprendizaje automático y computación ambiental, mediante el monitoreo del entorno [21].

#### **Industria 4.0**

La cuarta revolución industrial, comúnmente conocida como la Industria 4.0 se ha caracterizado por la conexión de las diferentes tecnologías convergentes, el cambio en las formas de propiedad, la fusión de realidades cibernéticas y sociales, el desarrollo de tecnologías inteligentes y el uso de las redes sociales como medio de comunicación [22]. Esta revolución trae consigo la digitalización y la convergencia continua de los mundos real y virtual. La gran cantidad de datos que se generan cada día y la convergencia de diferentes tecnologías asequibles que van de la mano con las TIC han transformado todos los ámbitos de la economía. Por ejemplo, en Alemania el IoT y los datos han revolucionado los servicios en los sectores de la transformación energética, logística y movilidad sostenible, atención médica y la industria manufacturera líder [23].

El sector industrial es el que se ha visto más beneficiado con la revolución de la digitalización de la era moderna. Los cambios vertiginosos e innovadores en lo referente a la adopción de recursos tecnológicos ha rompido paradigmas respecto al desarrollo empresarial tradicional. Tecnologías como la robótica, la simulación, el IoT, Big Data, computación en la nube y la realidad virtual y aumentada, han sido las principales aliadas en la automatización de los procesos industriales [24].

Resumidamente, las tecnologías que trae consigo la industria 4.0 son: 1. El Big Data y la analítica de Inteligencia Artificial para el análisis de una gran cantidad de datos y el apoyo de la toma de decisiones. 2. La integración horizontal y vertical para la vinculación de datos en la industria en tiempo real. 3. La computación en la nube para el almacenamiento de datos, velocidad, escalabilidad y eficiencia en costos. 4. La realidad aumentada con la integración de dispositivos móviles y lentes inteligentes. 5. El IoT que puede proporcionar datos en tiempo real sobre un estado, rendimiento o ubicación. 6. La fabricación aditiva e impresión 3D para la creación rápida de prototipos e incluso fabricación personalizada. 7. Robots autónomos que tienen la capacidad de realizar tareas difíciles y delicadas y pueden reconocer, analizar y actuar sobre la información. 8. Simulación/gemelos digitales que le permiten a las empresas comprender, analizar y mejorar el rendimiento y el mantenimiento de los sistemas y productos industriales. 9. Ciberseguridad para automatizar la detección, prevención y respuesta ante amenazas y minimizar el riesgo de violaciones a los datos [24-25].

#### **Metodología**

Este estudio se desarrolla mediante un análisis bibliométrico para evaluar y analizar la literatura pertinente de tecnologías convergente y la Industria 4.0 mediante la declaración PRISMA. Esta consiste en una lista de comprobación de 27 ítems y cuatro fases. El objetivo de esta declaración es que guiar a los investigadores en la realización de una adecuada revisión sistemática y metaanálisis [26]. El diagrama de flujo describe los criterios de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de los documentos que se seleccionan en la revisión [27].

#### **Criterios de inclusión y exclusión**

Como criterios de inclusión se busca incluir aquellos documentos que cuenten con los siguientes términos en título, resumen y palabras claves del autor: tecnologías convergentes e industria 4.0 [28-29]. Se incluyen documentos en función de su relevancia para el tema de esta investigación. Los estudios que están presentes en más de una combinación de palabras clave y aquellos con puntos de datos bibliográficos incompletos se excluyen. Además, no se incluyen estudios que mencionen la Industria 4.0 y/o las tecnologías

convergentes como un breve punto de referencia o como un tema de investigación colateral. Esto con el fin de seleccionar aquellas publicaciones que aborden los temas de tecnologías convergentes e industria 4.0 de forma principal, de forma que se pueda brindar una perspectiva adecuada del tema de estudio [30].

### Selección de las bases de datos

Se decide utilizar las bases de datos Scopus y Web of Science para tener acceso a una amplia gama de publicaciones académicas y de congresos. Scopus es la base de datos más común, es producida por Elsevier Co e indexado en más de 14000 revistas para numerosos campos [31]. Web of Science es una de las bases de datos de citas y resúmenes más extensa e incluye miles de revistas revisadas por pares en numerosos campos de estudio. De acuerdo con Kamble, *et al.* [32] estas revistas revisadas por pares pertenecen a varias editoriales, incluidas Elsevier, Springer, Emerald, Taylor and Francis e IEEE. Se consideran las dos revistas de mayor alcance de publicaciones de alto impacto, por lo que se consideran esenciales en el uso de revisiones de literatura desde un enfoque estructurado [33]. Por tanto, se utilizan estas bases de datos para buscar información relacionada con publicaciones del tema de investigación.

### Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda se realiza mediante la elaboración de una ecuación de búsqueda [34]. Las palabras claves utilizadas fueron: "industry 4.0", "Convergent Technology", biotechnology, nanotechnology, cognition y neuroscience. Además, se incluyeron los operadores booleanos AND para inclusión y OR para sinónimos. Las comillas se utilizaron para la búsqueda de palabras exactas [35]. A continuación, las ecuaciones de búsqueda utilizadas:

En Scopus: TITLE-ABS-KEY ( ( "industry 4.0" AND ( ( "Convergent Technology" ) OR ( biotechnology OR nanotechnology OR cognition OR neuroscience ) ) ) ) )

En Web of Science: ( ( TI=( "Industry 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "automation" OR "digital transformation" ) AND TI=( "Convergent Technolog\*" OR biotechnology OR nanotechnology OR cognition ) ) OR ( AK=( "Industry 4.0" OR "Fourth Industrial Revolution" OR "automation" OR "digital transformation" ) AND AK=( "Convergent Technolog\*" OR biotechnology OR nanotechnology OR cognition ) ) )

### Proceso de selección

En la **Figura 1** se detalla todo el proceso de selección con base en los parámetros de la declaración PRISMA [36-37]. En total se recopilaban 305 registros de las bases de datos elegidas, en primer lugar, se eliminaron los documentos duplicados. Posteriormente, se excluyeron aquellos estudios que abordaban el tema de la Industria 4.0 y/o las tecnologías convergentes como un breve punto de referencia o como un tema de investigación colateral. También se excluyeron aquellos estudios de indexación incompleta o con errores. Por último, se decidió no incluir actas de conferencia para centrar el análisis en artículos de investigación que, por lo general, incluyen tecnologías más consolidadas y con una aplicación real en la industria. Al final, se recopilan 172 publicaciones para el análisis de estudio.

### Resultados

El análisis de los resultados se genera en referencia a los 137 artículos seleccionados en donde se aplican los indicadores de productividad, es decir, enfocado en la cantidad de publicaciones y el impacto, centrado en la cantidad de citas recibidas. Inicialmente, se realiza un análisis de las publicaciones por año, posteriormente los indicadores de productividad e impacto en función de los actores investigativos: autores, revistas y países. También, los resultados permiten vislumbrar un análisis de las tendencias temáticas a partir de las palabras claves más relevantes de cada año y la red de coocurrencia a partir del software VOSviewer. Así mismo, se presenta un análisis de la vigencia y frecuencia de las palabras claves y finalmente, se propone una agenda investigativa con las líneas de investigación futura. Inicialmente, la **Figura 2** muestra el número de publicaciones anuales relacionadas a las tecnologías convergentes en la industria 4.0. Se observa la evolución del número de publicaciones desde el año 1993 (año en que se realizó la primera publicación), hasta la actualidad (año 2023), reflejando una tasa de crecimiento exponencial de alrededor del 98,81%. Además, se puede visualizar que en el año 2022 es el año con mayor interés sobre el tema de las tecnologías convergentes en la industria 4.0 registrando 22 publicaciones. Actualmente la transformación digital hace que las organizaciones creen necesidades y busque la actualización de las habilidades de sus colaboradores, por esto es importante que los empleados desarrollen de manera constantes

nuevas habilidades, especialmente frente a la transformación digital logrando así llegar a la madurez digital, sabiendo que la madurez digital muestra el nivel de beneficio que han obtenido de

la digitalización las organizaciones, además de mejorar la capacidad que tienen los colaboradores al resolver un problema [38].

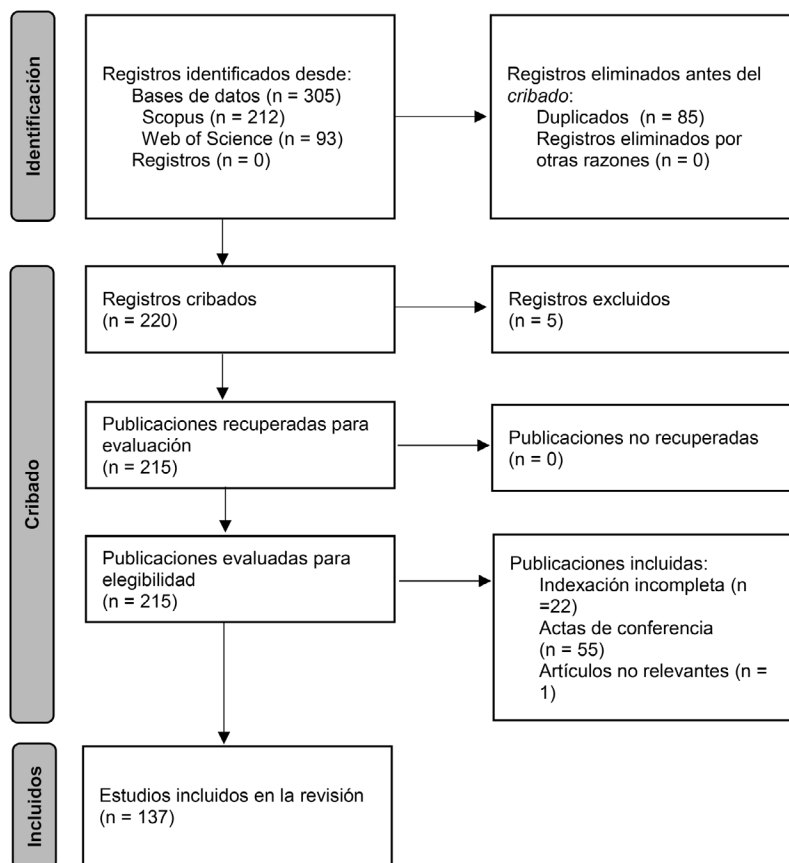


Figura 1. Resultados de la búsqueda y criterios de selección de estudios.

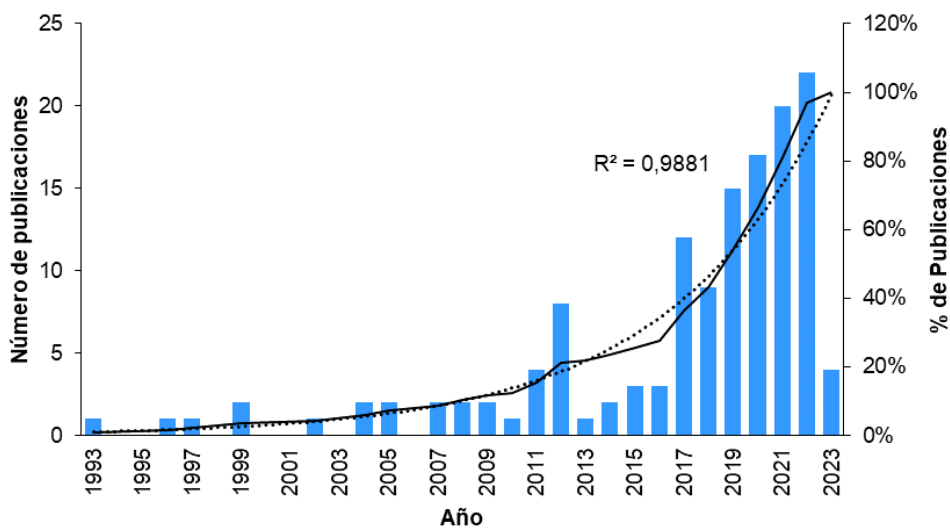


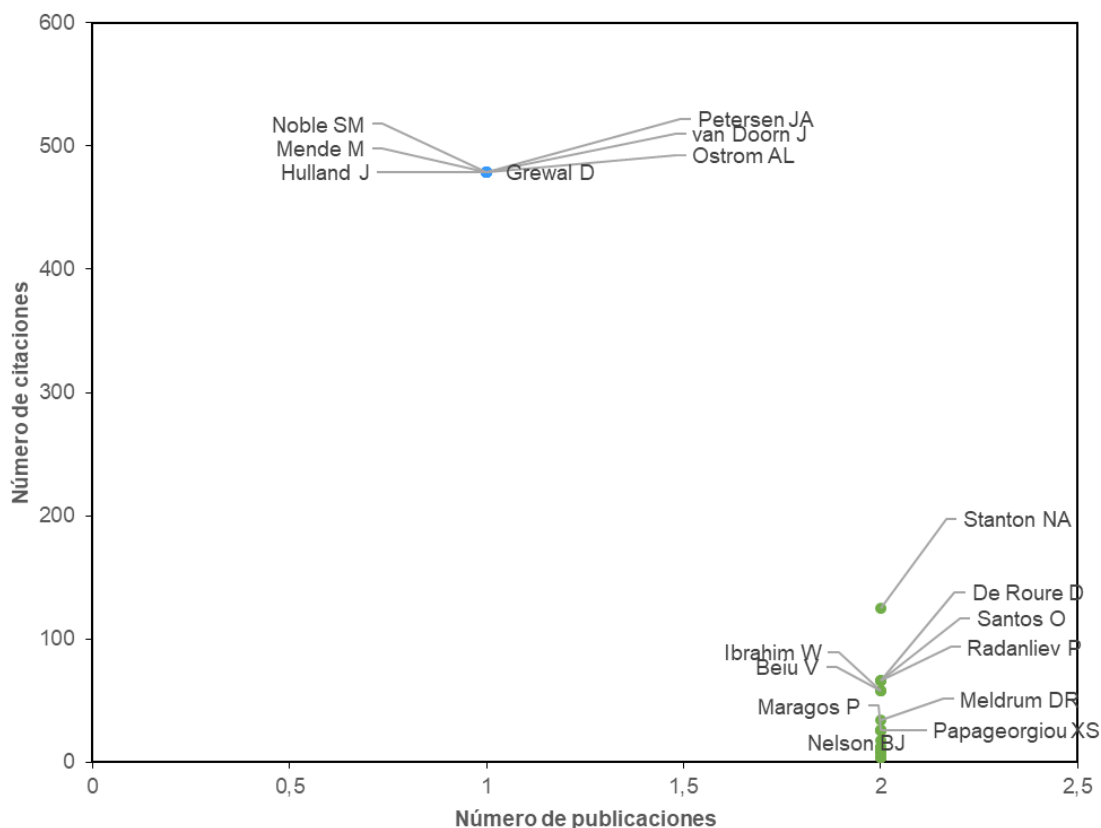
Figura 2. Distribución de publicaciones por año. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.



En la misma línea, el año 2021 ocupa el segundo lugar en cantidad de publicaciones, contando con un total de 20. Algunas de estos estudios investigan el funcionamiento de los equipos de innovación dentro de las organizaciones que se ocupan del desarrollo tecnológico digital, la forma de pensar del equipo y el proceso del equipo que retroalimentan de manera cíclica y reforzante [39]. En el caso de la **Figura 3** se analizan varios aspectos, primero los autores con más citaciones sobre las tecnologías convergentes en la industria 4.0, segundo la calidad de publicaciones que difunden, y tercero los autores con mayor cantidad de publicaciones. Inicialmente los autores van Doorn J, Mende M, Noble SM, Hulland J, Ostrom AL, Grewal D, y Petersen JA, cuentan con el mayor número de citaciones asociadas a su única publicación la cual cuenta con alrededor de 479 citas registradas. En este artículo, se resalta la capacidad que tiene la tecnología para atraer nuevos clientes a las organizaciones, esto porque la tecnología ha avanzado tanto que se evalúan la presencia social automatizada lo que se define

como la capacidad de las tecnologías para hacer que el cliente sienta la presencia de otro individuo, es decir, a futuro la tecnología se fusionará con la práctica del servicio al cliente y permitirá verdaderas relaciones entre robots de servicio y humanos [40].

Realizando un estudio más detallado, se puede observar que Stanton N.A es uno de los autores con más publicaciones relacionadas a las tecnologías convergentes en la industria 4.0, centrándose en la automatización de vehículos [41]. De Roure D, Santos O y Radanliev P, también se encuentran entre los autores con mayor número de publicaciones, con 6 publicaciones sobre la temática, siendo algunas de estas análisis realizados a un sistema de cadena de suministro dinámico que involucra la intervención de la inteligencia artificial, aprendizaje automático y la inteligencia, que a su vez, permite hacer un análisis predictivo de riesgos cibernético, esto porque las tecnologías han cambiado la manera que se organizan los procesos en la cadena de suministro [42].



**Figura 3.** Autores principales. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

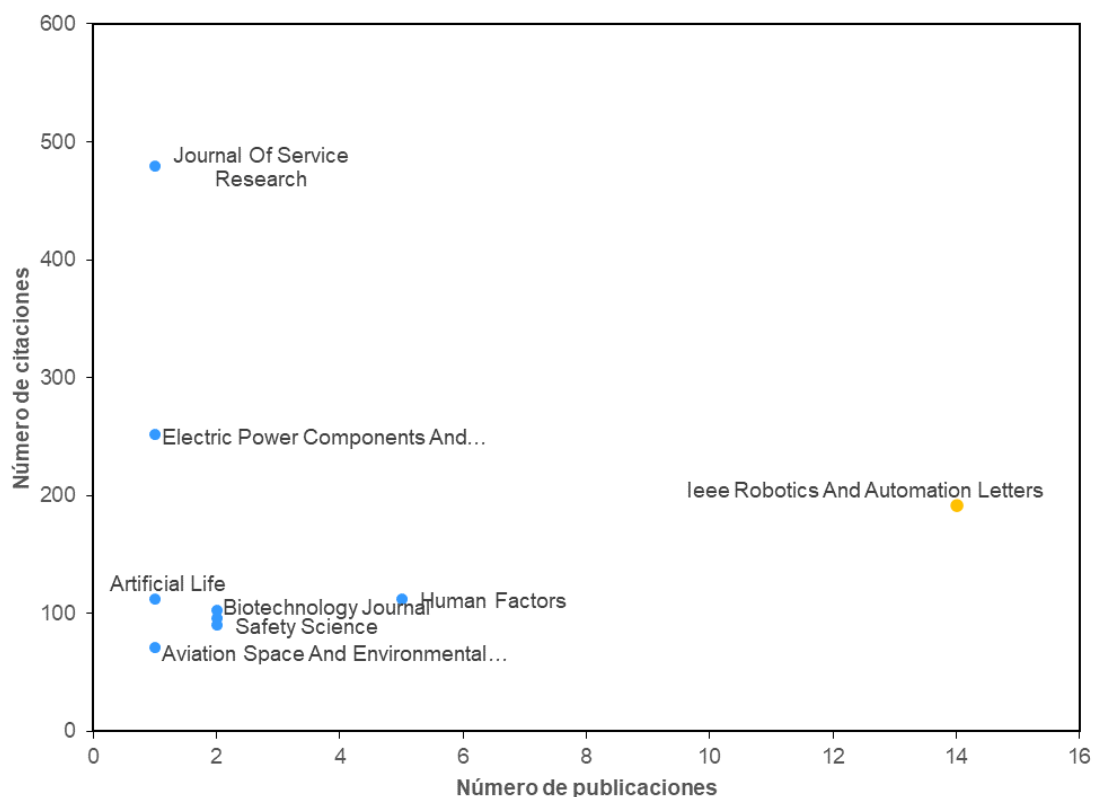
Como se puede observar en la **Figura 4** se presentan las revistas que tienen un alto número de artículos y citas relacionadas. Adicionalmente, se visualizan las revistas que tienen un gran porcentaje de citas a pesar de sus pocas publicaciones y finalmente aquellas revistas con pocas citas, pero por la cantidad de publicaciones que tienen, se demuestra un gran interés en la temática de las tecnologías convergentes en la industria 4.0.

En primer lugar, se ubica la revista *Ieee Robotics And Automation Letters* considerada la revista líder con un total de 192 citas relacionadas a sus 14 publicaciones sobre la temática. Estas, centradas principalmente en el uso de robots para el desarrollo de actividades tanto cotidianas como laborales, donde actualmente las cirugías complicadas que son asistidas por robots se realizan con mayor facilidad. Por esto, es importante desarrollar técnicas de segmentación para que las inteligencias artificiales reconozcan las diferentes actividades quirúrgicas, pues las cirugías involucran actividades continuas complejas que pueden contener acciones superfluas, repetidas y

variaciones temporales [43].

En segundo lugar, aunque solo tiene una publicación relacionada a ella se encuentra la revista *Journal Of Service Research* la cual tiene 479 citas relacionadas. Dicho artículo presenta el cambio de la naturaleza del servicio a los clientes y las relaciones que los proveedores tiene con estos a causa de la evolución de la tecnología, donde se estima que a futuro el servicio se fusionara con la tecnología brindando numerosas experiencias nuevas a los clientes [40].

*Electric Power Components And Systems* es una revista que también se interesa por el tema de investigación de este estudio. A pesar de que cuenta con una sola publicación esta registra alrededor de 252 citas. En la publicación mencionada, se creó una estructura dinámica en tiempo real e interactiva que permitió diseñar y construir un sistema de energía del futuro, el surgimiento de las redes inteligentes fue un gran alivio para la industria de la energía eléctrica, debido a la disminución de la huella de carbono y el impacto ambiental que estaba generando [44].



**Figura 4.** Revistas principales. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

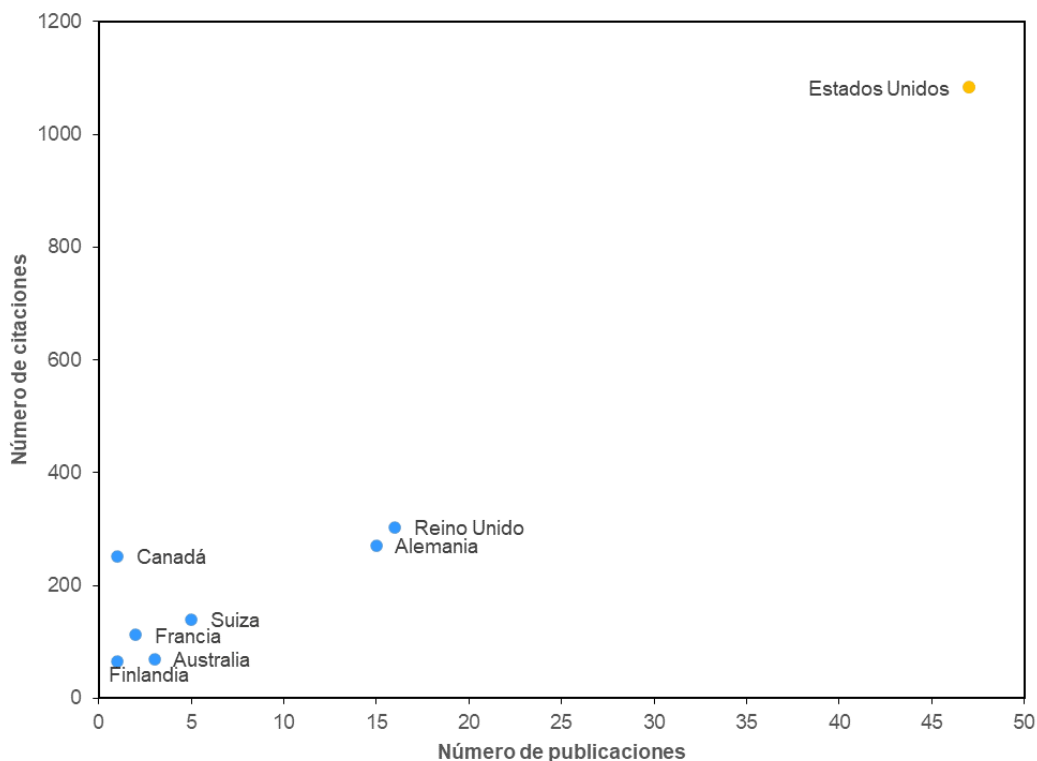


Por último, en la **Figura 5** se clasifican los países con más publicaciones y citas relacionadas con las tecnologías convergentes en la industria 4.0, de igual forma estudia los países que tienen menos publicaciones, pero más citas, y finalmente examina los países con mayor interés en la temática, es decir, aquellos países con mayor número de publicaciones, pero con pocas citas registradas. Iniciando con Estado Unidos país que cuenta con 1083 citas, convirtiéndose así en un referente para otros países con sus 47 publicaciones. Una de las publicaciones más destacadas se enfoca en la automatización y cómo ha generado una dependencia a la hora de realizar tareas que son cada vez más complejas cognitivamente, es decir, que a la hora de realizar dichas tareas el ser humano se ha vuelto más dependiente cognitivamente de los equipos, se analizan los problemas relacionados con la interacción humano-automatización y las implicaciones que hay dentro del diseño de tecnologías de automatización, esto para mejorar el desempeño de las tareas en los equipos que se dedican a la automatización humana [45]. Le sigue Reino Unido, país que cuenta con 16 Publicaciones y un total de 257 referencias

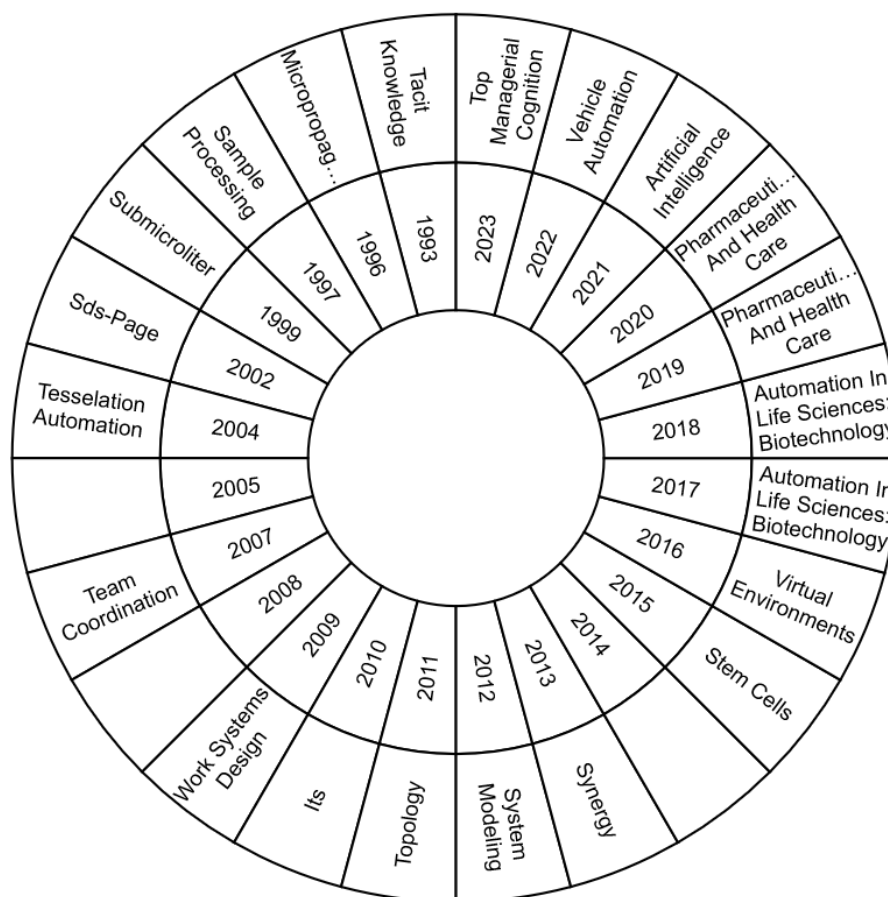
relacionadas a las publicaciones realizadas en este país. Después esta Alemania que si bien es un país con pocas publicaciones relacionadas a las tecnologías convergentes de en la industria 4.0, tiene un total de 270 citas relacionadas a sus 15 publicaciones. Algunas de presentan un modelo de desarrollo que permite la manipulación automatizada de objetos de tamaño nanométrico y micro, esto por medio de configuraciones robóticas logrando así una alta repetibilidad del proceso con una precisión hasta ahora inigualable [46].

### Tendencias temáticas

Los principales temas de investigación relacionados a las tecnologías convergentes en la industria 4.0 sean desarrollado a lo largo de años. Las áreas de interés cambian cada año como muestra la **Figura 6**, *micropropagation* (micropropagación) fue el tema principal de publicación del año 1996, un tema enfoca en el estudio de la robotización del trasplante de protocormos en las orquídeas, reduciendo así los costos de mano de obra y a su vez evitando la contaminación biológica, con el sistema robótico desarrollado se podían realizar transferencia de protocormos con mayor eficiencia y precisión que los humanos [47].



**Figura 5.** Países principales. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.



**Figura 6.** Evolución temática. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

*System modeling* (Modelado de sistemas) es el tema central de investigación del año 2012 donde se evalúa el diseño de la automatización asistido por una computadora, que desarrolla biotecnología por medio de un software, además de proponer un modelo de costos simplificado-unificados para los objetivos que se tienen planteados con el diseño, teniendo en cuenta que el desarrollo de los sistemas de automatización busca reducir lo más posible costos operativos y de capital. La automatización juega un papel cada vez más importante en las Ciencias de la vida y especialmente en la Biotecnología [48].

Para el año 2020 el tema central de investigación fue *automation in life sciences* (automatización en ciencias de la vida), estudiando el uso de las inteligencias artificiales en distintas áreas, analizando así a Lio un robot que es usado en distintas áreas de la salud. Este da paso a combinaciones potentes de unidades de informática, logrando una gran potencia para el procesamiento en la implementación de

la tecnología artificial. La operación de dicha tecnología es totalmente autónoma es posible gracias a un motor de decisión flexible, navegación autónoma y recarga automática [49].

Para el presente año 2023, año que recién comienza, y dado que marzo es el mes en el que se realiza este análisis, los temas de producción científica no están consolidados, sin embargo, en lo que va del año se puede decir que el tema en interés para las investigaciones es *top managerial cognition* (cognición gerencial), tema que estudia la lógica y el mecanismo de integración de las redes que afectan el desempeño de las organizaciones, esto evaluando el nivel de afección que tiene las organizaciones con la transformación digital, impulsando a las empresas a llegar a un alto nivel de desempeño, debido a que la transformación digital tiene un impacto positivo significativo en el desempeño empresarial [50].

Para el análisis de la **Figura 7**, se han identificado 6 colores diferentes asociados con 6 redes temáticas distintas utilizando el software VOSviewer,

conocidas comúnmente como clústeres temáticos de investigación. Esto permite discernir los diversos temas de interés relacionados con la investigación sobre las tecnologías convergentes en la industria 4.0. El clúster de color celeste está compuesto por palabras como nanotecnología y red bayesiana. En las últimas cuatro décadas, los dispositivos semiconductores de óxido metálico complementario han tenido un éxito considerable. Sin embargo, el aumento de fluctuaciones y ruidos intrínsecos ha generado la necesidad de diseñar automatización eléctrica que pueda predecir con gran precisión la confiabilidad de futuros diseños a escala nanométrica [51].

En el siguiente clúster, identificado por el color azul, se encuentran palabras clave como inteligencia artificial, sistemas ciberfísicos, optimización, plataforma de big data, entre otras. Estas están relacionadas con una publicación del año 2020 que presenta una arquitectura cognitiva novedosa relacionada con la inteligencia artificial. Dicha arquitectura incluye un módulo cognitivo que procesa los objetivos declarativos del usuario, selecciona modelos y algoritmos adecuados y crea una configuración para la ejecución de un proceso en una plataforma de Big Data. Es relevante señalar que el uso de inteligencia artificial no solo reduce costos, sino que también brinda nuevas oportunidades en el mercado [52].

En el clúster de color verde se encuentran términos como cognición aumentada, ergonomía, factores humanos, confianza en la automatización,

interacción humano-automatización, entre otros. Estos términos están presentes en una publicación del año 2020 que aborda el conocimiento colaborativo entre humano y automatización, destacando la importancia de este para el desarrollo de estrategias de adaptación mutua. Fortalecer el conocimiento colaborativo entre humano y tecnología es esencial para potenciar, especialmente, el conocimiento humano. Esto conlleva a desarrollar métodos novedosos que mejoren la cognición afectiva y el aprendizaje de la percepción, así como el modelado de dinámicas de confianza y la predicción del rendimiento cognitivo humano [53].

Examinado la mezcla de términos que son relevantes para el tema de estudio tecnología convergentes en la industria 4.0 se presenta un diagrama cartesiano donde se estudian los conceptos más relevantes de la temática. Los documentos estudiados están vinculados de tal forma que el eje x se refiere a la frecuencia de uso del término observando los documentos investigados, mientras que el eje y está vinculado a los años promedio de uso según el término. Por lo tanto, se identifican 4 cuadrantes diferentes en la Figura 8, donde el cuarto cuadrante incluye términos que tuvieron un uso significativo en la publicación de artículos de investigación, sin embargo, estos términos han perdido su importancia con el paso de los años, se puede observar que para la temática analizada no hay términos que se hallen en dicho cuadrante.

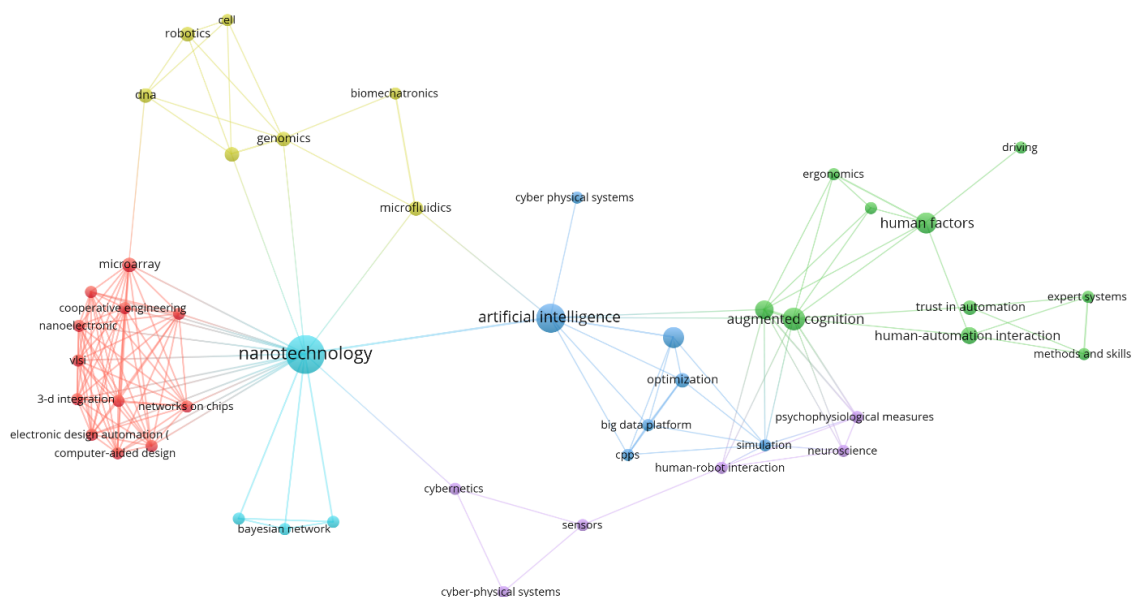


Figura 7. Red de coocurrencia de palabras clave. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

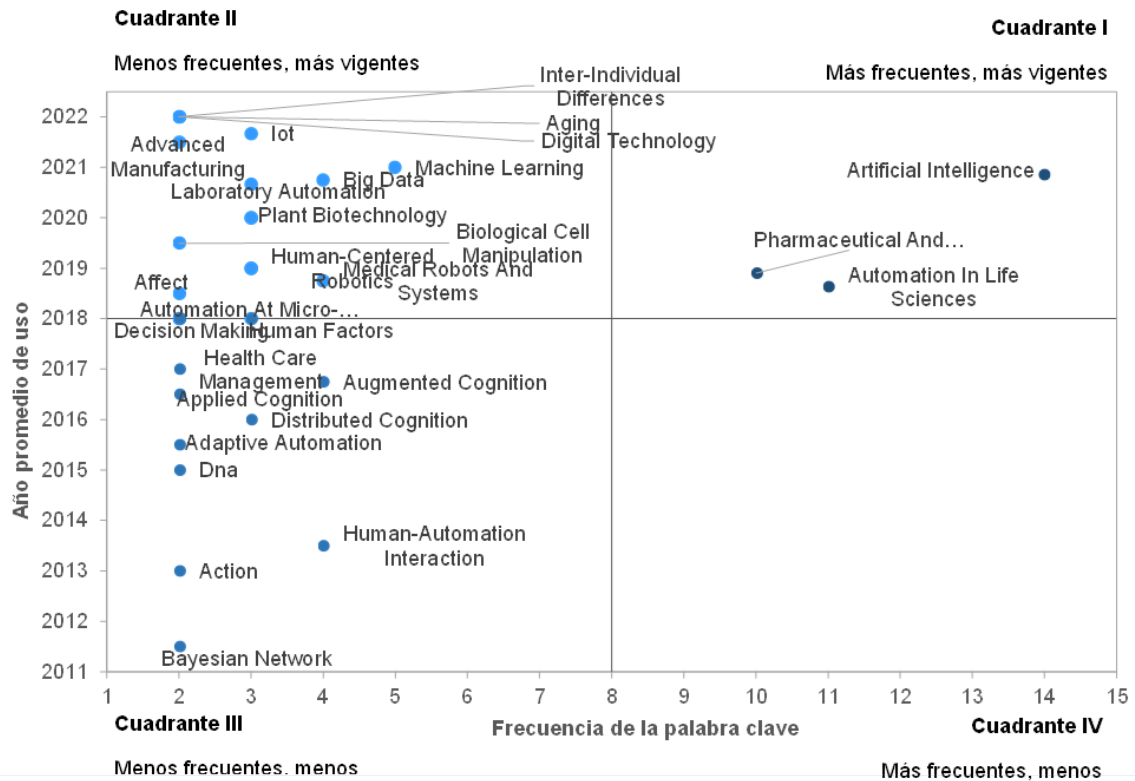


Figura 8. Vigencia y frecuencia de palabras claves. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.

En la revisión del tercer cuadrante se reconocen los términos que menos aparecen en las publicaciones observadas, además de los términos que se utilizan con menor frecuencia con el paso de los años, por lo tanto, dichos términos son considerados menos relevantes para la investigación de tecnologías convergentes en la industria 4.0, ayudando a evitar su consideración en futuros estudios e investigaciones. En particular se hallan los siguientes conceptos: *decision making* (toma de decisiones), *human factors* (factores humanos), *health care management* (gestión sanitaria), *applied cognition* (cognición aplicada), *augment cognition* (cognición aumentada) y demás. Hoy en día las cirugías asistidas por robot prometen mejorar, permitiendo que los profesionales puedan realizar las cirugías de formas más ágil y eficiente, por eso es importante el desarrollo de técnicas que permitan que los robots reconozcan las tareas quirúrgicas más fácilmente, esto por medio de un algoritmo que permita segmentar la secuencia temporal de gestos quirúrgicos [43]. Luego está el segundo cuadrante que define la relación entre los términos que ocasionalmente se encuentran en las publicaciones sobre tecnologías

convergentes en la industria 4.0, pero que, con el paso de los años, surgen nuevamente y son considerados como términos nuevos para la investigación en el mundo académico, entre estos términos se encuentran: *inter-individual differences* (diferencias interindividuales), *aging* (envejecimiento), *digital technology* (tecnología digital), *advanced manufacturing* (fabricación avanzada), *machine learning* (aprendizaje automático), *laboratory automation* (automatización de laboratorio), *plant biotechnology* (biotecnología vegetal). El pensamiento de los humanos se ha enredado últimamente debido a las inteligencias artificiales, lo que también ha dado paso a cambios en los métodos lógicos para la toma de decisiones, todo esto se da desde la evolución de los sistemas computacionales que inicio en el año 1980 [54]. Finalmente, el primer cuadrante contiene palabras que asocian la frecuencia de uso con su uso reciente, y se consideran términos que orientan o incrementan la producción científica sobre las tecnologías convergentes en la industria 4.0. En este cuadrante se hallan los términos: *artificial intelligence* (inteligencia artificial), *pharmaceutical and health care* (farmacéutica y sanitaria) y

*automation in life sciences* (automatización en ciencias de la vida). La sociedad ha encontrado más usos para la inteligencia artificial, generando así una relación humano-inteligencia artificial, la tecnología ha pasado de simplemente de codificar la información humana en máquinas, a el desarrollo de máquinas que saben cómo adquirir el conocimiento necesario autónomamente, además de aprender de él y operar de forma independiente en su entorno [55].

### Discusión

En este apartado se presenta una agenda investigativa en la cual se puede observar las palabras claves más recurrentes en una ventana de tiempo del periodo analizado. Esta agenda se visualiza en la **Figura 9** e informa de las palabras claves más usadas. Entre estas, se encuentra *action* (acción) que se ha datado aproximadamente desde

el año 2004. Seguidamente, los investigadores se interesaron por el tema de *Human-Automation Interaction* (Interacción humano-computadora), después del 2006. Otro tema de bastante interés ha sido el de *Augmented Cognition* (cognición aumentada) en el mismo tiempo.

Los temas recurrentes más recientes han sido la automatización adaptativa, el ADN, la cognición aplicada y la distribución cognitiva. En lo que corresponde a los temas correspondientes a los últimos cinco años, se ha identificado un interés creciente de los investigadores por temas como: la inteligencia artificial, la técnica *Machine Learning*, el *Big Data*, la automatización de laboratorios, los factores humanos, el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), la manufactura avanzada, la manipulación celular biológica, las tecnologías digitales y las diferencias interindividuales [56]. Estos temas, al mismo tiempo, pueden marcar las futuras líneas de investigación alrededor de este tema.

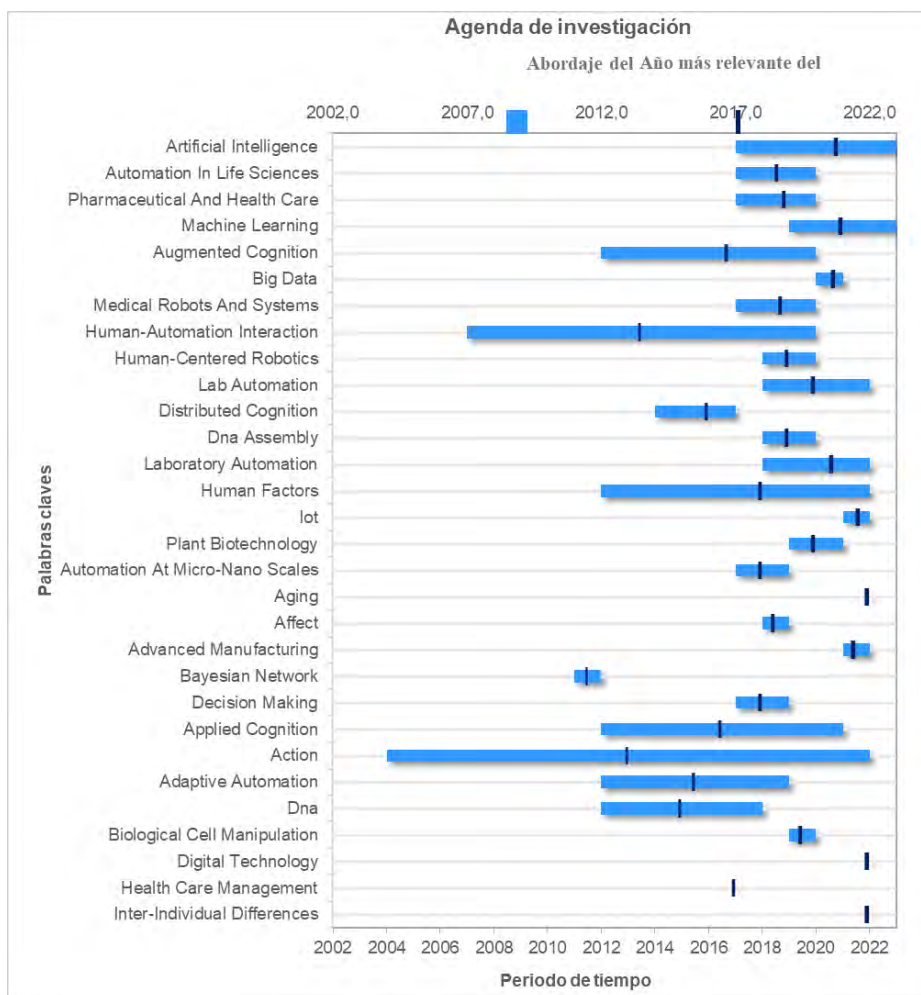


Figura 9. Agenda de investigación. Fuente: elaboración propia a partir de Scopus y Web of Science.



De acuerdo con Kumar and Mallipeddi [57] los avances recientes en las tecnologías de la información y la comunicación, como la nube, los macrodatos, el Internet de las cosas, la inteligencia artificial y la nanotecnología, han acelerado la adopción de la Industria 4.0 y la Industria 5.0. Debido a estos avances, las organizaciones ahora enfrentan nuevos desafíos con respecto a estas nuevas tecnologías. En concordancia con lo anterior, este estudio realiza una revisión de la integración de las tecnologías convergentes de cara con la Industria 4.0, ofreciendo una perspectiva general de las tendencias temáticas que se llevan a cabo en este tema.

La investigación sobre el tema de las tecnologías convergente y la industria 4.0 no solo es una oportunidad para los investigadores de gestión organizacional y gestión tecnológica, sino que también es fundamental para que la industria y la sociedad superen los desafíos de la adopción de estas tecnologías, y para que los gobiernos desarrollan estrategias sólidas para apoyar su adquisición [58-59]. Por tanto, definiendo las futuras líneas de investigación alrededor del tema, surgen las siguientes preguntas que se pueden responder en futuros estudios. ¿Cuáles son los factores que intervienen en la adopción de tecnologías convergentes en la industria, de cara a la cuarta revolución industrial? ¿Cómo se pueden integrar las tecnologías convergentes con las tecnologías de la industria 4.0 en las organizaciones? ¿qué estrategias deben emplear las organizaciones para brindar un valor agregado mediante las tecnologías convergentes?

## Conclusiones

En la actualidad, las tecnologías convergentes, como la nanotecnología, biotecnología, industrias cognitivas y las tecnologías de la información están experimentando un notable avance hacia la industria 4.0 en diversos sectores productivos, como la agricultura, la salud y la farmacia. Estas tecnologías pueden integrarse con los elementos ya reconocidos de la industria 4.0, tales como la inteligencia artificial, Big Data e IoT, entre otros. Existe un movimiento global en torno a estas tecnologías que impulsa nuevas investigaciones, desarrollos e innovaciones. Por consiguiente, este estudio se ha orientado hacia la identificación de las principales tendencias en estos dos campos de investigación.

La revisión bibliográfica permitió identificar a los actores investigativos más relevantes. En este sentido, se destacan autores de renombre, revistas de gran impacto y países altamente productivos y citados, todos ellos referentes en el tema objeto de esta investigación. Es evidente la significativa contribución del autor Stanton NA quien ha realizado un notable número de publicaciones sobre este tema, así como los autores van Doom, *et al.* que son los más citados. En cuanto a revistas, sobresale el desempeño de "IEEE Robotics and Automation Letters", considerada la principal revista en este campo de investigación, con un total de 192 citaciones en sus 14 publicaciones. Asimismo, resalta Estados Unidos como el país más productivo y citado, marcando las tendencias de estudio en este ámbito. Por último, se observa un crecimiento exponencial en la cantidad de publicaciones a partir del año 2019. También se analizó la evolución de las palabras clave a lo largo del tiempo. Inicialmente, el interés de los investigadores se centró en temas como la micropropagación, la automatización, la sincronización, el diseño de sistemas de trabajo y la modelización de sistemas. Posteriormente, los intereses migraron hacia temas como las células madre, los entornos virtuales, la automatización en ciencias de la vida, la atención sanitaria y el papel de las farmacéuticas. En los dos últimos años, la inteligencia artificial ha cobrado un interés significativo.

Además, se identificaron clústeres temáticos que definen los focos de investigación de los científicos. El clúster más prominente se enfoca en estudios sobre nanotecnología, seguido por otro centrado en investigaciones sobre inteligencia artificial. También se encontró un clúster relacionado con factores humanos y su relación con la cognición aumentada. Por otro lado, se identificaron clústeres más pequeños sobre la interacción humano-robot, genómica, robots y microarrays.

En lo que respecta al análisis de frecuencia y relevancia de las palabras clave, se constató un creciente interés para futuras investigaciones en temas relacionados con la inteligencia artificial, el cuidado de la salud y las farmacéuticas, y la automatización en las ciencias de la salud. La automatización, en particular, ha sido uno de los temas más recurrentes y de mayor interés de cara al futuro, debido a los desafíos que enfrentan actualmente las organizaciones en el contexto de la industria 4.0. Además, a través del análisis

de la agenda investigativa, se destaca el interés actual y futuro de los investigadores en torno a las tecnologías de la industria 4.0, principalmente Big Data e Internet de las cosas.

## Referencias

- [1] Dressler M, Paunovic I. Converging and diverging business model innovation in regional intersectoral cooperation—exploring wine industry 4.0. *European Journal of Innovation Management*. 2021;24(5):1625-52. [doi.org/10.1108/EJIM-04-2020-0142](https://doi.org/10.1108/EJIM-04-2020-0142)
- [2] Issayeva GK, Zhussipova EY, Kuralbayeva AS, Beisenova MU, Maulenkulova GE, Zhakipbekova DS. Convergent technologies in science and innovations in Kazakhstan. *Business and Society Review*. 2020;125(4):411-24. [doi.org/10.1111/basr.12215](https://doi.org/10.1111/basr.12215)
- [3] Nussipova G, Nordin F, Sörhammar D. Value formation with immersive technologies: an activity perspective. *Journal of Business & Industrial Marketing*. 2020;35(3):483-94. [doi.org/10.1108/JBIM-12-2018-0407](https://doi.org/10.1108/JBIM-12-2018-0407)
- [4] Frank AG, Mendes GHS, Ayala NF, Ghezzi A. Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective. *Technological Forecasting and Social Change*. 2019;141:341-351. [doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.014)
- [5] Hassoun A, Aït-Kaddour A, Abu-Mahfouz AM, Rathod NB, Bader F, Barba FJ, *et al.* The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. [doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735](https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735)
- [6] Kumar S, Verma P, Patel P, Rajesh JI. Perceptions of Indian managers on the impact of convergent technologies on work and resultant organisational performance in service industry. *International Journal of Emerging Markets*. 2022;17(2):550-73. [doi.org/10.1108/IJOEM-06-2020-0658](https://doi.org/10.1108/IJOEM-06-2020-0658)
- [7] Morán Reyes AA. Las tecnologías convergentes (nanotecnología, biotecnología y las ciencias cognitivas) y su relación con la bibliotecología. *E-Ciencias de la Información*. 2019;9(2):121-40. [doi.org/10.15517/eci.v9i2.35897](https://doi.org/10.15517/eci.v9i2.35897)
- [8] Pereira AC, Romero F. A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*. 2017;13:1206-14. [doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032)
- [9] Szász L, Demeter K, Rácz B-G, Losonci D. Industry 4.0: a review and analysis of contingency and performance effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2021;32(3):667-94. [doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0371](https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0371)
- [10] Zhong R, Xu X, Klotz E, Newmanc ST. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*. 2017;3(5):616-30. [doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015](https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015)
- [11] Gorman ME. Collaborating on Convergent Technologies: Education and Practice. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2006;1013(1):25-37. [doi.org/10.1196/annals.1305.003](https://doi.org/10.1196/annals.1305.003)
- [12] Amaro Rosales M, Robles Belmont E. Medir la innovación en el contexto de las tecnologías emergentes y convergentes: algunas reflexiones metodológicas. *PAAKAT: revista de tecnología y sociedad*. 2020;10(18):e415. [doi.org/10.32870/pk.a10n18.415](https://doi.org/10.32870/pk.a10n18.415)
- [13] Caviggioli F, Colombelli A, De Marco A, Scellato G, Ughetto E. Co-evolution patterns of university patenting and technological specialization in European regions. *J Technol Transf*. 2023;48:216-39. [doi.org/10.1007/s10961-021-09910-0](https://doi.org/10.1007/s10961-021-09910-0)
- [14] Morales JE. Utilidad y aplicaciones de las tecnologías convergentes. *Revista Ciencia Multidisciplinaria CUNORI*. 2020;4(1):43–53. [doi.org/10.36314/cunori.v4i1.108](https://doi.org/10.36314/cunori.v4i1.108)
- [15] Cebrían M, López S. Economic Growth, Technology Transfer and Convergence in Spain, 1960–73. En: *Technology and Human Capital in Historical Perspective*. Ljungberg J, Smits JP, Editores. Palgrave Macmillan; 2005. p. 120-44. [doi.org/10.1057/9780230523814\\_6](https://doi.org/10.1057/9780230523814_6)
- [16] Canton J. NBIC Convergent Technologies and the Innovation Economy: Challenges and Opportunities for the 21st Century. En: *Managing nano-bio-info-cogno innovations*. Bainbridge WS, Roco MC, Editores. Springer; 2006. p. 33-45. [doi.org/10.1007/1-4020-4107-1\\_4](https://doi.org/10.1007/1-4020-4107-1_4)
- [17] Sepasgozar SME, Khan AA, Smith K, Romero JG, Shen X, Shirowzhan S, *et al.* BIM and Digital Twin for Developing Convergence Technologies as Future of Digital Construction. *Buildings*. 2023;13(2):441. [doi.org/10.3390/buildings13020441](https://doi.org/10.3390/buildings13020441)
- [18] Roco MC, Bainbridge WS. *Converging Technologies for Improving Human Performance*. Springer Science & Business Media; 2003.



- [19] Michal C. The structural role of convergent technologies in the modern economy. *Экономика и управление инновациями*. 2019;3(10):24-31.
- [20] Lee SM, Lim S. *Living Innovation: From Value Creation to the Greater Good*. Reino Unido: Emerald Publishing: Bingley; 2018.
- [21] Lee SM, Trimi S. Convergence innovation in the digital age and in the COVID-19 pandemic crisis. *Journal of Business Research*. 2021;123:14-22. doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.041
- [22] Budanov V, Aseeva I, Zvonova E. Industry 4.0: socio-economic junctures. *Economic Annals-XXI*. 2017;168(11-12):33-37. doi.org/10.21003/ea.V168-07
- [23] Kagermann H. *Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0*. En: *Management of Permanent Change*. Albach H, Meffert H, Pinkwart A, Reichwald R, Editores. Wiesbaden: Springer Gabler; 2015. doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6\_2
- [24] Quispe Mamani U, Sucari Sucari YV. Tecnologías convergentes en la Industria 4.0 (I4.0). *Waynarroque - Revista de ciencias sociales aplicadas*. 2022;2(4):63-74. doi.org/10.47190/rcsaw.v2i4.40
- [25] Ghobakhloo M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 2020;252:119869. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869
- [26] Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*. 2009;6:e1000097. doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097
- [27] Selçuk AA. A Guide for Systematic Reviews: PRISMA. *Turk Arch Otorhinolaryngol*. 2019;57(1):57-58. doi.org/10.5152/Ftao.2019.4058
- [28] González de Dios J, Buñuel Álvarez JC, Aparicio Rodrigo M. Listas guía de comprobación de revisiones sistemáticas y metaanálisis: declaración PRISMA. *Evid Pediatr*. 2011;7(4):97.
- [29] Barrios Serna KV, Orozco Núñez DM, Pérez Navas EC, Conde Cardona GC. Nuevas recomendaciones de la versión PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Acta Neurol Colomb*. 2021;37(2):105-106. doi.org/10.22379/24224022373
- [30] Yáñez-Baeza C, Aguilera-Eguía R, Fuentes-Barria H, Roco-Videla Á. Importancia de la directriz PRISMA. *Nutr. Hosp*. 2023;40(3):670-675. doi.org/10.20960/nh.04616
- [31] Mohamed R, Ghazali M, Samsudin MA. A Systematic Review on Mathematical Language Learning Using PRISMA in Scopus Database. *EURASIA J Math Sci Tech Ed*. 2020;16(8):em1868. doi.org/10.29333/ejmste/8300
- [32] Kamble SS, Gunasekaran A, Gawankar SA. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*. 2018;117:408-25. doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009
- [33] Finoti LS, Nepomuceno R, Pigossi SC, Corbi SCT, Secolin R, Scarel-Caminaga RM. Association between interleukin-8 levels and chronic periodontal disease. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(22): e6932. doi.org/10.1097%2FMD.0000000000006932
- [34] Silva AM, Fields DA, Sardinha LB. A PRISMA-Driven Systematic Review of Predictive Equations for Assessing Fat and Fat-Free Mass in Healthy Children and Adolescents Using Multicomponent Molecular Models as the Reference Method. *Journal of Obesity*. 2013;2013:148696. doi.org/10.1155/2013/148696
- [35] Lee SW, Koo MJ. PRISMA 2020 statement and guidelines for systematic review and meta-analysis articles, and their underlying mathematics: Life Cycle Committee Recommendations. *Life Cycle* 2022;2:e9. doi.org/10.54724/lc.2022.e9
- [36] Ciapponi A. La declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para reportar revisiones sistemáticas. *Evidencia, Actualización En La práctica Ambulatoria*. 2021;24(3): e002139. doi.org/10.51987/evidencia.v24i4.6960
- [37] Urrutia G, Bonfill X. Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Med Clin*. 2010;135(11):507-511. https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-declaracion-prisma-una-propuesta-mejorar-S0025775310001454
- [38] Ostmeier E, Strobel M. Building skills in the context of digital transformation: How

- industry digital maturity drives proactive skill development. *Journal of Business Research*. 2022;139:718-30. doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.09.020
- [39] Hadjielias E, Dada O(L), Cruz AD, Zekas S, Christofi M, Sakka G. How do digital innovation teams function? Understanding the team cognition-process nexus within the context of digital transformation. *Journal of Business Research*. 2021;122:373-86. doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.045
- [40] van Doorn J, Mende M, Noble SM, Hulland J, Ostrom AL, Grewal D, *et al.* Domo Arigato Mr. Roboto: Emergence of Automated Social Presence in Organizational Frontlines and Customers' Service Experiences. *Journal of Service Research*. 2017;20(1);43–58. doi.org/10.1177/1094670516679272
- [41] Banks VA, Stanton NA, Harvey C. Sub-systems on the road to vehicle automation: Hands and feet free but not 'mind' free driving. *Safety Science*. 2014;62:505-14. doi.org/10.1016/j.ssci.2013.10.014
- [42] Radanliev P, De Roure D, Page K, Nurse JRC, Montalvo RM, Santos O, *et al.* Cyber risk at the edge: current and future trends on cyber risk analytics and artificial intelligence in the industrial internet of things and industry 4.0 supply chains. *Cybersecur*. 2020;3:13. doi.org/10.1186/s42400-020-00052-8
- [43] Fard MJ, Ameri S, Chinnam RB, Ellis RD. Soft Boundary Approach for Unsupervised Gesture Segmentation in Robotic-Assisted Surgery. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2017;2(1):171-78. doi.org/10.1109/LRA.2016.2585303
- [44] El-hawary ME. The Smart Grid—State-of-the-art and Future Trends. *Electric Power Components and Systems*. 2014;42(3-4):239-50. doi.org/10.1080/15325008.2013.868558
- [45] Hauggaard-Nielsen H, Lund S, Aare AK, Watson CA, Bedoussac L, Aubertot JN, *et al.* Translating the multi-actor approach to research into practice using a workshop approach focusing on species mixtures. *Front. Agr. Sci. Eng*. 2021;8(3):460–73. doi.org/10.15302/J-FASE-2021416
- [46] Zimmermann S, Tiemerding T, Fatikow S. Automated Robotic Manipulation of Individual Colloidal Particles Using Vision-Based Control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2015;20(5):2031-2038. doi.org/10.1109/TMECH.2014.2361271
- [47] Okamoto T. Robotization of Orchid Protocorm Transplanting in Tissue Culture. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 1996;30(4):213-220.
- [48] Cardona AM, Roth Z, Han C. High-throughput automation design considerations for biotechnology processes involving RNA purification protocols using multi-centrifuge bioseparation steps. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2012;28(3):285–93. doi.org/10.1016/J.RCIM.2011.10.006
- [49] Miseikis J, Caroni P, Duchamp P, Gasser A, Marko R, Miseikiene N, *et al.* Lio-A Personal Robot Assistant for Human-Robot Interaction and Care Applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2020;5(4):5339–46. doi.org/10.1109/LRA.2020.3007462
- [50] Li Y, Fei GZ. Network embeddedness, digital transformation, and enterprise performance—The moderating effect of top managerial cognition. *Front. Psychol*. 2023;14: 1098974. doi.org/10.3389/FPSYG.2023.1098974
- [51] Ibrahim W, Beiu V. Using Bayesian networks to accurately calculate the reliability of complementary metal oxide semiconductor gates. *IEEE Transactions on Reliability*. 2011;60(3):538–49. doi.org/10.1109/TR.2011.2161032
- [52] Fischbach A, Strohschein J, Bunte A, Stork J, Faeskorn-Woyke H, Moriz N, *et al.* CAAl—a cognitive architecture to introduce artificial intelligence in cyber-physical production systems. *Int J Adv Manuf Technol*. 2020;111:609–26. doi.org/10.1007/s00170-020-06094-z
- [53] Jiao J(R), Zhou F, Gebraeel NZ, Duffy V. Towards augmenting cyber-physical-human collaborative cognition for human-automation interaction in complex manufacturing and operational environments. *International Journal of Production Research*. 2020;58(16):5089-5111. doi.org/10.1080/00207543.2020.1722324
- [54] Parisi L. Critical Computation: Digital Automata and General Artificial Thinking. *Theory, Culture & Society*. 2019;36(2):89–121. doi.org/10.1177/0263276418818889
- [55] Abbass HA. Social Integration of Artificial Intelligence: Functions, Automation Allocation Logic and Human-Autonomy Trust. *Cogn Comput*. 2019;11:159–71. doi.org/10.1007/s12559-018-9619-0
- [56] ElMaraghy H, ElMaraghy W. Adaptive Cognitive Manufacturing System (ACMS)

- a new paradigm. *International Journal of Production Research*. 2022;60(24):7436-49. [doi.org/10.1080/00207543.2022.2078248](https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2078248)
- [57] Kumar S, Mallipeddi RR. Impact of cybersecurity on operations and supply chain management: Emerging trends and future research directions. *Production and Operations Management*. 2022;31(12):4488-4500. [doi.org/10.1111/poms.13859](https://doi.org/10.1111/poms.13859)
- [58] Inshakova AO, Baltutite IV, Epifanov AE, Abesalashvili MZ. Biotechnology as a Type of Converged Technologies in Industry 4.0 and a Source of Increased Danger in Civil Law of the Russian Federation. En: *Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap*. ISC 2019. Popkova EG, Sergi BS, Editores. Cham: Springer; 2021. p. 1558-67. [doi.org/10.1007/978-3-030-69415-9\\_172](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69415-9_172)
- [59] López Muñoz F, García-Perez A, Cárdenas VO, Meramo S, Mainardi D, Ricardez-Sandoval L, *et al.* Estudio bibliométrico de las aplicaciones de quitosano: Perspectivas de los procesos. *Revista ION*. 2023;36(1):59-78. [doi.org/10.18273/revion.v36n1-2023005](https://doi.org/10.18273/revion.v36n1-2023005)