Artículo de revisión

Trilogía
CIENCIA TECNOLOGÍA SOCIEDAD

Impactos éticos, sociales y ambientales de la inteligencia artificial generativa en ingeniería: una revisión sistemática*

Ethical, Social, and Environmental Impacts of Generative Artificial Intelligence in Engineering: A Systematic Review

Maicol Stiven Tafur Diaz[1], Juan Felipe Loaiza Facundo[2], Yois Pascuas Rengifo[3]

Resumen

Se presenta una revisión y un análisis crítico de los impactos multidimensionales de la inteligencia artificial generativa en el campo de la ingeniería, particularmente de los aspectos éticos, sociales y ambientales que surgen de su implementación acelerada. El objetivo del estudio es mapear los desafíos y las oportunidades en el desarrollo sostenible y la innovación. Al respecto, se implementó un enfoque sistemático, según la metodología PRISMA, para seleccionar información publicada en la base de datos Scopus, mediante la indagación de artículos publicados entre 2021 y 2025. Inicialmente se desarrolló la fase heurística y se seleccionaron 54 documentos según las categorías de análisis: ética tecnológica, aspectos sociales y ambientales, y posteriormente se procedió con la fase hermenéutica para la interpretación de información. Los resultados muestran una necesidad urgente de desarrollar un sistema legislativo, mejorar la transparencia de los sistemas algorítmicos y centrarse de manera proactiva en los efectos ecológicos de estas tecnologías. Finalmente, se concluye que es importante integrar principios éticos estables en el desarrollo tecnológico, fortalecer la educación en ingeniería y establecer amplios procesos de evaluación ambiental que acompañen el desarrollo e implementación de todas las herramientas generativas de inteligencia artificial promoviendo la responsabilidad compartida entre desarrolladores, usuarios y reguladores para garantizar un avance tecnológico inclusivo y sostenible.

Palabras clave: desarrollo sostenible, ética tecnológica, impacto ambiental, ingeniería sostenible, inteligencia artificial generativa.

Cómo referenciar

Tafur Diaz, M. S., Loaiza Facundo, J. F., & Pascuas Rengifo, Y. (2026). Impactos éticos, sociales y ambientales de la inteligencia artificial generativa en ingeniería: una revisión sistemática. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad, 18*(40), art. e3906. https://doi.org/10.22430/21457778.3906

* El presente artículo de revisión se deriva del proceso investigativo desarrollado en el Seminario de Investigación en Inteligencia Artificial Generativa, perteneciente a la Facultad de Ingeniería y al programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de la Amazonia. Esta producción académica se enmarca en la fase del estudio de mercado y fundamentación investigativa para la creación de la nueva Maestría en Ingeniería.

[1] Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia, ma.tafur@udla.edu.co
[2] Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia, jua.loaiza@udla.edu.co
[3] Universidad de la Amazonia, Florencia, Colombia, y.pascuas@udla.edu.co

Recibido: 5 de febrero de 2026 | **Aceptado:** 1 de junio de 2026

CC BY NC SA
OPEN ACCESS

Abstract

This paper presents a review and critical analysis of the multidimensional impacts of Generative Artificial Intelligence in the field of engineering, particularly the ethical, social, and environmental implications arising from its accelerated implementation. Its main purpose is to map the challenges and opportunities associated with sustainable development and innovation. To this end, a systematic approach based on the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) methodology was employed to select relevant publications from the Scopus database, focusing on articles published between 2021 and 2025. Initially, a heuristic phase was conducted, during which 54 documents were selected according to the following categories of analysis: technology ethics, social aspects, and environmental issues. Subsequently, a hermeneutic phase was carried out to interpret the collected information. The results show an urgent need to develop a legislative framework, improve the transparency of algorithmic systems, and adopt a more proactive approach to addressing the ecological effects of these technologies. Finally, the analysis concludes that it is important to integrate robust ethical principles into technological development, strengthen engineering education, and establish comprehensive environmental assessment processes that support the development and deployment of all Generative Artificial Intelligence tools. In this way, shared responsibility among developers, users, and regulators can be fostered, thereby ensuring inclusive and sustainable technological advancement.

Keywords: sustainable development, technology ethics, environmental impact, sustainable engineering, generative artificial intelligence.

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de herramientas capaces de generar contenido automáticamente ha despertado un intenso debate en torno a cuestiones de innovación, ética y sostenibilidad. Se habla específicamente de la inteligencia artificial generativa (IAG), que en los últimos años ha tenido un crecimiento bastante rápido. Lo que antes eran sistemas para manejar grandes cantidades de información, ahora se han transformado en herramientas capaces de crear contenido nuevo por sí mismas, lo cual trae consecuencias en muchos campos diferentes. Por ejemplo, en áreas como la automatización de fábricas, en el diseño de productos nuevos, en la simulación de situaciones complicadas, en la construcción de modelos para predecir qué puede pasar en el futuro y en la toma de decisiones importantes en las empresas ya se están viendo cambios muy significativos por el uso de estas tecnologías (Mikołajewska et al., 2025). No obstante, varios investigadores han manifestado su preocupación por los problemas que trae esta implementación tan rápida. Existen interrogantes serios sobre las implicaciones morales, los efectos en la sociedad y las repercusiones para el medio ambiente que todavía requieren investigación profunda y contextualizada (Cañavate et al., 2025).

Ante este panorama, es evidente la necesidad de contar con regulaciones claras y fundamentos éticos bien definidos. Solamente así se podrá combinar el avance tecnológico con el respeto a los derechos básicos de las personas y el cuidado del planeta. Al mismo tiempo, cuando diferentes actores —gobiernos, compañías privadas y centros de investigación— trabajan juntos, se facilita la

elaboración de políticas que promuevan la transparencia, la equidad y la responsabilidad al momento de implementar tecnologías basadas en datos (Prather et al., 2025).

Por todo lo anterior, resulta indispensable que las universidades y los lugares de trabajo adopten un papel más comprometido en la forma como se emplean estas plataformas. Es importante crear espacios de formación donde los valores morales y el sentido de responsabilidad social estén presentes en todo momento. Cuando esto sucede, no solo mejora la preparación técnica de los futuros profesionales, sino que también se fortalece su capacidad para reflexionar críticamente sobre las consecuencias de sus decisiones (Honig et al., 2025).

La revisión realizada ayudó a encontrar relaciones importantes entre las distintas maneras en que los investigadores han trabajado estos temas, tanto desde lo teórico como desde lo metodológico. Este trabajo permitió identificar estrategias que han funcionado bien en diferentes lugares y situaciones y logró evidenciar la necesidad de combinar puntos de vista de varias disciplinas si se quiere comprender realmente qué tan complejos son estos problemas.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este estudio se realizó una revisión sistemática de la literatura, considerando que este método permite identificar, examinar e integrar evidencia científica de forma ordenada y que otros investigadores puedan replicar. Gracias a este enfoque se logró hacer un análisis crítico de lo que actualmente se conoce sobre las implicaciones sociales, ambientales y éticas que tiene la IAG cuando se aplica en ingeniería. Asimismo, se aseguró que la selección y el análisis de los datos fueran precisos (Onatayo et al., 2024). Se optó por seguir el protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) por su pertinencia en investigaciones que tocan temas de ética, tecnología y desarrollos emergentes, además, porque ofrece pautas claras para seleccionar y estudiar la información disponible (Page et al., 2021). Lo planteado implicó el desarrollo de las siguientes fases:

Fase heurística

Se identificaron las publicaciones pertinentes usando búsquedas sistemáticas; el filtro original se realizó según criterios de inclusión y exclusión con la finalidad de responder preguntas sobre factores éticos, sociales y ambientales relacionados con el uso de la IAG en ingeniería.

Fuentes de información

Se indagó en la base de datos Scopus para consultar información de carácter investigativo. La búsqueda se centró en artículos científicos publicados entre 2021 y 2025, con el propósito de identificar evidencia relacionada con los impactos éticos, sociales y ambientales de la IAG en ingeniería.

Estrategia de búsqueda

Las ecuaciones utilizadas para la búsqueda tienen como criterio que contuvieran en el título, resumen o palabras clave al mismo tiempo los términos relacionados con IAG, sus implicaciones éticas, sostenibilidad ambiental y aplicaciones en ingeniería. La estrategia de búsqueda se estructuró en tres componentes principales que permitieron capturar la literatura relevante de manera comprensiva.

La búsqueda se aplicó utilizando la siguiente fórmula booleana:

TITLE-ABS-KEY: ("IA Generativa" *OR* "Modelos de IA" *OR* "Inteligencia Artificial Generativa") *AND* ("Impacto Ambiental" *OR* "Sostenibilidad" *OR* "Ingeniería Verde") *AND* ("Educación en Ingeniería" *OR* "Ingeniería Sostenible" *OR* "Plan de Estudios de Ingeniería" *OR* "Educación para la Sostenibilidad").

Criterios de inclusión y exclusión

Estos criterios (ver Tabla 1) se establecieron con la finalidad de garantizar la rigurosidad metodológica y la relevancia temática en la selección de los artículos analizados, lo cual permitió depurar el conjunto de publicaciones de análisis, que se centraron particularmente en el impacto ético, ambiental y social sostenible de la IAG.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión aplicados en la revisión sistemática

Criterios de inclusión	**Criterios de exclusión**
Publicaciones entre 2021 y 2025	Publicaciones previas a 2021
Artículos escritos en inglés o español	Idiomas distintos
Texto completo disponible	Acceso restringido
Estudios en revistas indexadas	Capítulos de libro o ponencias
Investigación centrada en ética, sostenibilidad o innovación en ingeniería	Estudios fuera del enfoque temático (p. ej. sin relación con IAG)

Fuente: elaboración propia.

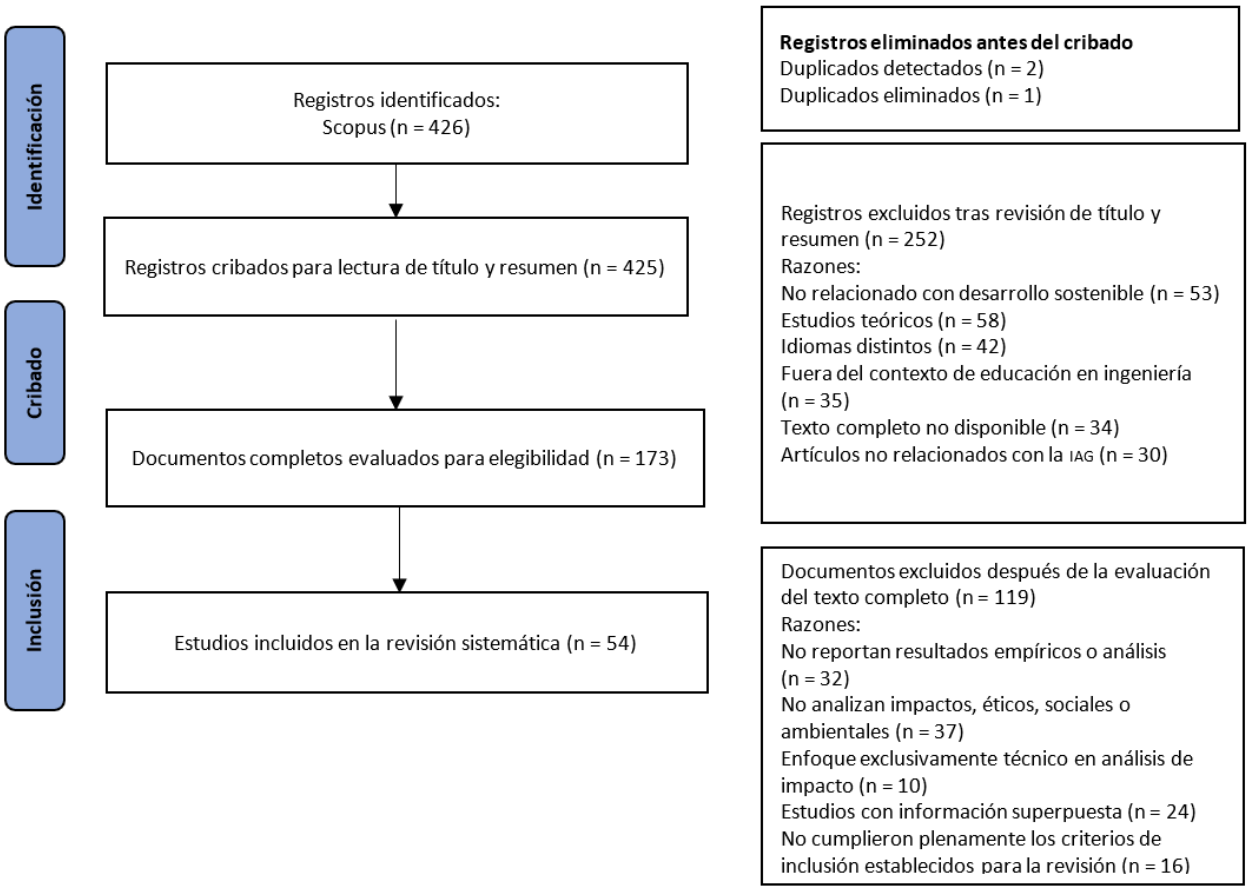
El filtro planteado mediante estos criterios permitió depurar el conjunto inicial de artículos recuperados y garantizar que la evidencia analizada estuviera directamente relacionada con el propósito del estudio. De esta manera, se excluyeron las publicaciones sobre IAG que no abordaban sus implicaciones éticas, sociales o ambientales en el contexto de la ingeniería, así como aquellas sin acceso al texto completo.

Recolección y análisis de datos

Se utilizó el software Rayyan para gestionar el proceso de revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021). Inicialmente, se identificaron 426 registros en la base de datos Scopus. Tras la detección de dos registros potencialmente duplicados y la eliminación de un duplicado, se obtuvieron 425 registros para el proceso de cribado. Como se observa en la Figura 1, se excluyeron

252 registros tras la revisión de título y resumen, se evaluaron 173 documentos en texto completo para determinar su elegibilidad y, finalmente, 54 estudios cumplieron con los criterios de inclusión para el análisis final.

Figura 1. Diagrama de flujo de selección de estudios según protocolo PRISMA 2020



Fuente: adaptado de Bazán Linares et al. (2023).

Adicionalmente, por medio de la herramienta Rayyan, el proceso de cribado se realizó en 15 sesiones que acumularon más de 6 horas de análisis. Este proceso fue supervisado por dos revisores independientes, alcanzando un 87 % de concordancia entre las decisiones de inclusión o exclusión. Los casos de desacuerdo (13 %) fueron resueltos mediante discusión conjunta hasta alcanzar consenso.

Fase hermenéutica

Se analizaron 54 artículos utilizando la hoja de cálculo Excel diseñada para clasificar la información principal como autor, año, idioma y enfoque metodológico. El 90 % de los estudios estaban en inglés y 10 % en español, todos con acceso abierto e Identificador de Objeto Digital (DOI, por sus siglas en inglés). Los temas más comunes fueron el uso de IAG en tecnología, ética y sostenibilidad, lo cual permitió identificar tendencias, enfoques y vacíos en el estudio actual. Desde esta óptica, se plantearon

las siguientes preguntas de investigación: ¿cuáles son los conceptos relevantes relacionados con la IAG?; ¿con qué metodologías se indaga la ética y la sostenibilidad de la IAG?; ¿cuáles son los impactos éticos y las alternativas de minimización desde la ingeniería?; ¿cuáles son los impactos sociales, ambientales y alternativas de mitigación?

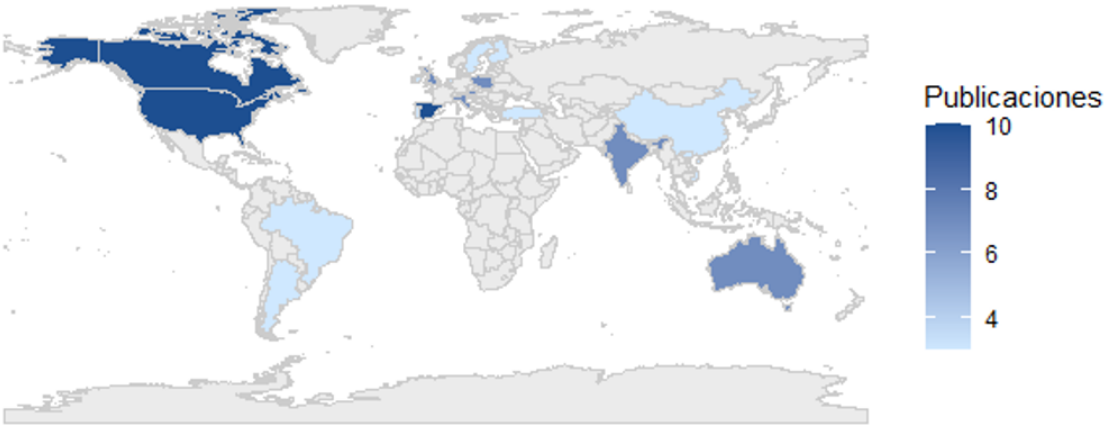
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión sistemática de los 54 artículos publicados entre 2021 y 2025 permitió responder a las cuatro preguntas de investigación planteadas, revelando hallazgos significativos sobre los impactos multidimensionales de la IAG en ingeniería. Los resultados más relevantes evidencian que el campo está dominado por las investigaciones en países desarrollados (España, Estados Unidos y Canadá); las metodologías predominantes son teóricas y sistemáticas, con escasa validación empírica; existen preocupaciones éticas centradas en sesgo algorítmico, transparencia y responsabilidad; y los impactos ambientales derivados del consumo energético permanecen insuficientemente abordados.

Distribución geográfica de la investigación sobre IAG

En las Figuras 2 y 3, de acuerdo con la información seleccionada y analizada, se consideró pertinente presentar inicialmente la distribución geográfica de las publicaciones para contextualizar el origen de la evidencia analizada. El análisis bibliométrico reveló patrones claros de concentración geográfica en la producción científica sobre la IAG en ingeniería.

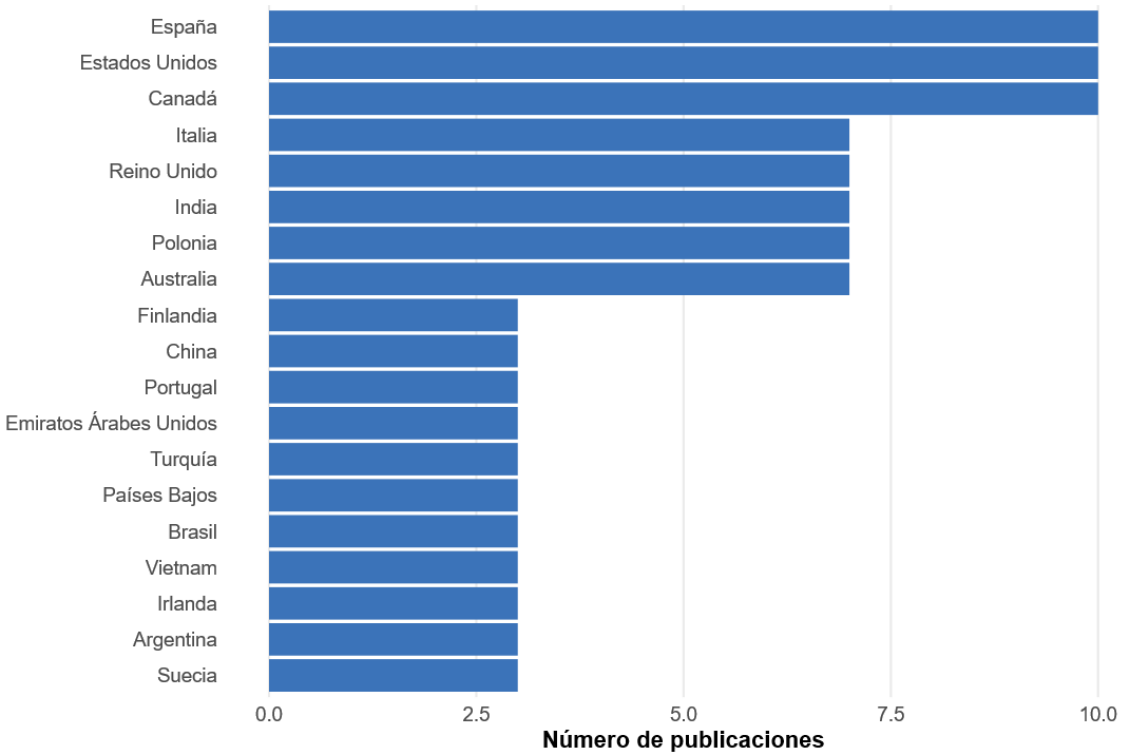
Figura 2. Distribución geográfica de publicaciones sobre IAG en ingeniería



Fuente: elaboración propia, a partir del proceso bibliométrico en Bibliometrix (2025).

Nota. El mapa muestra la distribución de las publicaciones analizadas por país de origen. La intensidad del color representa el número de publicaciones.

Figura 3. Número de publicaciones por país



Fuente: elaboración propia, a partir del proceso bibliométrico en Bibliometrix (2025).

Nota. Debido a la existencia de coautorías internacionales, un mismo artículo puede estar afiliado a más de un país. En consecuencia, la suma de las publicaciones por país supera el número total de estudios incluidos en la revisión.

Según la indagación, se identificó que los países con mayor número de publicaciones en temáticas relacionadas con los impactos éticos, sociales y ambientales de la IAG son España, Estados Unidos y Canadá, con un total de 10 publicaciones cada uno que conjuntamente representan más del 55 % de la producción científica analizada. Al respecto, se encontró un alto interés investigativo por esta temática en países como Italia, Reino Unido, India, Polonia y Australia, cada uno con 7 publicaciones.

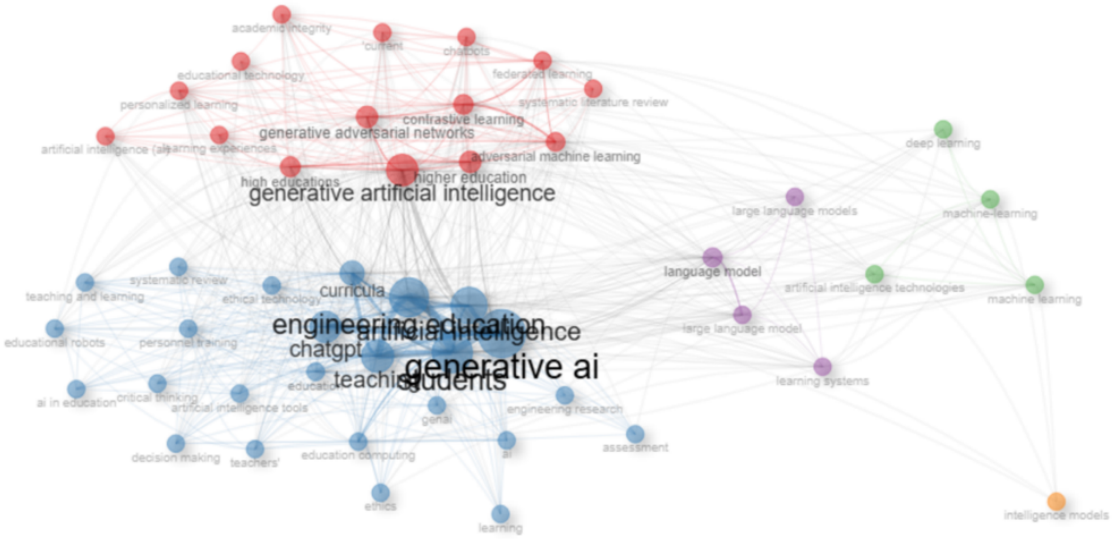
Esta concentración geográfica en países desarrollados sugiere posibles sesgos en la literatura académica sobre la IAG, donde las perspectivas del sur global y las economías emergentes permanecen subrepresentadas. En consecuencia, al verificar esta distribución asimétrica, surgen interrogantes respecto de la universalidad de las conclusiones y la aplicabilidad de los marcos éticos y regulatorios en contextos socioeconómicos, culturales y tecnológicos diversos. Así, las investigaciones anglófonas y europeas predominantes pueden no asimilarse ni aplicarse a los desafíos específicos que enfrentan regiones con diferentes realidades en cuanto a prioridades de desarrollo, capacidad tecnológica y marcos normativos.

Lo resaltable, sin embargo, es que esta temática resulta actual y transversal y tiene un alto interés global, en tanto se constata que las publicaciones presentadas provienen de países de diversos continentes —Europa, América, Asia y Oceanía—. Tal diversidad geográfica, aunque limitada, da cuenta del reconocimiento de IAG como una tecnología disruptiva que requiere análisis multidimensionales desde perspectivas éticas, sociales y ambientales. A continuación, se discuten estos hallazgos en relación directa con cada pregunta de investigación planteada.

¿Cuáles son los conceptos relevantes relacionados con la IAG?

En el mapa de coocurrencia de términos (Figura 4) se observa que los más frecuentemente asociados con IAG en ingeniería son *students*, *engineering education*, *artificial intelligence*, *ethics* y *critical thinking*; términos que indican una marcada orientación educativa y ética en la investigación actual. En esta configuración conceptual, se diferencian con claridad cuatro clústeres temáticos: educación en ingeniería y ética (azul), IA avanzada (rojo), *machine learning* y *deep learning* (verde) y modelos de lenguaje y aprendizaje automático (morado).

Figura 4. Mapa de red de coocurrencia de términos clave en literatura sobre IAG en ingeniería



Fuente: elaboración propia con metadatos de Bibliometrix (2025).

Nota. El tamaño de los nodos representa la frecuencia de aparición de los términos, mientras que las conexiones indican coocurrencia en los mismos documentos. Los colores agrupan términos temáticamente relacionados.

Este hallazgo coincide con Cañavate et al. (2025) en verificar las preocupaciones éticas y educativas predominantes en el discurso académico actual y contrasta parcialmente con el reporte de Mikołajewska et al. (2025), en el que se priorizan las aplicaciones industriales de la IAG en diseño, simulación y automatización. La disparidad entre el potencial técnico-industrial (Byrne et al., 2025) y el enfoque

educativo-ético de la literatura indican que hay un desarrollo asimétrico, en tanto la academia asume un papel predominantemente reflexivo mientras la industria avanza en implementaciones prácticas.

A partir de la agrupación temática identificada, se evidencia la naturaleza interdisciplinaria de la IAG, pero también una fragmentación conceptual (Heilala et al., 2025). Aún no hay un marco conceptual unificado que integre las dimensiones técnicas, éticas y sociales de la IAG, lo que dificulta el desarrollo de políticas coherentes y estrategias de implementación sistemáticas. Es necesaria una mayor integración conceptual para que los ingenieros puedan desarrollar simultáneamente una comprensión holística de la IAG como tecnología, herramienta educativa y fenómeno social.

¿Con qué metodologías se indaga la ética y la sostenibilidad de la IAG?

El análisis metodológico mostró que la disciplina todavía está en una etapa de desarrollo conceptual previo a su implementación práctica (Leão et al., 2024), ya que su quehacer se distingue, sobre todo, por las revisiones sistemáticas de la literatura y los enfoques teóricos. Aunque esto pueda entenderse, considerando que su objeto de estudio es una tecnología nueva, tal sesgo metodológico genera incertidumbre sobre la validez externa de los hallazgos y la capacidad de sugerir prácticas fundamentadas en evidencia empírica.

A pesar de ser aún insuficientes, los estudios empíricos identificados son útiles. Por ejemplo, la comparación sistemática de distintos *chatbots* (ChatGPT, Bing, Bard), realizada por Akpan et al. (2025) y Naser et al. (2024), evidencia diferencias técnicas y restricciones cognitivas que impactan su eficacia en contextos laborales y educacionales. Por otro lado, Taktak (2025) implementó laboratorios remotos que incorporaban IAG para fomentar la innovación educativa. Estos estudios demuestran que es posible medir sistemáticamente el desempeño de las herramientas de IAG en situaciones cotidianas, lo cual brinda información valiosa para los ingenieros y los educadores.

En una revisión sistemática de Padovano y Cardamone (2024) fue empleado el método Delphi para adecuar la enseñanza de ingeniería a los requerimientos de la Industria 5.0, lo cual ofreció un enfoque laboral especialmente alentador. Con este método participativo, los expertos pueden llegar a acuerdos sobre temas controversiales o emergentes, superando las limitaciones de las revisiones meramente documentales. Por otra parte, se observa que es muy limitada, casi nula, la investigación sobre los efectos causales de la IAG en variables específicas como el desarrollo de habilidades técnicas, el rendimiento académico o la eficacia de los procesos de diseño técnico.

Ante el predominio de los métodos teóricos, surge la necesidad apremiante de formar ingenieros con pensamiento crítico y capaces de tratar temas éticos en ámbitos como la industria, la educación o el manejo social. Sin embargo, es fundamental que este énfasis se equilibre con una investigación empírica rigurosa que confirme o rechace nuevas afirmaciones teóricas. Como sugieren Saihi et al. (2024), son prioritarios los diseños mixtos que combinen la profundidad conceptual de los enfoques cualitativos con la validez externa de los métodos cuantitativos.

¿Cuáles son los impactos éticos y las alternativas de minimización desde la ingeniería?

Los resultados de este estudio confirmaron que los desafíos éticos de la IAG —transparencia, sesgo algorítmico, responsabilidad y protección de datos— son ampliamente reconocidos en la literatura (Johri et al., 2023; Stahl & Eke, 2024). La Figura 5 sintetiza estos impactos éticos y las estrategias de mitigación, evidenciando una estructura conceptual que va desde el reconocimiento de problemas hasta la propuesta de soluciones sistémicas.

Figura 5. Impactos éticos de la IAG y alternativas de minimización desde la ingeniería



Fuente: elaboración propia.

Es pertinente resaltar la existencia de una brecha crítica entre los muchos marcos éticos propuestos y su implementación institucional efectiva; no hay un vínculo entre las recomendaciones éticas y el sistema regulatorio. Por tal motivo, las iniciativas como el enfoque de ingeniería de KI (Pfrommer et al., 2022) o los planes para recomendar sistemas con principios éticos aún no están claramente implementadas por políticas institucionales específicas que sean medibles y replicables en contextos reales (Bertossi et al., 2024). Como lo demuestran Lupo (2023) y Yoo y Jo (2023), este desfase representa uno de los hallazgos más problemáticos.

Si bien en varios estudios se proponen principios éticos —integridad académica (Gallent-Torres et al., 2023), supervisión humana (More, 2024), diseño responsable (Bucolo et al., 2022)—, pocos están documentados con mecanismos concretos de implementación, evaluación y rendición de cuentas. Es notorio el contraste con disciplinas como la biotecnología o la ingeniería nuclear, en las que décadas de desarrollo han dado como resultado protocolos de ética operativa y marcos regulatorios específicos. A lo anterior se suman las limitaciones en el marco regulatorio y la ausencia de una política clara

que regule el uso de IAG en ingeniería, particularmente en contextos educativos, industriales y gubernamentales (White & Lidskog, 2022).

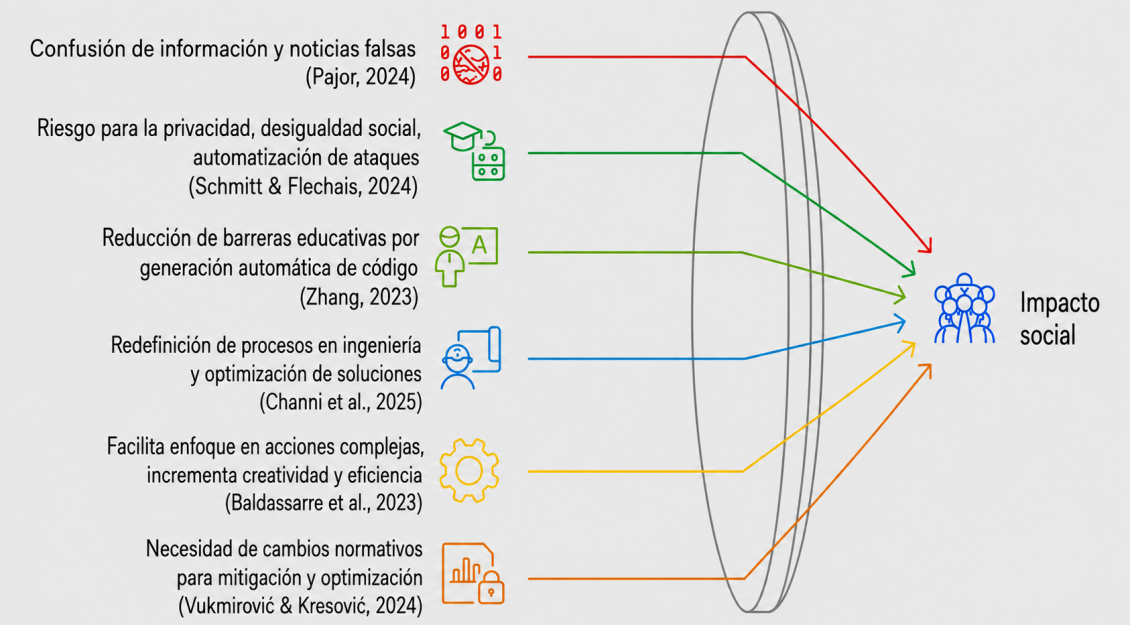
Sin embargo, hay propuestas prometedoras que propician una regulación más inclusiva y legítima al fomentar la creación de estándares éticos que involucren a usuarios finales como estudiantes, docentes o comunidades locales (Akpan et al., 2025; Cutillas, 2025; Liu, 2025). Asimismo, la integración de la responsabilidad social desde las primeras etapas del diseño tecnológico (Assadi et al., 2022; Vistorte et al., 2024) es una propuesta conceptual que sería importante concretar en métodos de ingeniería. Por su parte, el método SQUARE implementado en barcos autónomos (Yoo & Jo, 2023) es un ejemplo de que es posible perfeccionar sistemáticamente los requisitos de ciberseguridad, evitando ataques relacionados con el uso de IAG.

Para lograr la mejoría en la relación teórica-práctica de la IAG es necesario incluir modelos de negociación especializados, como BioinspiredLLM (Luu & Buehler, 2024), que integren consideraciones éticas desde su estructura esencial. En la discusión actual respecto del balance entre la autonomía humana y la automatización, algunos autores destacan la importancia de la IAG (Kuhail et al., 2024), mientras que otros advierten sobre los riesgos de depender demasiado de la tecnología (Lönngren, 2021; Tepsa et al., 2024). El dilema que plantea la disputa se concreta en cuestionarse ¿cómo aprovechar las oportunidades que ofrece la IAG sin poner en riesgo el pensamiento crítico y la autonomía profesional? En este sentido, son relevantes los saberes metacognitivos que capacitan a los especialistas para emplear la IAG como una herramienta de evaluación de ingeniería adicional, no como un sustituto en la formación de ingeniería.

¿Cuáles son los impactos socioambientales y las alternativas de mitigación?

El análisis mostró diversos efectos ambientales y sociales diferenciados que necesitan tácticas de gestión particulares. La Figura 6 sintetiza los efectos sociales que se han detectado y pone de relieve las oportunidades y los riesgos que supone la implementación de IAG en un entorno ingenieril. Los impactos sociales incluyen el avance de las competencias digitales, la colaboración entre disciplinas y la mejora en la personalización del aprendizaje, y los riesgos de perder habilidades esenciales, volverse digitalmente excluido o depender de la tecnología.

Figura 6. Impactos sociales de la IAG en ingeniería



Fuente: elaboración propia.

Los resultados mostraron el efecto social positivo de la IAG, ya que personaliza el aprendizaje para que los alumnos tengan acceso a contenidos y recursos que se ajusten a su ritmo y necesidades. Asimismo, la IAG puede fomentar la cooperación entre disciplinas y el desarrollo de competencias digitales avanzadas, que son fundamentales para afrontar los retos de la Industria 5.0. Puede, además, emplear la experiencia ampliada en procesos creativos para innovar productos, sobre todo en un contexto industrial que implementa los principios de la Industria 5.0 (Grech et al., 2023). Esto implica comprender las ventajas de estas tecnologías, así como sus efectos sobre el medio ambiente, lo social y lo ético (Pajor, 2024; Schmitt & Flechais, 2024).

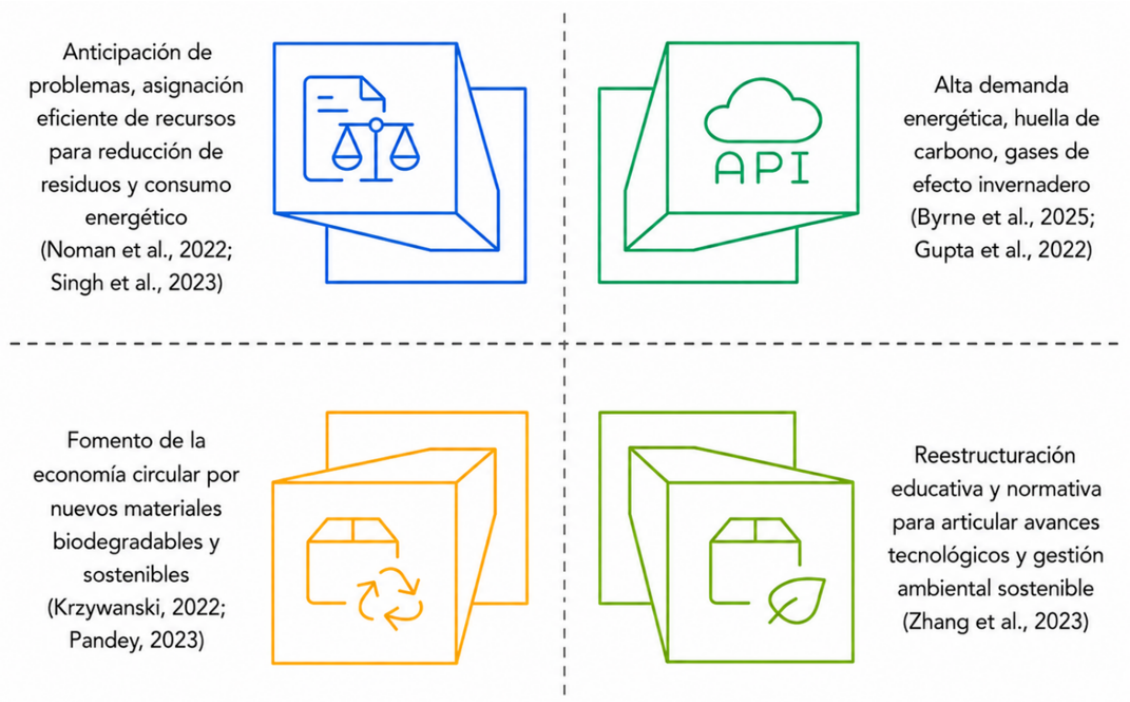
Es necesario reconocer, en todo caso, que a la par de estos potenciales beneficios se presentan riesgos confirmados de dependencia tecnológica, exclusión digital y pérdida de habilidades fundamentales. El efecto social de la IAG, como indica esta ambivalencia, cambia según el contexto y requiere una gestión activa en vez de una aceptación acrítica. La exactitud de la IAG (Kuhail et al., 2024) se puede conservar por medio de la validación humana, crucial para mejorar la calidad informativa y disminuir los sesgos automatizados que perjudican el aprendizaje.

Al respecto, en las investigaciones sobre el procesamiento del lenguaje natural y la aplicación eficaz de *chatbots* como DCHATBOT se señala la necesidad de la evaluación genuina, el involucramiento de los docentes y el uso consciente de las herramientas de IAG. De esta forma, la tecnología es una herramienta al tiempo que un fenómeno cultural que está enmarcado (Alves et al., 2025; Liu, 2025). Se torna relevante, entonces, una aplicación equilibrada de avance tecnológico con la inspección y validación humana para prevenir fallos automatizados. Además, es necesario fomentar el pensamiento

crítico y las competencias digitales de los estudiantes y docentes para beneficiarse en la mayor medida posible de las oportunidades que brinda la IAG sin convertirse en dependientes de la tecnología.

En relación con los efectos ambientales, la Figura 7 sintetiza los problemas ecológicos más relevantes relacionados con la IAG y las tácticas de mitigación que se han señalado en la literatura. Los impactos ambientales incluyen alto consumo energético en entrenamiento de modelos, emisiones de carbono asociadas, y generación de residuos electrónicos. Las estrategias de mitigación incorporan eficiencia computacional, uso de energías renovables, y evaluaciones de ciclo de vida.

Figura 7. Impactos ambientales de la IAG y estrategias de mitigación



Fuente: elaboración propia.

Algo que preocupa bastante es que en la literatura sobre ingeniería no se le está prestando suficiente atención a los impactos ambientales de la IAG. Aunque hay estudios como el de Gupta et al. (2022) que muestran que entrenar estos modelos generativos deja una huella de carbono importante, son muy pocos los trabajos que realmente proponen estrategias concretas desde la ingeniería para reducir este problema. Esto no tiene sentido cuando muchas instituciones dicen que siguen los principios de ingeniería sostenible y los objetivos de desarrollo sostenible.

Sin embargo, este estudio muestra que la IAG podría convertirse en una herramienta muy importante para la sostenibilidad, siempre y cuando se combine con una buena educación y con las estructuras éticas y técnicas que se necesitan. El mantenimiento predictivo con IA, por ejemplo, se está implementando en la industria energética con mejoras tanto en la eficiencia como en el uso específico y sostenible (Hernandez-Betancur et al., 2022; Mikołajewska et al., 2025; Noman et al., 2022; Yahaya

et al., 2023). No obstante, las aplicaciones de IAG que contribuyen positivamente a la sostenibilidad son todavía excepciones.

No hay una perspectiva sistémica que conciba a la IAG como un instrumento con potencial para la sostenibilidad y una fuente importante de impacto medioambiental. En este sentido, es imperativo que la ingeniería desarrolle indicadores de evaluación que incluyan tanto las ventajas como los gastos medioambientales del ciclo de vida total de sistemas de IAG. Como proponen Lesage et al. (2024), se requiere incorporar evaluaciones ambientales reales en el desarrollo de IAG. Igualmente, es necesario implementar estándares de ingeniería específicos, comparables a los desarrollados en ingeniería química o de procesos, para cuantificar y reducir el impacto ambiental de la IAG.

La ingeniería está llamada a promover la confiabilidad y la sostenibilidad como las prácticas de ciberseguridad más importantes (Mustapha, 2025), con las cuales se potencia la seguridad técnica de los sistemas y se reducen los riesgos operativos a largo plazo. Disciplinas como KI-Engineering (Pfrommer et al., 2022) tienen reconocida eficiencia, principalmente en la estructuración de los procesos y los estándares técnicos y principios éticos necesarios para integrar IAG en las instituciones. Los desarrollos tecnológicos deben alinearse con las regulaciones internacionales, como las normas ISO, para cumplir con las directrices de gestión sustentable que propicien su uso responsable y confiable.

La literatura científica coincide en que la innovación disruptiva se debe armonizar con los marcos éticos y regulatorios que garantizan su implementación segura y, en general, con valores humanos para que la IAG promueva un cambio ético, sostenible e inclusivo (Nelke et al., 2024). En esta visión integrada, además de asumir un papel protagonista en el desarrollo técnico de los sistemas de IAG, los ingenieros deben formular marcos regulatorios, estándares ambientales y modelos educativos que garanticen que estas tecnologías hagan una contribución real al bienestar humano y a la sostenibilidad del planeta.

Otros trabajos profundizan en el impacto social, formativo y regulatorio de la IAG y tecnologías afines, aportando matices sobre su potencial y sus riesgos en distintos contextos ingenieriles y educativos (Baldassarre et al., 2023; Bazán Linares, 2023; Binani, 2022; Channi et al., 2025; Cutillas, 2025; Dinh & Tran, 2023; Hayes et al., 2022; Krzywanski, 2022; Onatayo et al., 2024; Pandey, 2023; Prather et al., 2025; Singh et al., 2023; Stranieri & Zhaohao, 2022; Tafferner et al., 2023; Vieweg, 2021; Vukmirović & Kresović, 2024; Zhang et al., 2023; Zhang, 2023).

Limitaciones del estudio y futuras investigaciones

Para contextualizar con rigor los hallazgos de esta revisión sistemática es necesario reconocer sus limitaciones. Primero, la exclusión de investigaciones relevantes publicadas en idiomas distintos al inglés y el español y la restricción a una base de datos (Scopus). En segundo lugar, la posible obsolescencia de los resultados, que puede darse pronto, pues el periodo de análisis (2021-2025) abarca una tecnología que se encuentra en una rápida evolución. En tercer lugar, la capacidad limitada de las conclusiones sobre la eficacia práctica de intervenciones concretas, debida al predominio de investigaciones teóricas en la bibliografía revisada. En cuarto lugar, el nivel de concordancia entre

revisores del 87 % implica que un 13 % de decisiones requirió discusión adicional, por lo que puede haber cierto grado de subjetividad en la selección final de estudios.

En las investigaciones futuras es recomendable que se le dé prevalencia a: (1) estudios longitudinales empíricos que evalúen el efecto de la IAG en el mundo real, abarcando la educación y la práctica profesional de ingeniería; (2) el desarrollo y validación de marcos regulatorios específicos para la IAG en ingeniería, con mecanismos para asumir responsabilidades por el desempeño; (3) investigaciones interdisciplinarias que integren perspectivas técnicas, éticas, sociales y ambientales; (4) análisis comparativos entre diferentes contextos culturales y geográficos para identificar elementos que faciliten o dificulten una implementación responsable de la IAG; y (5) investigaciones integrales sobre el ciclo completo de vida ambiental de los sistemas de IAG, generando tácticas específicas de mitigación ingenieril.

Asimismo, es fundamental analizar modelos de administración participativa que incluyan a los usuarios finales (comunidades afectadas, ingenieros en activo y estudiantes) en la configuración de sistemas de IAG. Finalmente, en la educación ingenieril actual son imprescindibles la promoción de habilidades rápidas de ingeniería (Gibreel & Arpaci, 2025) y la alfabetización crítica en IAG, para propiciar que las generaciones futuras de ingenieros utilicen estas tecnologías de manera eficaz y las desarrollen y gestionen con responsabilidad.

CONCLUSIONES

La investigación, que se basa en los últimos hallazgos científicos entre 2021 y 2025, permitió el análisis sistemático de las dimensiones sociales, éticas y medioambientales relacionadas con la implementación de la IAG en la ingeniería. Los resultados evidencian que las oportunidades importantes que ofrece la IAG para la innovación y la sostenibilidad se enfrentan a los retos institucionales y regulatorios para su desarrollo y a los relacionados con la ingeniería estructural.

En ingeniería, los enfoques de la IAG son preponderantemente educativos y éticos, debido a que las aplicaciones industriales directas reciben menos atención. Las cuestiones centrales en las investigaciones son el desarrollo del pensamiento crítico, la educación de los estudiantes y las consideraciones éticas; cuestiones que podrían dividirse, a su vez, en cuatro áreas temáticas principales: aprendizaje profundo automatizado, modelos de lenguaje, IA avanzada y ética e ingeniería.

La mayoría de las metodologías empleadas en el estudio de la sostenibilidad y la ética de IAG son sistemáticas y teóricas, con escasa investigación empírica. Se observan, en este campo, análisis conceptuales, revisiones de la literatura y estudios cualitativos, lo que señala que la disciplina está más enfocada en conceptualizar que en validar de manera práctica. Si bien hay progresos valiosos gracias a métodos como el Delphi y a ciertos estudios prácticos, ya sea con laboratorios a distancia o comparaciones de *chatbots*, estos no son suficientes para conformar una evidencia firme sobre la eficacia de intervenciones particulares.

Entre los impactos éticos de la IAG en el campo de la ingeniería están los sesgos algorítmicos, la falta de transparencia en los sistemas automatizados, los problemas de responsabilidad en decisiones

automatizadas y las amenazas a la protección de datos personales. Aunque las investigaciones han reconocido estos retos y, en consecuencia, han sugerido diversos marcos y principios éticos para enfrentarlos, hay una distancia significativa entre las proposiciones éticas declarativas y su implementación efectiva en las instituciones. No hay mecanismos operativos para la puesta en funcionamiento, evaluación y rendición de cuentas de la mayoría de las estrategias de mitigación detectadas (como la capacitación en pensamiento crítico, el monitoreo de personas, la planificación participativa y la incorporación de principios éticos desde los primeros momentos).

Las ventajas de la IAG en la sociedad, como personalizar el aprendizaje, colaborar entre disciplinas y desarrollar capacidades digitales, contrastan con los riesgos considerables que suponen depender tecnológicamente, ser excluidos digitalmente y perder habilidades esenciales. Estos impactos dependen del contexto y necesitan una gestión activa mediante la validación humana, la educación crítica y la evaluación continua. En cuanto a los efectos ambientales, no ha habido un tratamiento adecuado en los textos técnicos acerca de asuntos como la producción de residuos electrónicos vinculados con la infraestructura de la IAG, el consumo elevado de energía y las emisiones de carbono que se producen al entrenar modelos.

Finalmente, la IAG es al mismo tiempo una oportunidad transformadora para la ingeniería contemporánea y un reto complejo. La integración responsable debe superar la diferencia entre los principios éticos declarativos y las prácticas institucionales reales, pasar de los enfoques teóricos a una validación empírica sistemática, desarrollar marcos regulatorios operativos con mecanismos de rendición de cuentas e incorporar evaluaciones ambientales rigurosas como un componente esencial del progreso tecnológico. Es crucial la capacitación de ingenieros competentes en lo técnico y con pensamiento ético, para asegurar que la IAG contribuya efectivamente al desarrollo inclusivo y sostenible.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés financiero, personal o profesional que pueda influir indebidamente en las conclusiones o en la interpretación expuesta en este manuscrito.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Los autores participaron de manera equitativa en todas las etapas del trabajo, incluidas la conceptualización de la investigación, el diseño metodológico, la búsqueda y el análisis de datos, la síntesis de los resultados, la discusión, la redacción del manuscrito, su revisión y su aprobación final. No se incluyó como autora a ninguna persona que no cumpliera los criterios de contribución sustancial, con lo cual se evitaron la autoría por cortesía y la autoría fantasma.

DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores utilizaron herramientas de IAG, específicamente ChatGPT (OpenAI), Claude (Anthropic) y Perplexity AI, y la plataforma Rayyan solo como soporte técnico durante el desarrollo del manuscrito. Se utilizó ChatGPT y Claude para la corrección y adaptación de estilo, comprobando la coherencia de la argumentación, el apoyo en la organización del contenido y la clarificación conceptual. Perplexity AI se utilizó como herramienta de apoyo para la investigación inicial y el contraste de la literatura académica. Rayyan fue utilizado para apoyar el proceso de selección y la organización del estudio durante la revisión sistemática de la literatura según el protocolo PRISMA. La IAG y las herramientas de soporte digital no generaron los datos, los resultados de la investigación ni el contenido científico original, ni reemplazaron el análisis crítico de los autores. Todos los resultados fueron revisados, editados y aprobados manualmente por los autores, quienes asumen total responsabilidad por el contenido del manuscrito.

REFERENCIAS

Akpan, I. J., Kobara, Y. M., Owolabi, J., Akpan, A. A., & Offodile, O. F. (2025). Conversational and generative artificial intelligence and human–chatbot interaction in education and research. *International Transactions in Operational Research*, *32*(3), 1251-1281. https://doi.org/10.1111/itor.13522

Alves, J. L., Palha, R. P., & de Almeida Filho, A. T. (2025). Towards an integrative framework for BIM and artificial intelligence capabilities in smart architecture, engineering, construction, and operations projects. *Automation in Construction*, *174*, art. 106168. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106168

Assadi, A., Laussen, P. C., Goodwin, A. J., Goodfellow, S., Dixon, W., Greer, R. W., Jegatheeswaran, A., Singh, D., McCradden, M., Gallant, S. N., Goldenberg, A., Eytan, D., & Mazwi, M. L. (2022). An integration engineering framework for machine learning in healthcare. *Frontiers in Digital Health*, *4*, art. 932411. https://doi.org/10.3389/fdgth.2022.932411

Baldassarre, M. T., Caivano, D., Fernandez Nieto, B., Gigante, D., & Ragone, A. (2023). The Social Impact of Generative AI: An Analysis on ChatGPT. En *GoodIT '23: Proceedings of the 2023 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAccT '23)* (pp. 363-373). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3582515.3609555

Bazán Linares, M. V., Peralta-Roncal, L. E., Gaona Portal, M. del P., & Luna Acuña, M. L. (2023). Instrumentos de evaluación en la formación de competencias profesionales de estudiantes universitarios. *Chakiñan, Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, (22), 69-84. https://doi.org/10.37135/chk.002.22.04

Bertossi, V. I., Romero, L., & Gutiérrez, M. de los M. (2024). Sistemas recomendadores para el desarrollo de objetos de aprendizaje para educación en ingenierías: una revisión sistemática. *Revista de Educación a Distancia*, *24*(77), art. 4. https://doi.org/10.6018/red.572291

Bibliometrix. (2025). *The Complete Science Mapping Platform*. https://www.bibliometrix.org/

Binani, S. (2022). Ethical Preparedness, Self-Efficacy and Challenges in Engineering Education – A Quantitative Study. *Journal of Engineering Education Transformations*, *35*(Special issue), 338-344. https://www.researchgate.net/publication/362918278_Ethical_Preparedness_Self-Efficacy_and_Challenges_in_Engineering_Education_-_A_Quantitative_Study

Bucolo, M., Bucolo, G., Buscarino, A., Fiumara, A., Fortuna, L., & Gagliano, S. (2022). Remote Ultrasound Scan Procedures with Medical Robots: Towards New Perspectives between Medicine and Engineering. *Applied Bionics and Biomechanics*, art. 1072642. https://doi.org/10.1155/2022/1072642

Byrne, D., Hargaden, V., & Papakostas, N. (2025). Application of generative AI technologies to engineering design. *Procedia Computer Science*, *132*(4), 147-152. https://doi.org/10.1016/j.procir.2025.01.025

Cañavate, J., Martínez-Marroquín, E., & Colom, X. (2025). Engineering a sustainable future through the integration of generative AI in engineering education. *Sustainability*, *17*(7), art. 3201. https://doi.org/10.3390/su17073201

Channi, H. K., Kaur, A., & Kaur, S. (2025). AI-Driven Generative Design Redefines the Engineering Process. En P. R. Chelliah, P. K. Dutta, A. Kumar, E. D. R. S. Gonzalez, M. Mittal & S. Gupta (Eds.), *Generative Artificial Intelligence in Finance: Large Language Models, Interfaces, and Industry Use Cases* (pp. 327-359). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781394271078.ch17

Cutillas, A. L. (2025). Generative AI as a catalyst for instruction in higher education: A study on relevance and effectiveness. *Educación, Sociedad y Pedagogía*, *10*(4), 1-18. https://doi.org/10.59429/esp.v10i4.3185

Dinh, H., & Tran, T. K. (2023). EduChat: An AI-Based Chatbot for University-Related Information Using a Hybrid Approach. *Applied Sciences*, *13*(22), art. 12446. https://doi.org/10.3390/app132212446

Gallent-Torres, C., Zapata-González, A., & Ortego-Hernando, J. L. (2023). El impacto de la inteligencia artificial generativa en educación superior: Una mirada desde la ética y la integridad académica. *Relieve. Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, *29*(2), 1-21. https://doi.org/10.30827/relieve.v29i2.29134

Gibreel, O., & Arpaci, I. (2025). Development and validation of the prompt engineering competence scale (PECS). *Information Development*. https://doi.org/10.1177/02666669251336455

Grech, A., Mehnen, J., & Wodehouse, A. (2023). An extended AI-experience: Industry 5.0 in creative product innovation. *Sensors*, *23*(6), art. 3009. https://doi.org/10.3390/s23063009

Gupta, U., Kim, Y. G., Lee, S., Tse, J. P., Lee, H.-H. S., Wei, G.-Y., Brooks, D., & Wu, C.-J. (2022). Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing. *IEEE Micro*, *42*(4), 60-69. https://doi.org/10.1109/MM.2022.3163226

Hayes, P. R., van de Poel, I., & Steen, M. (2022). Moral transparency of and concerning algorithmic tools. *AI and Ethics*, *3*(1), 585-600. https://doi.org/10.1007/s43681-022-00190-4

Heilala, V., Araya, R., & Hämäläinen, R. (2025). Beyond text-to-text: An overview of multimodal and generative artificial intelligence for education using topic modeling. En *Proceedings of the 2025 ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 54-63). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3672608.3707764

Hernandez-Betancur, J. D., Martín, M., & Ruiz-Mercado, G. J. (2022). A data engineering approach for sustainable chemical end-of-life management. *Resources, Conservation and Recycling*, *178*(20), art. 106040. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106040

Honig, C., Rios, S., & Desu, A. (2025). Generative AI in engineering education: Understanding acceptance and use of new GPT teaching tools within a UTAUT framework. *Australasian Journal of Engineering Education*, *30*(1), 1-13. https://doi.org/10.1080/22054952.2025.2467500

Johri, A., Lindsay, E., & Qadir, J. (2023). *Ethical Concerns and Responsible Use of Generative Artificial Intelligence in Engineering Education*. European Society for Engineering Education (SEFI). https://doi.org/10.21427/0T6R-FZ62

Krzywanski, J. (2022). Advanced AI Applications in Energy and Environmental Engineering Systems. *Energies*, *15*(15), art. 5621. https://doi.org/10.3390/en15155621

Kuhail, M. A., Berengueres, J., Taher, F., Khan, S. Z., & Siddiqui, A. (2024). Designing a Haptic Boot for Space with Prompt Engineering: Process, Insights, and Implications. *IEEE Access*, *12*, 134235-134255. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3449396

Leão, C. P., Silva, V., & Costa, S. (2024). Exploring the Intersection of Ergonomics, Design Thinking, and AI/ML in Design Innovation. *Applied System Innovation*, *7*(4), art. 65. https://doi.org/10.3390/asi7040065

Lesage, J., Brennan, R., Eaton, S. E., Moya, B., McDermott, B., Wiens, J., & Herrero, K. (2024). Exploring natural language processing in mechanical engineering education: Implications for academic integrity. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, *52*(1), 88-105. https://doi.org/10.1177/03064190231166665

Liu, Z. L. (2025). Generative AI and Mobile Learning in Higher Education: Comparing Student and Faculty Perspectives on Employability Impact. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *19*(1), 34-45. https://doi.org/10.3991/ijim.v19i01.51325

Lönngren, J. (2021). Exploring the discursive construction of ethics in an introductory engineering course. *Journal of Engineering Education*, *110*(1), 44-69. https://doi.org/10.1002/jee.20367

Lupo, G. (2023). Risky Artificial Intelligence: The Role of Incidents in the Path to AI Regulation. *Law, Technology and Humans*, *5*(1), 133-152. https://doi.org/10.5204/lthj.2682

Luu, R. K., & Buehler, M. J. (2024). BioinspiredLLM: Conversational Large Language Model for the Mechanics of Biological and Bio-Inspired Materials. *Advanced Science*, *11*(10), art. 2306724. https://doi.org/10.1002/advs.202306724

Mikołajewska, E., Mikołajewski, D., Mikołajczyk, T., & Paczkowski, T. (2025). Generative AI in AI-Based Digital Twins for Fault Diagnosis for Predictive Maintenance in Industry 4.0/5.0. *Applied Sciences*, *15*(6), art. 3166. https://doi.org/10.3390/app15063166

More, A. B. (2024). Generative AI: The Impact, Possibilities, and Difficulties. En J. Gomathi Sankar & A. David (Eds.), *Generative AI and Implications for Ethics, Security, and Data Management* (pp. 17-46). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-8557-9.ch002

Mustapha, K. B. (2025). A survey of emerging applications of large language models for problems in mechanics, product design, and manufacturing. *Advanced Engineering Informatics*, *64*(C), art. 103066. https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.103066

Naser, M. Z., AlOgla, S., Anand, N., Zhou, H., & Zhang, G. (2024). Conversing with AI chatbots: examining what OpenAI ChatGPT-4, Microsoft Bing Chatbot, and Google Bard know, think they know, do not know, and would like to know about engineering. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, *15*(4), 643-656. https://doi.org/10.1007/s43995-024-00074-0

Nelke, S. A., Kohen-Vacs, D., Khomyakov, M., Rosienkiewicz, M., Helman, J., Cholewa, M., Molasy, M., Górecka, A., Gómez-González, J.-F., Bourgain, M., Sagar, A., Berselli, G., & Blank, D. (2024). Enhancing Lessons on the Internet of Things in Science, Technology, Engineering, and Medical Education with a Remote Lab. *Sensors*, *24*(19), art. 6424. https://doi.org/10.3390/s24196424

Noman, A. A., Akter, U. H., Pranto, T. H., & Haque, A. B. (2022). Machine Learning and Artificial Intelligence in Circular Economy: A Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review. *Annals of Emerging Technologies in Computing*, *6*(2), 13-40. https://doi.org/10.33166/AETiC.2022.02.002

Onatayo, D., Onososen, A., Oyediran, A. O., Oyediran, H., Arowoiya, V., & Onatayo, E. (2024). Generative AI Applications in Architecture, Engineering, and Construction: Trends, Implications for Practice, Education & Imperatives for Upskilling—A Review. *Architecture*, *4*(4), 877-902. https://doi.org/10.3390/architecture4040046

Padovano, A., & Cardamone, M. (2024). Towards human–AI collaboration in the competency-based curriculum development process: The case of industrial engineering and management education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *7*(1), art. 100256. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100256

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, art. n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pajor, P. (2024). Inżynieria społeczna w czasach generatywnej sztucznej inteligencji [Social Engineering in the Age of Generative Artificial Intelligence]. *Media i Społeczeństwo*, *20*(1), 141-156. https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.6519

Pandey, A. K. (2023). Development and Deployment of Green Artificial Intelligence. *International Journal of Mathematics and Computer Research*, *11*(4), 20-27. https://doi.org/10.47191/ijmcr/v11i4.03

Pfrommer, J., Usländer, T., & Beyerer, J. (2022). KI-Engineering – AI Systems Engineering. *at – Automatisierungstechnik*, *70*(9), 756-766. https://doi.org/10.1515/auto-2022-0076

Prather, J., Leinonen, J., Kiesler, N., Gorson Benario, J., Lau, S., MacNeil, S., Norouzi, N., Opel, S., Pettit, V., Porter, L., Reeves, B. N., Savelka, J., Smith, D. H., Strickroth, S., & Zingaro, D. (2025). Beyond The Hype: A Comprehensive Review of Current Trends in Generative AI Research, Teaching Practices, and Tools. En *Proceedings of the 2025 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE '25)* (pp. 300-338). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3689187.3709614

Saihi, A., Ben-Daya, M., Hariga, M., & As'ad, R. (2024). A structural equation modeling analysis of generative AI chatbots adoption among students and educators in higher education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *7*(3), art. 100274. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100274

Schmitt, M., & Flechais, I. (2024). Digital deception: generative artificial intelligence in social engineering and phishing. *Artificial Intelligence Review*, *57*(12), art. 324. https://doi.org/10.1007/s10462-024-10973-2

Singh, A., Dwivedi, A., Agrawal, D., & Singh, D. M. (2023). Identifying issues in adoption of AI practices in construction supply chains: Towards managing sustainability. *Operations Management Research*, *16*(3–4), 1667-1683. https://doi.org/10.1007/s12063-022-00344-x

Stahl, B. C., & Eke, D. (2024). The ethics of ChatGPT – Exploring the ethical issues of an emerging technology. *International Journal of Information Management*, *74*(4), art. 102700. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102700

Stranieri, A., & Zhaohao, S. (2022). A Process-Oriented Framework for Regulating Artificial Intelligence Systems. En Z. Sun & Z. Wu (Eds.), *Handbook of Research on Foundations and Applications of Intelligent Business Analytics* (pp. 96-112). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-9016-4.ch005

Tafferner, Z., Balázs, I., Krammer, O., & Géczy, A. (2023). Can ChatGPT Help in Electronics Research and Development? A Case Study with Applied Sensors. *Sensors*, *23*(10), art. 4562. https://doi.org/10.3390/s23104879

Taktak, F. (2025). AI-Enhanced Geomatics Engineering: Innovative Solutions and Applications Using ChatGPT, an Advanced AI Language Model. *International Journal of Engineering and Geosciences*, *10*(1), 36-45. https://doi.org/10.26833/ijeg.1510209

Tepsa, T., Angelva, J., & Mielikäinen, M. (2024). ICT-Engineering Teachers' Experiences And Expectations With AI. En *SEFI 2024 – 52nd Annual Conference of the European Society for Engineering Education: Educating Responsible Engineers* (pp. 2258-2266). SEFI. https://doi.org/10.5281/zenodo.14256887

Vieweg, S. H. (2021). Ethical AI Implementation. En *AI for the Good. Management for Professionals* (pp. 227-251). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66913-3_11

Vistorte, A. O. R., Deroncele-Acosta, A., Ayala, J. L. M., Barrasa, A., López-Granero, C., & Martí-González, M. (2024). Integrating artificial intelligence to assess emotions in learning environments: A systematic literature review. *Frontiers in Psychology*, *15*, art. 1387089. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1387089

Vukmirović, D., & Kresović, D. (2024). The transformative potential of generative artificial intelligence. *Napredak*, *5*(2), 29-42. https://doi.org/10.5937/napredak5-52069

White, J. M., & Lidskog, R. (2022). Ignorance and the regulation of artificial intelligence. *Journal of Risk Research*, *25*(4), 488-500. https://doi.org/10.1080/13669877.2021.1957985

Yahaya, B. H., Ahmed, A. A., & Anikajogun, B. O. (2023). Economic Sustainability of Building and Construction Projects Based on Artificial Intelligence Techniques. *The Asian Review of Civil Engineering*, *12*(1), 34-40. https://doi.org/10.51983/tarce-2023.12.1.3677

Yoo, J., & Jo, Y. (2023). Formulating Cybersecurity Requirements for Autonomous Ships Using the SQUARE Methodology. *Sensors*, *23*(11), art. 5123. https://doi.org/10.3390/s23115033

Zhang, R., Xiong, K., Du, H., Niyato, D., Kang, J., Shen, X. S., & Poor, H. V. (2023). *Generative AI-enabled Vehicular Networks: Fundamentals, Framework, and Case Study*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11098

Zhang, Y. (2023). *Generative AI has lowered the barriers to computational social sciences*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.10833