

Mapeando la Revolución del Diseño: Globalización y Madurez de la Automatización Industrial en el Ámbito Académico

Mapping the Design Revolution: Globalization and Maturity of Industrial Automation in the Academic Sphere

Recibido: 01, enero 2026

Aceptado: 09, febrero 2026

Publicado

online: 12, febrero 2026

Como Citar: Venegas-Vásquez et al., "Mapeando la Revolución del Diseño: Globalización y Madurez de la Automatización Industrial en el Ámbito Académico", *Revista Digital Científica Causalidad (caui3)*, vol. 2, no. 1, pp. 34–52, Feb. 2026, doi: 10.70929/caui3.v2i1.0020.

ISSN-e: 3073-1518

Creative Commons CC BY 4.0



Diego Venegas-Vásquez¹*, Angélica Tirado-Lozada^{1,2}

Resumen:

El presente estudio muestra un análisis bibliométrico sobre la evolución de la automatización en el diseño industrial y su impacto en el ámbito educativo en los periodos 2000-2007, 2008-2014 y 2015-2026. Utilizando la base de datos Scopus y herramientas de visualización como VOSviewer y OriginPro, se examinaron tendencias temporales, distribución geográfica, áreas de conocimiento y redes de co-ocurrencia de palabras clave. Los resultados revelan un crecimiento exponencial en la producción científica, especialmente a partir de 2015, impulsado por el paradigma de la Industria 4.0. Se identifica una transición desde una concentración inicial de conocimiento en Estados Unidos hacia una globalización liderada por el ascenso de China e India, y una presencia emergente en América Latina. El área de Ingeniería predomina, seguida por Ciencias de la Computación, evidenciando una creciente integración de la inteligencia artificial y sistemas ciberfísicos. Se concluye que el campo ha alcanzado una etapa de madurez que exige modelos formativos interdisciplinarios, donde el diseño industrial evoluciona hacia perfiles híbridos capaces de interactuar con entornos altamente automatizados. Este trabajo aporta una hoja de ruta para investigadores y académicos interesados en la convergencia tecnológica y pedagógica de la próxima década.

Palabras Clave: Análisis bibliométrico, Automatización Industrial, Diseño Industrial, Educación en Ingeniería, Industria 4.0.

Abstract:

This study conducts a bibliometric analysis of the evolution of automation in industrial design and its educational impact across the periods 2000–2007, 2008–2014, and 2015–2026. Utilizing the Scopus database and visualization tools such as VOSviewer and OriginPro, the analysis examines temporal trends, geographic distribution, disciplinary areas, and keyword co-occurrence networks. The findings indicate exponential growth in scientific output, particularly since 2015, largely attributed to the Industry 4.0 paradigm. The research identifies a shift from an initial concentration of knowledge in the United States to a more global distribution, driven by increased contributions from China, India, and a growing presence in Latin America. Engineering remains the dominant discipline, followed by Computer Science, reflecting the increasing integration of artificial intelligence and cyber-physical systems. The study concludes that the field has reached a level of maturity necessitating interdisciplinary training models, with industrial design evolving toward hybrid professional profiles capable of engaging with highly automated environments. This work offers a roadmap for researchers and academics interested in the technological and pedagogical convergence anticipated in the coming decade.

Keywords: Bibliometric analysis, Industrial Automation, Industrial Design, Engineering Education, Industry 4.0.

¹Carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, Escuela de Hábitat, Infraestructura y Creatividad, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato, Ambato 180207, Ecuador.

²Doctorado en Diseño, Universidad de Palermo, Buenos Aires C1175ABT, Argentina.

Autor de correspondencia: dfvenegasv@pucesa.edu.ec

1 Introducción

En el marco de la Cuarta Revolución Industrial, la convergencia de tecnologías digitales, inteligencia artificial y sistemas automatizados ha transformado profundamente los procesos de concepción, desarrollo y fabricación en el ámbito del diseño industrial [1]. Estas tecnologías han impulsado una transición desde enfoques tradicionales, centrados en la experiencia del diseñador, hacia paradigmas basados en datos, simulación avanzada y optimización algorítmica, permitiendo el desarrollo de soluciones más eficientes, adaptativas y sostenibles [2], [3]. La automatización industrial, entendida como la integración de sistemas tecnológicos como sensores, robots y plataformas digitales para optimizar procesos productivos, ha transformado significativamente los modelos tradicionales de manufactura, incrementando la eficiencia, la flexibilidad y la calidad de los productos [4]. En particular, el diseño generativo y los entornos de modelado automatizado han ampliado las capacidades creativas mediante la exploración de múltiples configuraciones de diseño en tiempos significativamente reducidos, redefiniendo así la relación entre creatividad humana y capacidad computacional [5]. La automatización no solo impacta los procesos técnicos, sino que también redefine el rol del diseñador industrial, quien evoluciona hacia un perfil híbrido que combina competencias en diseño, análisis de datos e interacción con sistemas inteligentes [6]. Esta transformación ha sido ampliamente documentada en estudios recientes que destacan la emergencia de entornos de co-creación humano-máquina, en los cuales los algoritmos no solo asisten, sino que participan activamente en la toma de decisiones durante el proceso de diseño [7]. Asimismo, la integración de gemelos digitales y manufactura inteligente ha permitido cerrar la brecha entre diseño y producción, facilitando ciclos de desarrollo más ágiles y altamente personalizados [8].

Paralelamente, el diseño industrial ha evolucionado desde enfoques centrados en la forma y la funcionalidad hacia modelos más complejos que integran herramientas digitales avanzadas, inteligencia artificial y simulación, permitiendo la generación de soluciones innovadoras en entornos altamente automatizados [9]. Estudios recientes evidencian que la incorporación de inteligencia artificial en el diseño industrial no solo optimiza los procesos de desarrollo, sino que también redefine la relación entre creatividad humana y capacidad computacional, favoreciendo modelos de co-creación híbridos [10].

En este escenario, la educación desempeña un rol fundamental como catalizador de estas transformaciones. La formación en automatización y diseño industrial ha transitado hacia metodologías activas, como el aprendizaje basado en proyectos y las fábricas de aprendizaje, que integran tecnologías propias de la Industria 4.0 —como robótica, manufactura aditiva e Internet de las Cosas— con el desarrollo de competencias transversales como el pensamiento sistémico y la resolución de problemas complejos [11]. Asimismo, el uso de plataformas remotas y entornos virtuales ha ampliado las posibilidades de enseñanza, permitiendo el acceso a infraestructuras tecnológicas avanzadas sin las limitaciones físicas tradicionales [12]. Adicionalmente, la integración de tecnologías emergentes como los gemelos digitales y los sistemas ciberfísicos está redefiniendo tanto los procesos de diseño como los modelos educativos, promoviendo enfoques más sostenibles, eficientes e interdisciplinarios en la ingeniería y el diseño industrial [13]. Este cambio paradigmático plantea nuevos desafíos en la formación de profesionales, quienes deben desarrollar habilidades técnicas avanzadas junto con capacidades de adaptación a entornos tecnológicos dinámicos [14].

Con estos antecedentes, el presente estudio se sitúa en la intersección entre automatización, diseño industrial y educación, con el objetivo de analizar las tendencias actuales, identificar brechas de investigación y proponer lineamientos que contribuyan al desarrollo de modelos formativos innovadores alineados con las demandas de la industria contemporánea.

2 Metodología y planteamiento del problema

El desarrollo de la presente investigación se fundamentó en un análisis bibliométrico estructurado, siguiendo los lineamientos metodológicos propuestos por Pakdel y Erol [15], lo que permitió examinar de manera sistemática y cuantitativa la producción científica relacionada con la intersección entre automatización, diseño industrial y educación. Este enfoque facilita la identificación de patrones, tendencias emergentes y dinámicas de evolución del conocimiento dentro de este campo interdisciplinario. Con el propósito de contextualizar el estado del arte y delimitar las tendencias actuales, se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos Scopus, seleccionada por su amplia cobertura internacional y su reconocimiento como herramienta clave en estudios de vigilancia tecnológica y evaluación científica [16].

La consulta bibliográfica se llevó a cabo el 15 de marzo de 2026, empleando palabras clave en idioma inglés, dado que la literatura científica de alto impacto en estas áreas se publica predominantemente en este idioma [17]. Los términos utilizados fueron: “automation”, “industrial design” y “education”. A partir de estos conceptos, se construyó la siguiente ecuación de búsqueda:

TITLE-ABS-KEY (automation, industrial design, education).

El análisis bibliométrico se abordó desde múltiples perspectivas, incluyendo: (i) distribución temporal de las publicaciones, (ii) áreas temáticas predominantes, (iii) análisis de co-ocurrencia de palabras clave, (iv) identificación de países con mayor producción científica y (v) reconocimiento de instituciones financiadoras. Con el fin de comprender de manera más precisa la evolución del campo de estudio, se estableció una segmentación temporal en tres periodos diferenciados: 2000–2007, 2008–2014 y 2015–2026. Esta clasificación se fundamenta en los cambios observados en la dinámica de producción científica indexada en Scopus, los cuales evidencian fases claramente diferenciadas en términos de crecimiento, consolidación y expansión del área. Esta división permite realizar un análisis comparativo más detallado de las tendencias, facilitando la identificación de patrones evolutivos y la caracterización del desarrollo científico en cada etapa. Esta aproximación integral proporciona un marco robusto para comprender la evolución del campo en un contexto global [18].

Para el análisis de co-ocurrencia de palabras clave se utilizó el software VOSviewer (versión 1.6.20), ampliamente reconocido por su capacidad para generar mapas de relaciones semánticas a partir de metadatos bibliográficos. Asimismo, la elaboración de gráficos y visualizaciones se realizó mediante OriginPro (versión 2025), garantizando representaciones claras, precisas y reproducibles.

Dado que la investigación se limitó al uso de una única base de datos (Scopus), no se identificaron documentos duplicados, por lo que no fue necesario aplicar procedimientos de depuración adicionales. Esta condición asegura la consistencia del conjunto de datos analizado.

Finalmente, la metodología empleada garantiza la reproducibilidad del estudio, permitiendo su replicación en futuras investigaciones orientadas al análisis de la automatización en el diseño industrial y su impacto en los modelos educativos contemporáneos.

3 Resultados

3.1 Número de publicaciones por año

La producción científica indexada en Scopus (Figura 1) sobre la temática analizada evidencia una tendencia general creciente durante el periodo 2000–2025, lo que refleja un interés progresivo de la comunidad científica en el campo de la automatización, el diseño industrial y la educación. El análisis bibliométrico se delimita a partir del año 2000, debido a que, si bien existen publicaciones previas, su número es ínfimo y no permite identificar

tendencias significativas en la evolución del campo. No obstante, es importante señalar que el primer registro identificado en Scopus data de 1977, correspondiente al trabajo titulado *Microprocessor workshop and educational laboratory* [19], lo que evidencia que los antecedentes del área se remontan a etapas tempranas del desarrollo tecnológico, aunque su consolidación como línea de investigación se produce varias décadas después.

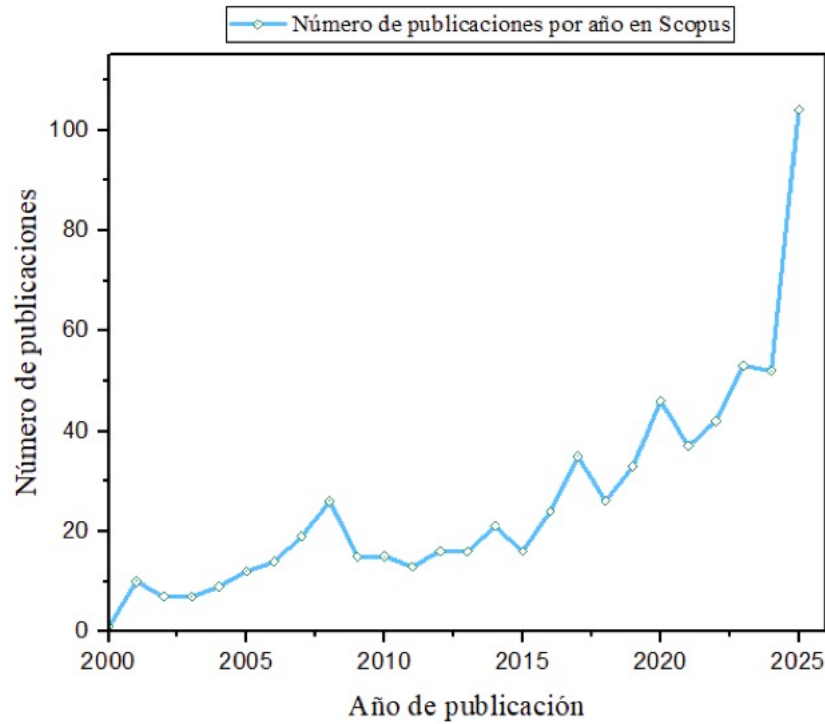


Figura 1. Tendencia de publicaciones por año en Scopus.

En una primera etapa (2000–2007), se observa un nivel bajo de publicaciones, con valores inferiores a 15 documentos anuales, lo que sugiere una fase incipiente del desarrollo investigativo. Posteriormente, entre 2008 y 2014, se identifica un crecimiento moderado con fluctuaciones, alcanzando picos cercanos a 25 publicaciones, seguido de ligeras caídas que evidencian un proceso de consolidación del área.

A partir de 2015, la tendencia muestra un incremento más sostenido y significativo, con un aumento progresivo en el número de publicaciones. Este comportamiento puede asociarse con la expansión de conceptos vinculados a la Industria 4.0, la integración de tecnologías digitales en el diseño industrial y la transformación de los modelos educativos hacia entornos más tecnológicos e interdisciplinarios. El periodo comprendido entre 2018 y 2023 presenta una aceleración notable en la producción científica, superando las 40 publicaciones anuales, lo que indica una fase de madurez y expansión del campo. Finalmente, en 2025 se observa un crecimiento abrupto, alcanzando el valor máximo de más de 100 publicaciones, lo cual podría estar relacionado con el auge reciente de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, los sistemas ciberfísicos y las plataformas de aprendizaje automatizado.

En conjunto, estos resultados evidencian que el área de estudio ha transitado desde una fase exploratoria hacia una etapa de consolidación y expansión acelerada, posicionándose como un campo estratégico dentro de la investigación contemporánea.

3.2 Análisis de publicaciones por países

- Periodo 2000-2007

Durante el periodo 2000–2007 (Figura 2), la producción científica indexada en Scopus presenta una alta concentración geográfica, dominada principalmente por Estados Unidos, con un total de 38 publicaciones, lo que lo posiciona como el principal referente en el desarrollo inicial del campo. Esta predominancia es consistente con estudios bibliométricos previos, donde se evidencia que los países anglosajones lideran la producción científica global, concentrando una proporción significativa de las publicaciones.

En un segundo nivel de contribución se encuentran países europeos como España (6 publicaciones), Alemania (4) e Italia (3), lo que refleja una participación relevante pero aún limitada del contexto europeo en esta etapa temprana. Asimismo, otros países como la Federación Rusa, Portugal, Finlandia y Austria presentan contribuciones incipientes, con dos publicaciones cada uno, evidenciando una distribución científica aún en fase de expansión.

Por otro lado, se observa una baja representación de países latinoamericanos y asiáticos, con participaciones aisladas de México, Brasil, Argentina, Cuba, Malasia y Taiwán, cada uno con una publicación. Este comportamiento sugiere una brecha geográfica en la generación de conocimiento, característica de las etapas iniciales de desarrollo de un campo científico, donde la producción suele concentrarse en países con mayor infraestructura tecnológica y capacidades de investigación.

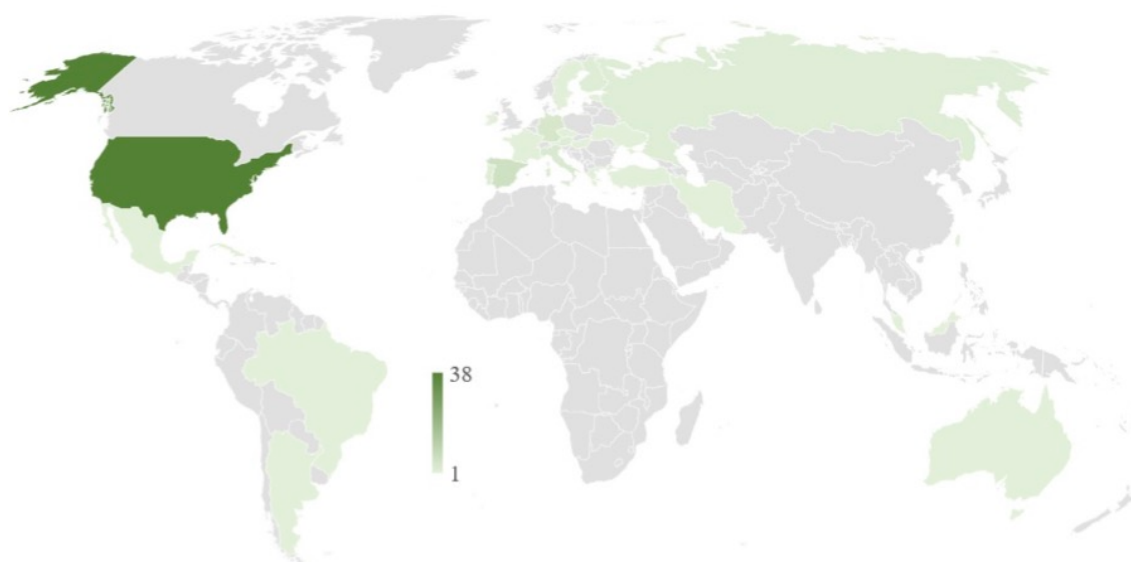


Figura 2. Publicaciones por países en Scopus 2000-2007.

- Periodo 2008-2014

Durante el periodo 2008–2014 (Figura 3), la producción científica muestra una expansión significativa tanto en volumen como en diversidad geográfica respecto al periodo anterior, evidenciando una transición desde una fase emergente hacia una etapa de consolidación del campo. Scopus continúa reflejando el liderazgo de Estados Unidos, con 41 publicaciones, manteniendo su posición como principal motor de generación de conocimiento.

Sin embargo, a diferencia del periodo 2000–2007, se observa un incremento notable en la participación de otros países, especialmente España (12 publicaciones) y China (7), lo que sugiere una creciente internacionalización de la investigación. Asimismo, países como Alemania y Brasil (4 publicaciones cada uno) consolidan su presencia, mientras que Reino Unido, Turquía, Rusia y Portugal presentan contribuciones moderadas pero sostenidas.

Adicionalmente, se evidencia una mayor participación de países emergentes y en desarrollo, incluyendo naciones de América Latina (Brasil, México, Colombia, Cuba), Asia (India, Tailandia, Corea del Sur, Arabia Saudita) y África (Sudáfrica), lo que refleja una progresiva democratización en la generación de conocimiento. Este patrón sugiere que el campo comienza a difundirse globalmente, impulsado por el avance de tecnologías digitales, la expansión de la educación superior y la creciente relevancia de la automatización en contextos productivos y educativos.

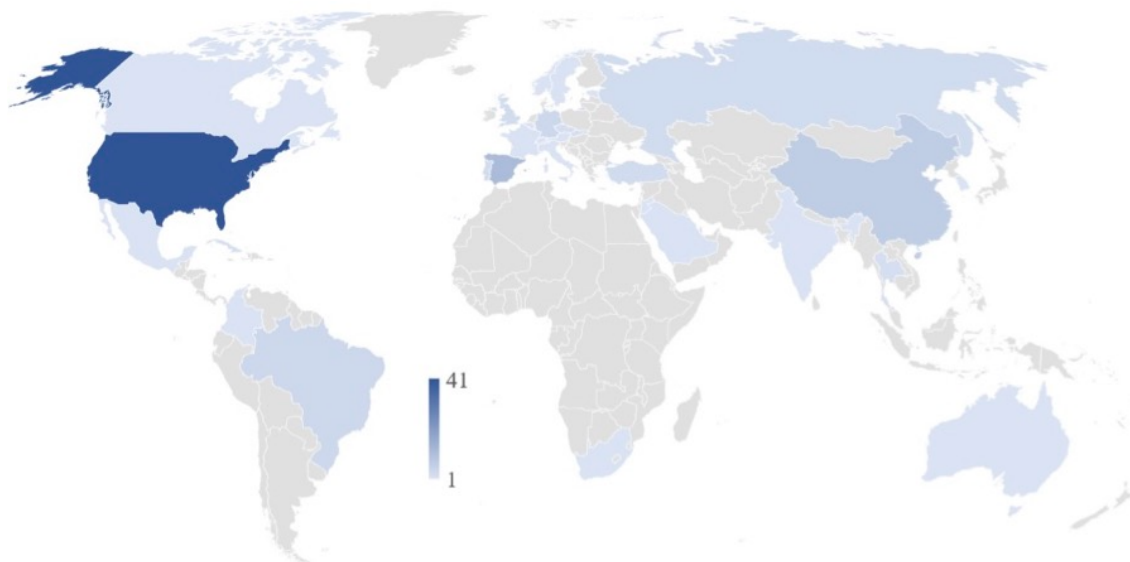


Figura 3. Publicaciones por países en Scopus 2008-2014.

- Periodo 2015-2026

Durante el periodo 2015–2026 (Figura 4), la producción científica indexada en Scopus evidencia una expansión acelerada y una diversificación geográfica sin precedentes, consolidando al campo de estudio en una fase de madurez. Estados Unidos mantiene su liderazgo con 103 publicaciones, aunque su predominancia relativa disminuye frente al crecimiento significativo de otros países.

En este periodo destaca el ascenso de potencias emergentes, particularmente India y China, con 37 publicaciones cada uno, posicionándose como actores clave en la generación de conocimiento. Este comportamiento refleja el fortalecimiento de sus sistemas de investigación, así como su creciente inversión en tecnologías asociadas a la automatización, el diseño y la educación.

Asimismo, se observa una consolidación del ecosistema europeo, con países como España (28), Alemania (22), Portugal e Italia (9 cada uno), además de contribuciones relevantes de Suecia, Francia y Países Bajos. Paralelamente, América Latina muestra un crecimiento significativo, destacándose México (19), Brasil (12), Colombia (7), Perú (5) y Ecuador (4), lo que evidencia una mayor integración regional en la producción científica global.

Un rasgo distintivo de este periodo es la amplia dispersión geográfica de la investigación, con la participación de un gran número de países de Asia, África y Europa del Este, incluyendo Indonesia, Malasia, Tailandia, Sudáfrica, Rumania y Vietnam, entre otros. Este patrón sugiere una clara democratización del conocimiento, impulsada por la globalización de la educación superior, el acceso a tecnologías digitales y la colaboración internacional.

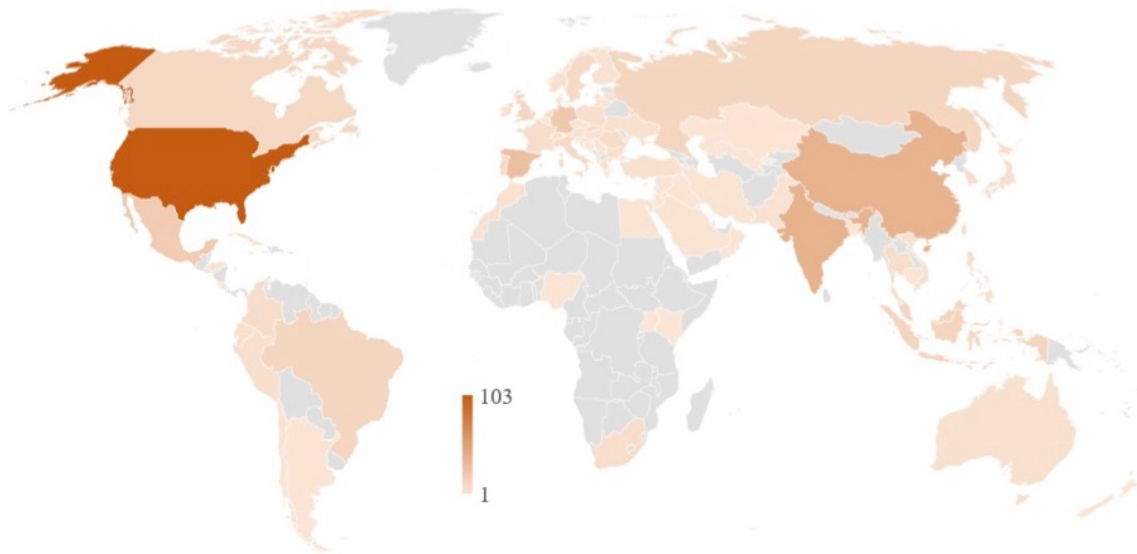


Figura 4. Publicaciones por países en Scopus 2015-2026.

El análisis comparativo de la producción científica por país en los tres periodos definidos (2000–2007, 2008–2014 y 2015–2026) evidencia una clara evolución desde una fase emergente hacia una consolidación y posterior expansión global del campo de estudio. En el primer periodo, la investigación se caracterizó por una fuerte concentración en Estados Unidos, con una participación limitada de países europeos y una presencia marginal de otras regiones, lo que refleja un desarrollo incipiente y geográficamente restringido. En el segundo periodo, se observa una transición hacia la diversificación, con un incremento en la participación de países europeos y la incorporación progresiva de economías emergentes como China y Brasil, lo que indica un proceso de consolidación del área. Finalmente, en el periodo más reciente, la producción científica muestra una expansión acelerada y una amplia dispersión geográfica, con la aparición de nuevos actores relevantes como India y China, el fortalecimiento del ecosistema europeo y un crecimiento significativo de América Latina y Asia. Este comportamiento, observado en la base de datos Scopus, confirma la transición hacia un sistema científico más globalizado, donde la generación de conocimiento en automatización, diseño industrial y educación deja de estar concentrada en unos pocos países para convertirse en un fenómeno ampliamente distribuido y dinámico.

3.3 Publicaciones por tipo de documentos

El gráfico tipo radar (Figura 5) muestra la distribución de publicaciones por tipo de documento en tres periodos (2000–2007, 2008–2014 y 2015–2026), lo que permite identificar tendencias claras en la evolución de la producción científica en la automatización, el diseño industrial y la educación.

En primer lugar, se observa un crecimiento significativo en el número total de publicaciones en el periodo 2015–2026, destacándose especialmente los artículos de conferencia, que alcanzan el valor más alto del gráfico. Esto sugiere que la difusión del conocimiento en esta área se ha orientado fuertemente hacia congresos, lo cual es consistente con campos tecnológicos dinámicos donde los resultados se comunican rápidamente. En contraste, los periodos anteriores (2000–2007 y 2008–2014) presentan una producción considerablemente menor en esta categoría, aunque ya muestran una tendencia creciente. Esto indica una consolidación progresiva del área.

En cuanto a los artículos científicos, también se aprecia un incremento notable en el periodo más reciente, lo que refleja una mayor madurez del campo, con resultados que pasan de ser preliminares (conferencias) a contribuciones más estructuradas y validadas.

Las categorías como revisiones, capítulos de libro y libros mantienen valores relativamente bajos en todos los periodos, aunque con ligeros aumentos recientes. Esto sugiere que, si bien el campo está creciendo, aún está más enfocado en la generación de conocimiento nuevo que en su sistematización.

Finalmente, la presencia de artículos retractados y erratum es mínima pero más visible en el periodo 2015–2026, lo cual puede interpretarse como un efecto del aumento global de publicaciones: a mayor volumen, mayor probabilidad de correcciones o retractaciones.

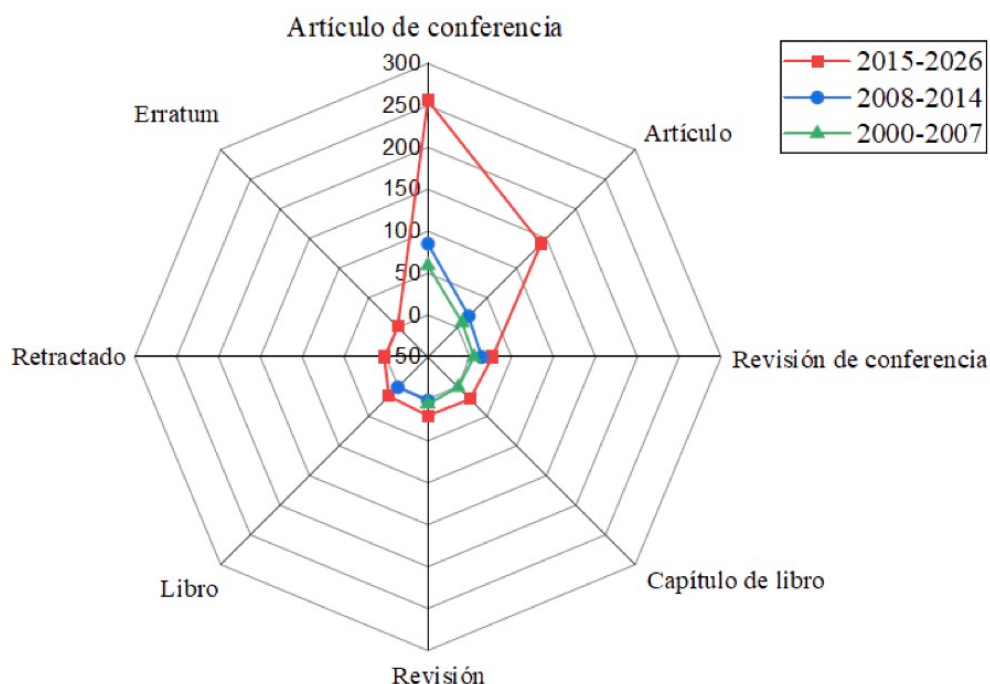


Figura 5. Publicaciones por tipo de documentos en Scopus.

3.4 Publicaciones por área de conocimiento

La Figura 6 muestra la evolución de las publicaciones según áreas de conocimiento a lo largo de tres periodos (2000–2007, 2008–2014 y 2015–2026). En primer lugar, Ingeniería se posiciona claramente como el área dominante en todos los periodos, con un crecimiento muy pronunciado en 2015–2026 (superando ampliamente las 300 publicaciones). Esto confirma que la automatización sigue siendo, principalmente, un campo de base ingenieril, vinculado al desarrollo de sistemas, procesos industriales y tecnologías aplicadas. En segundo lugar, Ciencias de la computación muestra también un crecimiento significativo, especialmente en el periodo más reciente, donde alcanza valores cercanos a 250 publicaciones. Este comportamiento refleja la creciente integración de tecnologías digitales, inteligencia artificial y algoritmos en los sistemas de automatización, consolidando la convergencia entre ambas disciplinas. Por su parte, Ciencias Sociales presenta un incremento relevante, aunque en menor magnitud, lo que sugiere un interés creciente en los impactos sociales, organizacionales y económicos de la automatización, tales como el empleo, la transformación del trabajo y la adopción tecnológica. Las áreas de Matemáticas y Ciencias de la Decisión muestran un crecimiento moderado en el último periodo. Esto indica su papel como disciplinas de soporte, particularmente en modelamiento, optimización y toma de decisiones en sistemas automatizados. Finalmente, Física&Astronomía mantiene una participación baja y relativamente estable, lo que sugiere una contribución más específica o indirecta dentro del campo analizado.

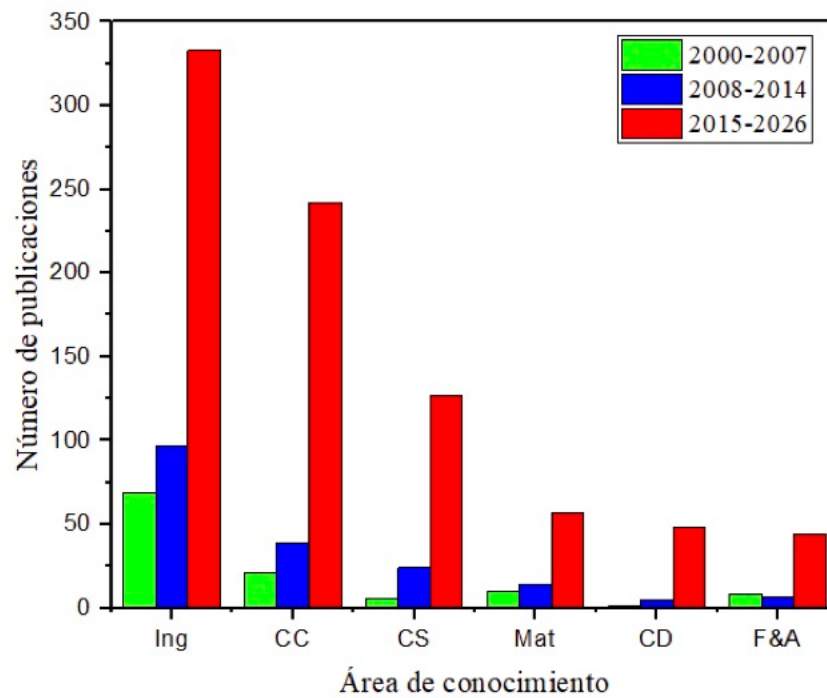


Figura 6. Publicaciones por área de conocimiento en Scopus.

3.5 Publicaciones más citadas

El Cuadro 1 presenta las 100 publicaciones más citadas, incluyendo la revista en la que fueron publicadas y un breve resumen de sus principales aportes. Esta selección permite identificar los trabajos más influyentes, así como las tendencias de investigación, enfoques metodológicos y avances tecnológicos que han marcado la evolución de la automatización en el diseño industria.

1

Cuadro 1. Publicaciones más citadas.

Título	Tipo	Revista	Año	Número de citas	Resumen
Workers, wages, and technology [20]	Artículo	Quarterly Journal of Economics	1997	432	El estudio analiza cómo la adopción de tecnologías de automatización industrial influye en salarios, composición laboral y productividad. Los resultados muestran que las plantas más automatizadas emplean trabajadores más calificados y mejor remunerados; sin embargo, no se evidencia una relación directa entre adopción tecnológica y aumento progresivo de habilidades.
Role of artificial intelligence in operations environment: a review and bibliometric analysis [21]	Revisión	TQM Journal	2020	323	La inteligencia artificial se ha consolidado como un eje estratégico para la transformación organizacional y la competitividad. Este trabajo analiza las principales tendencias, autores e instituciones, identificando áreas clave como optimización, automatización, sostenibilidad y adopción tecnológica.
Deep reinforcement learning in smart manufacturing: A review and prospects [22]	Revisión	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology	2023	283	El aprendizaje por refuerzo profundo (DRL) se ha posicionado como una tecnología clave para la manufactura inteligente, al permitir decisiones adaptativas en entornos complejos. Esta revisión sistemática analiza 261 estudios, abordando sus aplicaciones a lo largo del ciclo de vida de la ingeniería, así como sus desafíos y proyecciones futuras.
Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0	Artículo	Technology in Society	2021	207	La formación para la Industria 4.0 requiere el desarrollo de competencias técnicas y transversales, incluyendo automatización, análisis de datos y habilidades como liderazgo, creatividad y trabajo colaborativo. Este estudio bibliométrico destaca la importancia de entornos prácticos como learning factories.
A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems [23]	Artículo	SAE International Journal of Materials and Manufacturing	2016	202	Los robots colaborativos (CoBots) emergen como soluciones clave en la automatización industrial, al permitir una interacción segura y flexible con humanos. Este estudio propone un marco de cuatro niveles para su diseño e integración, destacando su potencial para mejorar la eficiencia productiva y orientar futuros desafíos en investigación y educación.

Integrating deep learning into CAD/CAE system: generative design and evaluation of 3D conceptual wheel [24]	Artículo	Structural and Multidisciplinary Optimization	2021	167	La integración de inteligencia artificial en CAD/CAE permite automatizar la generación y evaluación de diseños en etapas conceptuales. Este estudio propone un marco basado en deep learning que optimiza el diseño de productos, facilitando la colaboración entre ingenieros y diseñadores mediante la evaluación eficiente de múltiples alternativas.
Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices [25]	Artículo	Sensors	2023	154	El Internet de las Cosas (IoT) se ha consolidado como una tecnología clave en diversos sectores, impulsando su incorporación en la educación. Este estudio presenta herramientas y metodologías para la enseñanza del IoT, facilitando el diseño e implementación de proyectos y el desarrollo de competencias demandadas en el mercado laboral.
Diagnosis and fault-tolerant control, third edition [26]	Libro	Diagnosis and Fault Tolerant Control Third Edition	2016	122	El control tolerante a fallos permite mantener la operación segura de sistemas automatizados ante fallas, evitando paradas abruptas. Este enfoque utiliza modelos estructurales para diagnóstico y diseño de controladores, mejorando la disponibilidad y confiabilidad en procesos industriales y constituyendo una base relevante para la formación en ingeniería.
The Convergence of Intelligent Tutoring, Robotics, and IoT in Smart Education for the Transition from Industry 4.0 to 5.0 [27]	Revisión	Smart Cities	2024	115	La automatización de la educación inteligente en el contexto de la Industria 5.0 integra tecnologías como IA, IoT y realidad extendida para generar entornos de aprendizaje personalizados. Esta revisión destaca su papel en la formación continua, así como los desafíos éticos, tecnológicos y sociales asociados a su implementación.
A Pilot Study of the Effectiveness of Augmented Reality to Enhance the Use of Remote Labs in Electrical Engineering Education [28]	Artículo	Journal of Science Education and Technology	2012	102	Las prácticas de laboratorio en ingeniería requieren enfoques más avanzados que los laboratorios virtuales o remotos tradicionales. Este estudio propone un laboratorio remoto aumentado (ARL) basado en realidad aumentada, que integra entornos reales y virtuales, mejorando significativamente la experiencia de aprendizaje en áreas como automatización industrial y robótica.

3.6 Relación de palabras claves

- Periodo 2000-2007

La Figura 7 muestra el mapa de co-ocurrencia de palabras clave, generado con VOSviewer para el periodo 2000–2007, permite identificar la estructura temática inicial del campo de la automatización, así como sus principales núcleos de investigación y relaciones conceptuales.

En primer lugar, se distinguen tres clústeres principales claramente definidos. El clúster verde está dominado por términos como industrial engineering, technology, process engineering, project management y systems engineering, lo que indica que, en esta etapa, la automatización se encontraba fuertemente vinculada a la ingeniería industrial y de procesos, con énfasis en la optimización de sistemas productivos y la gestión de operaciones.

El clúster rojo, por su parte, agrupa palabras clave como automation, engineering education, robotics, programmable logic controllers, computer simulation y product design. Este conjunto refleja una orientación hacia la aplicación tecnológica y la formación en automatización, destacando el papel de la robótica y los sistemas de control programables como ejes centrales del desarrollo tecnológico, así como la importancia de la educación en ingeniería para su difusión.

Finalmente, el clúster azul incluye términos como control theory, computer networks, curricula y teaching, representando una dimensión más teórica y educativa, donde se integran fundamentos de control y aspectos pedagógicos relacionados con la enseñanza de la automatización.

Un aspecto relevante es que el nodo automation aparece como un punto de conexión central entre los clústeres, evidenciando su rol articulador entre la ingeniería aplicada, la formación académica y los fundamentos teóricos. Asimismo, la alta densidad de enlaces entre clústeres sugiere que, incluso en esta etapa temprana, el campo ya presentaba un carácter interdisciplinario.

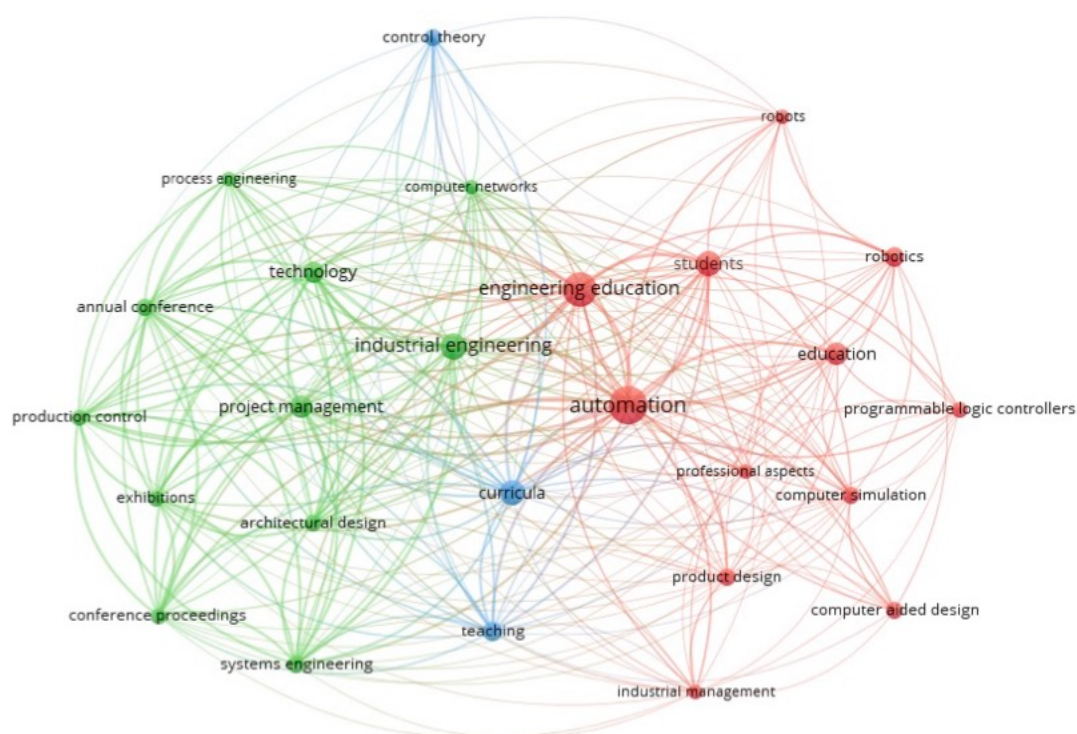


Figura 7. Correlación de palabras claves en el periodo 2000-2007.

- Periodo 2008-2014

La Figura 8 muestra el mapa de co-ocurrencia de palabras clave para el periodo 2008–2014, el cual evidencia una mayor complejidad e integración temática en comparación con la etapa anterior, reflejando la evolución y expansión del campo de la automatización. En este caso, se identifican múltiples clústeres interconectados, lo que indica un incremento en la interdisciplinariedad. El clúster rojo continúa centrado en automation, ahora con una fuerte vinculación a términos como mechatronics, process control, e-learning y laboratories, lo que sugiere una integración más clara entre la automatización, la experimentación práctica y las nuevas modalidades de enseñanza, como la educación a distancia.

El clúster verde agrupa conceptos como robotics, manufacture, industrial engineering, artificial intelligence y robot programming, evidenciando un avance significativo hacia la automatización inteligente, donde la robótica y la inteligencia artificial comienzan a consolidarse como ejes fundamentales del desarrollo tecnológico.

Por su parte, el clúster azul está dominado por engineering education, students, machine design, computer vision e intelligent robots, lo que refleja una fuerte orientación hacia la formación en competencias tecnológicas avanzadas, vinculando la educación con aplicaciones emergentes como la visión por computador y los sistemas autónomos.

Adicionalmente, aparecen clústeres más pequeños pero relevantes, como el asociado a education (amarillo), que conecta elementos pedagógicos como computer aided instruction y programmable logic controllers, y otro relacionado con personnel training (morado), evidenciando un interés creciente en la capacitación técnica especializada.

Un aspecto clave es que automation, engineering education y robotics actúan como nodos altamente centrales, articulando las relaciones entre los distintos clústeres. Esto sugiere que el campo ha transitado desde una estructura más segmentada (2000–2007) hacia una red más integrada, donde la educación, la tecnología y la industria convergen de manera más evidente.

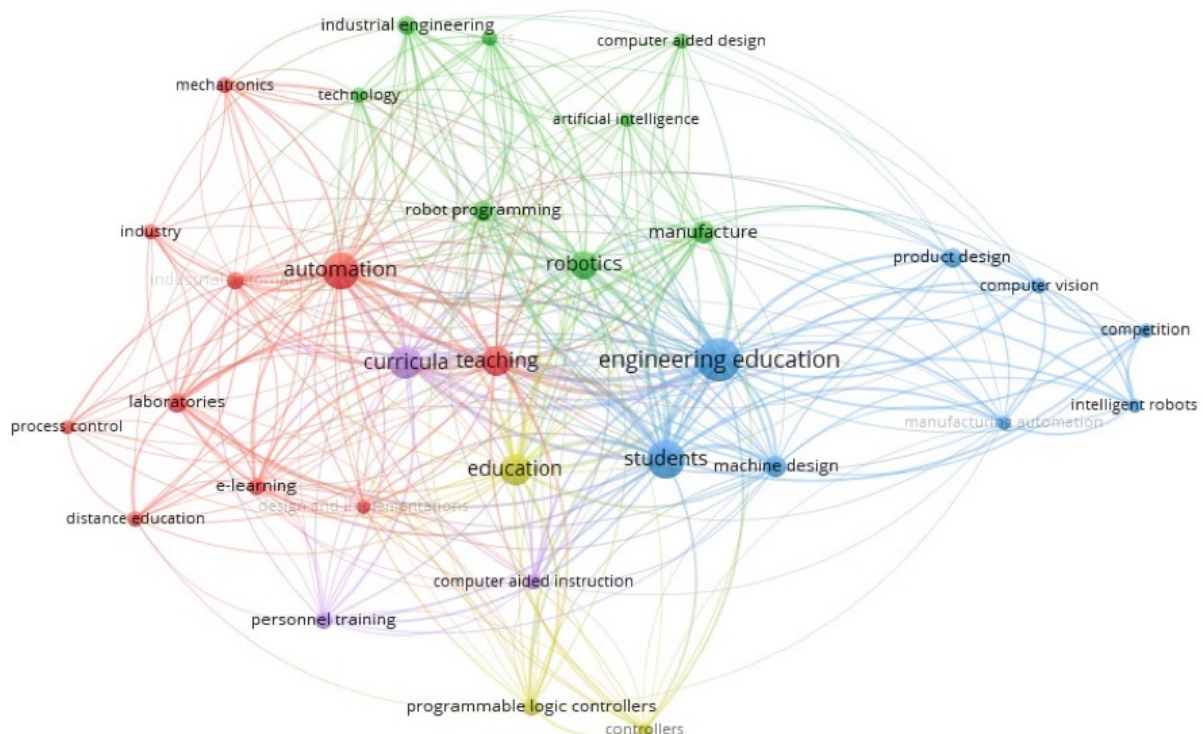


Figura 8. Correlación de palabras claves en el periodo 2008-2014.

- Periodo 2015-2026

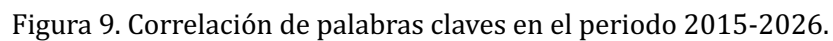
La Figura 9 muestra el mapa de co-ocurrencia de palabras clave para el periodo 2015-2026, el cual evidencia una mayor complejidad en comparación con la etapa anterior. El primer cluster (rojo) relaciona la Inteligencia Cognitiva y Diseño Algorítmico. Este grupo representa el núcleo tecnológico más denso de la red, donde conceptos como Artificial Intelligence y Generative Design han desplazado al modelado tradicional para dar paso a una co-creación basada en datos. La coocurrencia de estos términos junto a Machine Learning y Optimization, lo cual sugiere que la automatización ya no es una herramienta de ejecución mecánica, sino un socio cognitivo que propone soluciones óptimas basadas en algoritmos. En el ámbito educativo, este clúster refleja una transformación radical donde el currículo se aleja del dominio técnico de herramientas estáticas para centrarse en Data-Driven Design, exigiendo que el estudiante desarrolle competencias en la gestión de flujos de trabajo automatizados.

El cluster verde relaciona los Gemelos Digitales e Infraestructura de Fabricación. Aquí se articula la dimensión física de la automatización, conectando la Additive Manufacturing con los Digital Twins y el Internet of Things (IoT) dentro del marco de las Smart Factories. La fuerza de los enlaces en este grupo sugiere que el diseño industrial contemporáneo no termina en el objeto, sino en un Cyber-Physical System capaz de simular su propio comportamiento en tiempo real antes y después de ser fabricado. Para los modelos educativos, esto implica la transición de los talleres físicos convencionales hacia laboratorios de simulación avanzada, donde se enseña al alumno a diseñar ciclos de vida de producto cerrados que responden a datos de rendimientos reales.

El cluster azul relaciona Pedagogías Adaptativas y Aprendizaje Transdisciplinar. Este clúster se centra en la respuesta metodológica de las instituciones académicas, agrupando conceptos como Project-Based Learning (PBL), STEAM Education y Lifelong Learning. A diferencia de los clústeres puramente técnicos, este actúa como un puente integrador que busca flexibilizar las estructuras curriculares ante la Digital Transformation impuesta por la automatización. El análisis muestra que las escuelas de diseño están adoptando modelos de Competency-Based Education, priorizando la capacidad de adaptación por encima de la especialización rígida, preparando así a profesionales capaces de navegar en entornos laborales donde el software evoluciona más rápido que los planes de estudio.

El cluster amarillo relaciona los conceptos Colaboración Humano-Robot y Experiencia de Usuario. Este segmento de la red enfoca la automatización desde la interacción y la Human-Robot Collaboration, subrayando que el futuro del diseño industrial no busca la exclusión del humano, sino su integración con sistemas autónomos como los Cobots. Palabras clave como User Experience (UX) y Haptic Feedback aparecen ligadas a la robótica, lo que demuestra un interés creciente en cómo las máquinas automatizadas se integran de forma intuitiva en la vida cotidiana. Educativamente, este clúster impulsa la inclusión de la Human-Computer Interaction (HCI) en los planes de estudio, formando a diseñadores que orquestan interacciones complejas entre personas y entidades artificiales.

Finalmente, el clúster púrpura sobre Gobernanza Ética, Sostenibilidad e Industria 5.0 muestra una centralidad estratégica hacia 2026 al integrar la Circular Economy, la AI Ethics y el Human-Centric Design. Este grupo actúa como el regulador moral de los demás clústeres, cuestionando el impacto de la automatización masiva y abogando por el retorno al valor humano característico de la Industria 5.0. En los modelos educativos contemporáneos, este clúster se traduce en la incorporación de la Sustainability y la responsabilidad social como ejes transversales, asegurando que los futuros diseñadores utilicen la automatización no solo para maximizar la producción, sino como una herramienta para resolver problemas globales complejos.



Cuadro 2. Resumen de hallazgos de coocurrencia de palabras claves.

48 de 52

4 Discusión

Los hallazgos de este análisis bibliométrico corroboran que la automatización en el diseño industrial ha dejado de ser una disciplina aislada para convertirse en un ecosistema interdisciplinario. La tendencia creciente de publicaciones, que alcanza su pico en 2025, sugiere que la integración de tecnologías digitales no es un fenómeno transitorio, sino la base de una nueva infraestructura productiva.

Un punto crítico de discusión es la descentralización del conocimiento. Mientras que en el periodo 2000–2007 la producción era casi exclusiva de países desarrollados, el auge de las potencias asiáticas y la creciente participación de países latinoamericanos como México, Brasil y Ecuador (este último con 4 publicaciones clave en el último periodo) reflejan una democratización tecnológica. No obstante, la predominancia de artículos de conferencia sobre artículos científicos en las etapas iniciales indica que el campo se mueve a una velocidad mayor que los ciclos de revisión tradicionales de las revistas, lo cual es típico de áreas de innovación disruptiva.

Asimismo, la convergencia entre Ingeniería y Ciencias Sociales en los últimos años sugiere una preocupación creciente por el factor humano. La discusión ya no se limita a "cómo automatizar", sino a cómo esta automatización redefine el rol del diseñador y la ética de la co-creación con inteligencia artificial. Esta transición plantea un desafío para las instituciones educativas: pasar de la enseñanza de herramientas técnicas a la formación en pensamiento sistémico y gestión de sistemas inteligentes, tal como lo proponen las tendencias actuales de "fábricas de aprendizaje".

Conclusiones

El presente estudio realiza un análisis bibliométrico con el objetivo de comprender la evolución de la investigación en automatización, diseño industrial y educación, identificando patrones de crecimiento, dinámicas geográficas y transformaciones conceptuales en el campo. Los resultados evidencian que la producción científica ha transitado desde una fase inicial de carácter exploratorio hacia una etapa de expansión acelerada, especialmente en el periodo más reciente. El incremento significativo de publicaciones hacia 2025 no solo refleja la consolidación de la Industria 4.0, sino también el inicio de una transición hacia la Industria 5.0, donde la colaboración entre humanos y sistemas inteligentes adquiere un rol central en los procesos productivos y de diseño.

En este contexto, se observa además una transformación relevante en la geopolítica del conocimiento. Si bien Estados Unidos ha mantenido históricamente un liderazgo en la producción científica, en la actualidad este dominio se ve complementado por una participación creciente de países asiáticos, junto con una progresiva integración de América Latina en el escenario global. Esta diversificación geográfica sugiere una mayor capacidad para desarrollar soluciones tecnológicas contextualizadas, adaptadas a realidades económicas, sociales e industriales diversas.

Por otra parte, los hallazgos confirman que la interdisciplinariedad se ha convertido en un rasgo estructural del campo. La automatización ha dejado de ser un dominio exclusivo de la ingeniería de procesos, integrándose estrechamente con áreas como las Ciencias de la Computación, particularmente en el desarrollo de inteligencia artificial y simulación avanzada, así como con las Ciencias Sociales, que aportan una comprensión crítica de los impactos humanos, organizacionales y éticos. En este sentido, el diseño industrial contemporáneo exige enfoques híbridos que articulen capacidades técnicas, analíticas y creativas.

Finalmente, los resultados ponen de manifiesto un imperativo educativo ineludible. La rápida evolución tecnológica demanda una actualización profunda de los currículos académicos, orientándolos hacia la incorporación de herramientas como gemelos digitales, robótica colaborativa y diseño generativo. Este rediseño formativo resulta esencial para preparar profesionales capaces de desenvolverse en entornos de manufactura inteligente, sostenibles y

altamente automatizados, donde no solo se requiere dominio técnico, sino también competencias para la toma de decisiones, la innovación y la gestión ética de tecnologías emergentes.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

Agradecimientos

A la “Escuela de Hábitat, Infraestructura y Creatividad” y a la “Dirección de Investigación” de la “Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ambato” por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Declaración de conflicto de intereses

El autor o autores no han declarado ningún posible conflicto de intereses en relación con esta investigación, la autoría y/o la publicación de este artículo. Para la elaboración de este artículo se ha usado Inteligencia Artificial (IA) en la revisión de redacción (ChatGPT) y en la búsqueda de literatura especializada (Scopus AI).

Referencias

- [1] L. Orejuela-Escobar, D. Venegas-Vásquez, y M. Á. Méndez, “Opportunities of artificial intelligence in valorisation of biodiversity, biomass and bioresidues – towards advanced bio-economy, circular engineering, and sustainability”, *Int. J. Sustain. Energy Environ. Res.*, vol. 13, núm. 2, pp. 105–113, 2024.
- [2] M. Ramos Maldonado, T. Duarte Sepúlveda, F. Gatica Neira, y D. Venegas-Vásquez, “Machine learning para predecir la calidad del secado de chapas en la industria de tableros contrachapados de *Pinus radiata*”, *Maderas Cienc. Tecnol.*, vol. 26, jul. 2024, doi: 10.22320/s0718221x/2024.46.
- [3] B. Vogel-Heuser y D. Hess, “Guest Editorial Industry 4.0–Prerequisites and Visions”, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 13, núm. 2, pp. 411–413, abr. 2016, doi: 10.1109/TASE.2016.2523639.
- [4] V. Stegmaier, T. Eberhardt, W. Schaaf, N. Jazdi, M. Weyrich, y A. Verl, “Literature Review and Model Proposal on the Machine Life Cycle in Industrial Automation from Different Perspectives”, *Procedia CIRP*, vol. 120, pp. 690–695, 2023, doi: 10.1016/j.procir.2023.09.060.
- [5] A. T. Gaynor y J. K. Guest, “Topology optimization considering overhang constraints: Eliminating sacrificial support material in additive manufacturing through design”, *Struct. Multidiscip. Optim.*, vol. 54, núm. 5, pp. 1157–1172, nov. 2016, doi: 10.1007/s00158-016-1551-x.
- [6] A. Cannata, M. Gerosa, y M. Taisch, “Trends and roadmaps on SOA-based embedded networks for industrial automation systems: a review”, *IFAC Proc. Vol.*, vol. 42, núm. 4, pp. 2119–2124, 2009, doi: 10.3182/20090603-3-RU-2001.0344.
- [7] J. Liao, P. Hansen, y C. Chai, “A framework of artificial intelligence augmented design support”, *Human-Computer Interact.*, vol. 35, núm. 5–6, pp. 511–544, nov. 2020, doi: 10.1080/07370024.2020.1733576.
- [8] G. Wang, “The Power of Design in Making AI More Human-Friendly”, *Des. Manag. Rev.*, vol. 31, núm. 2, pp. 40–45, jun. 2020, doi: 10.1111/drev.12210.
- [9] M. Ramos-Maldonado, F. T. Muñoz, P. Mora, y D. Venegas-Vásquez, “Optimizing Cutting Log Operations in Softwood Sawmills: A Multi-Objective Approach Tailored for SMEs”, *IEEE Access*, vol. 12, pp. 128141–128150, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3455351.

-
- [10] D. Antonelli, P. Podržaj, y A. Maffei, "Task Planning and Execution for Industrial Automation: A Comprehensive Analysis of Traditional and Emerging Methods", *Procedia Comput. Sci.*, vol. 277, pp. 3257–3266, 2026, doi: 10.1016/j.procs.2026.02.362.
- [11] C. Zhao, Y. Deng, K. Dong, R. Nepal, y R.-H. Boroumand, "Sustainable finance contribution to energy value chain participation: The role of industrial automation", *Int. Rev. Financ. Anal.*, vol. 109, p. 104777, ene. 2026, doi: 10.1016/j.irfa.2025.104777.
- [12] T. Spreen, Z. Wang, y L. K. Yang, "Industrial Automation and Local Public Goods", *SSRN Electron. J.*, 2022, doi: 10.2139/ssrn.4197194.
- [13] R. Shah, A. S. A. Doss, y N. Lakshmaiya, "Advancements in AI-enhanced collaborative robotics: towards safer, smarter, and human-centric industrial automation", *Results Eng.*, vol. 27, p. 105704, sep. 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.105704.
- [14] W. G. Chaca Espinoza, P. Montenegro-Cajas, S. V. Ocaña Parra, y A. S. Medina Moncayo, "Innovación, IA y diseño centrado en el ser humano: el rol del diseño industrial en la quinta revolución industrial", *Alpha Int. J.*, vol. 3, núm. 1, pp. 108–127, jun. 2025, doi: 10.63380/aij.v3n1.2025.104.
- [15] J. Pakdel y I. Erol, "Scrutinizing challenges to adopting digital technologies in the mining industry: A systematic review through PRISMA and bibliometric analysis", *Resour. Policy*, vol. 109, p. 105713, oct. 2025, doi: 10.1016/j.resourpol.2025.105713.
- [16] D. Venegas-Vásconez, "Inteligencia artificial e ingeniería mecánica: Revisión bibliométrica sobre tendencias de investigación, aplicaciones industriales y perspectivas futuras", *Rev. Digit. Cienc. Ing. Tecnol. NOVASINERGIA*, vol. 9, núm. 2, pp. 21–40, ene. 2026, doi: 10.37135/ns.01.17.02.
- [17] D. Venegas-Vásconez et al., "Microwave Pretreatment for Biomass Pyrolysis: A Systematic Review on Efficiency and Environmental Aspects", *Processes*, vol. 13, núm. 10, p. 3194, oct. 2025, doi: 10.3390/pr13103194.
- [18] D. Venegas-Vásconez y A. Tirado-Lozada, "Análisis de ciclo de vida en el diseño de productos de ingeniería: Una revisión sistemática", *Arksis-J.*, pp. 33–49, 2026, doi: 10.63957/arksis.v1i1.0001.
- [19] J. Z. Loeb y D. Dack, "Microprocessor workshop and educational laboratory", *Euromicro Newsl.*, vol. 3, núm. 2, pp. 51–56, 1977, doi: 10.1016/0303-1268(77)90069-4.
- [20] M. Doms, T. Dunne, y K. R. Troske, "Workers, wages, and technology", *Q. J. Econ.*, vol. 112, núm. 1, pp. 252–290, 1997, doi: 10.1162/003355397555181.
- [21] P. Dhamija y S. Bag, "Role of artificial intelligence in operations environment: a review and bibliometric analysis", *TQM J.*, vol. 32, núm. 4, pp. 869–896, 2020, doi: 10.1108/TQM-10-2019-0243.
- [22] C. Li, P. Zheng, Y. Yin, B. Wang, y L. Wang, "Deep reinforcement learning in smart manufacturing: A review and prospects", *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, vol. 40, pp. 75–101, 2023, doi: 10.1016/j.cirpj.2022.11.003.
- [23] A. M. Djuric, J. L. Rickli, y R. J. Urbanic, "A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems", *SAE Int. J. Mater. Manuf.*, vol. 9, núm. 2, pp. 457–464, 2016, doi: 10.4271/2016-01-0337.
- [24] S. Yoo, S. Lee, S. Kim, K. H. Hwang, J. H. Park, y N. Kang, "Integrating deep learning into CAD/CAE system: generative design and evaluation of 3D conceptual wheel", *Struct. Multidiscip. Optim.*, vol. 64, núm. 4, pp. 2725–2747, 2021, doi: 10.1007/s00158-021-02953-9.
- [25] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, y O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices", *Sensors*, vol. 23, núm. 15, 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [26] M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, y M. Staroswiecki, *Diagnosis and fault-tolerant control, third edition*. en *Diagnosis and Fault-Tolerant Control, Third Edition*. 2016, p. 695. doi: 10.1007/978-3-662-47943-8.
-

- [27] A. Adel, "The Convergence of Intelligent Tutoring, Robotics, and IoT in Smart Education for the Transition from Industry 4.0 to 5.0", *Smart Cities*, vol. 7, núm. 1, pp. 325–369, 2024, doi: 10.3390/smartcities7010014.
- [28] A. Mejías Borrero y J. M. Andújar Márquez, "A Pilot Study of the Effectiveness of Augmented Reality to Enhance the Use of Remote Labs in Electrical Engineering Education", *J. Sci. Educ. Technol.*, vol. 21, núm. 5, pp. 540–557, 2012, doi: 10.1007/s10956-011-9345-9.