

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DERECHO AMBIENTAL: UNA PERSPECTIVA BIBLIOMÉTRICA GLOBAL

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENVIRONMENTAL LAW: A GLOBAL BIBLIOMETRIC PERSPECTIVE

Artículo recibido el: 07/07/2025

Artículo aceptado el: 05/09/2025

**Vidnay Noel Valero-Ancco\***

\*Universidad Nacional del Altiplano [UNA],  
Puno, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7980-0339>

[vvalero@unap.edu.pe](mailto:vvalero@unap.edu.pe)

**Yolanda Lujano-Ortega\***

\*Universidad Nacional del Altiplano [UNA],  
Puno, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7178-3346>

[yujano@unap.edu.pe](mailto:yujano@unap.edu.pe)

**Sonia Agley Bustinza-Choquehuanca\***

\*Universidad Nacional del Altiplano [UNA],  
Puno, Perú

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2685-0543>

[sbustinza@unap.edu.pe](mailto:sbustinza@unap.edu.pe)

The authors declare that there is no conflict of interest

### Resumen

El uso de la inteligencia artificial (IA) en el Derecho ambiental ha emergido como una herramienta clave para modernizar la regulación y la gobernanza ecológica. Este estudio bibliométrico analiza la evolución, tendencias y vacíos en la producción científica sobre el uso de IA como instrumento regulatorio en contextos ambientales, a partir de 63 artículos indexados en Scopus entre 2016 y 2024. Se aplicó una estrategia de búsqueda avanzada y se utilizaron indicadores como volumen de publicaciones, países, instituciones, revistas, áreas temáticas y co-ocurrencia de palabras clave. El análisis reveló un crecimiento acelerado en los últimos años, con predominio de China y Estados Unidos. Las temáticas más abordadas giran en torno a la gobernanza algorítmica, el monitoreo ambiental automatizado y la gestión de la contaminación urbana. No obstante, se identifican vacíos importantes: escasa representación de estudios empíricos, concentración geográfica de la producción, y poca reflexión crítica sobre el impacto ambiental del desarrollo de la propia IA. Se concluye que, para avanzar hacia una regulación ambiental digital justa y sostenible, es necesario fortalecer los marcos normativos, ampliar la inclusión

### Abstract

*The use of artificial intelligence (AI) in environmental law has emerged as a key tool for modernizing regulation and ecological governance. This bibliometric study analyzes the evolution, trends, and gaps in the scientific literature on AI as a regulatory instrument in environmental contexts, based on 63 articles indexed in Scopus between 2016 and 2024. An advanced search strategy was applied, and key indicators were used, including publication volume, countries, institutions, journals, subject areas, and keyword co-occurrence. The analysis revealed an accelerated growth in recent years, with China and the United States leading the field. The most frequent topics relate to algorithmic governance, automated environmental monitoring, and urban pollution management. However, several gaps were identified: limited empirical studies, geographic concentration of research, and scarce critical reflection on the environmental impact of AI development itself. The study concludes that, in order to advance toward a fair and sustainable digital environmental regulation, it is necessary to strengthen legal frameworks, broaden regional inclusion, and promote interdisciplinary research.*



regional y fomentar investigaciones interdisciplinarias.

**Keywords:** *Artificial Intelligence. Environmental Law. Sustainable Governance. Environment.*

**Palabras clave:** Inteligencia Artificial. Derecho Ambiental. Gobernanza Sostenible. Medio Ambiente.

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso de la inteligencia artificial (IA) en el ámbito del Derecho ambiental se sustenta en la convergencia de tres pilares fundamentales: la sostenibilidad, la gobernanza algorítmica y la regulación adaptativa. En los últimos años, la IA ha sido reconocida como un catalizador para la transformación de la gobernanza ambiental, al permitir la automatización de procesos regulatorios, la optimización en la toma de decisiones y una gestión más eficiente de los recursos naturales (Khajeh y Nouhi, 2023; Wani et al., 2024). Esta capacidad tecnológica se articula con un creciente interés por modernizar los marcos normativos existentes, integrando herramientas inteligentes que faciliten el monitoreo ambiental, el cumplimiento normativo y la trazabilidad de los impactos ecológicos (Wu, 2023; Zhao y Fariñas, 2022).

Sin embargo, el potencial de la IA para fortalecer la regulación ambiental también plantea importantes desafíos éticos, normativos y epistemológicos. La implementación de sistemas de inteligencia artificial exige marcos regulatorios robustos que garanticen la transparencia, la rendición de cuentas y la equidad, evitando sesgos algorítmicos y promoviendo la protección de derechos fundamentales (Camilleri, 2024; Zhao y Gómez, 2023). En esta línea, la literatura reciente propone enfoques reguladores armonizados y basados en riesgos, capaces de adaptarse a la rápida evolución tecnológica y a la diversidad de aplicaciones de la IA en contextos ambientales complejos (Pagallo et al., 2022).

Diversos estudios han contribuido a delimitar las implicancias de esta convergencia. Pagallo et al. (2022) analizan los desafíos del *AI Act* de la Unión Europea, destacando la necesidad de transitar de marcos antropocéntricos hacia enfoques ontocéntricos en la legislación ambiental. Zhao y Gómez (2023), por su parte, proponen un marco proactivo para la regulación de la IA, centrado en la sostenibilidad y la justicia intergeneracional. En el ámbito latinoamericano, Tironi y Rivera (2023) examinan la implementación de sistemas eco-algorítmicos en Chile, mostrando tanto el potencial

transformador de la IA como las tensiones derivadas de la cuantificación de lo ambiental. Asimismo, se ha subrayado el papel de la IA en la promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en lo que respecta a la toma de decisiones basadas en evidencia y al fortalecimiento de la gobernanza ambiental (Vinuesa et al., 2020).

Pese a estos avances, la literatura especializada aún presenta importantes vacíos. En primer lugar, existe una limitada evaluación crítica sobre los impactos ambientales negativos derivados del propio desarrollo de la IA, como el alto consumo energético, la huella de carbono y las emisiones totales globales de gases de efecto invernadero (Camastra y González, 2025). En segundo lugar, la mayoría de los estudios se han centrado en marcos regulatorios europeos o norteamericanos, lo que deja de lado análisis comparativos o adaptativos en otras regiones del mundo, especialmente en el sur global (Huda et al., 2024; Pagallo, 2025). En tercer lugar, se advierte una escasez de investigaciones empíricas que midan la efectividad real de la IA como instrumento de apoyo regulatorio, tanto en términos de cumplimiento normativo como en su impacto sobre la equidad, la inclusión y la justicia ambiental (Niazi, 2025; Tironi y Rivera, 2023).

Estos vacíos justifican la pertinencia de realizar un estudio bibliométrico que analice la evolución, las tendencias emergentes y las brechas existentes en la producción científica sobre el uso de la inteligencia artificial como herramienta regulatoria en el Derecho ambiental. Comprender el estado actual del conocimiento permitirá no solo mapear los desarrollos teóricos y metodológicos más relevantes, sino también aportar una base empírica para el diseño de políticas públicas y marcos normativos sostenibles, inclusivos y éticamente responsables.

El objetivo de este artículo es analizar la evolución, principales tendencias y vacíos en la producción científica indexada en Scopus sobre el uso de la inteligencia artificial como herramienta de apoyo regulatorio en el Derecho ambiental entre 2016 y 2024. A través de este estudio, se espera identificar áreas de oportunidad que fortalezcan el uso de tecnologías avanzadas en la regulación ambiental, contribuyendo así al desarrollo de estrategias más efectivas y equitativas.

## 2 METODOLOGÍA

Este estudio se enmarca en un enfoque bibliométrico de carácter descriptivo, cuyo propósito es ofrecer una visión integral cuantitativa sobre la evolución, tendencias y características de la producción científica vinculada al uso de la inteligencia artificial como herramienta regulatoria en el Derecho ambiental (Valero-Ancco et al., 2025). La elección del método bibliométrico se justifica por su utilidad para sintetizar grandes volúmenes de información científica, identificar patrones emergentes y revelar vacíos temáticos en campos interdisciplinarios.

La recolección de datos se realizó a partir de la base de datos Scopus, reconocida por su cobertura multidisciplinaria y su rigor en los procesos de indexación. La estrategia de búsqueda se aplicó en los campos de título, resumen y palabras clave, utilizando la siguiente cadena: (“*artificial intelligence*” OR “*machine learning*” OR “*deep learning*”) AND (“*environmental regulation*” OR “*environmental law*” OR “*environmental governance*”) AND (“*legal*” OR “*regulatory*” OR “*policy*”) AND (*sustainability* OR *climate* OR *pollution*). Esta cadena fue diseñada para captar la producción científica situada en la intersección entre IA, sostenibilidad, gobernanza y regulación ambiental, permitiendo una recuperación precisa de documentos relevantes.

Los criterios de selección se definieron de la siguiente manera: (1) Criterios de inclusión: Artículos científicos originales, publicaciones entre los años 2016 y 2024. (2) Criterios de exclusión: Documentos tipo *conference papers*, *book chapters*, *reviews*, *books*. Duplicados o registros incompletos.

Posteriormente, se aplicaron filtros adicionales para delimitar el rango temporal efectivo entre 2016 y 2024, así como para asegurar la pertinencia y el tipo documental seleccionado. Como resultado, de una búsqueda inicial de 153 documentos, se depuró una muestra final de 63 artículos científicos que cumplieron con todos los criterios establecidos.

El análisis bibliométrico se estructuró en torno a indicadores clave de producción, impacto y colaboración científica, tales como: año de publicación, autores, afiliaciones institucionales, países de origen, revistas, áreas temáticas, tipo de documento y palabras clave. Además, se realizó un análisis de co-ocurrencia de términos, con el fin de identificar núcleos temáticos, patrones de asociación y tendencias emergentes en el campo.

Para la visualización y procesamiento de los datos se utilizó el software VOSviewer (versión 1.6.20), herramienta especializada en el mapeo de redes bibliográficas y semánticas. El procesamiento cuantitativo complementario, así como la elaboración de tablas descriptivas, se llevó a cabo mediante Microsoft Excel.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIONES**

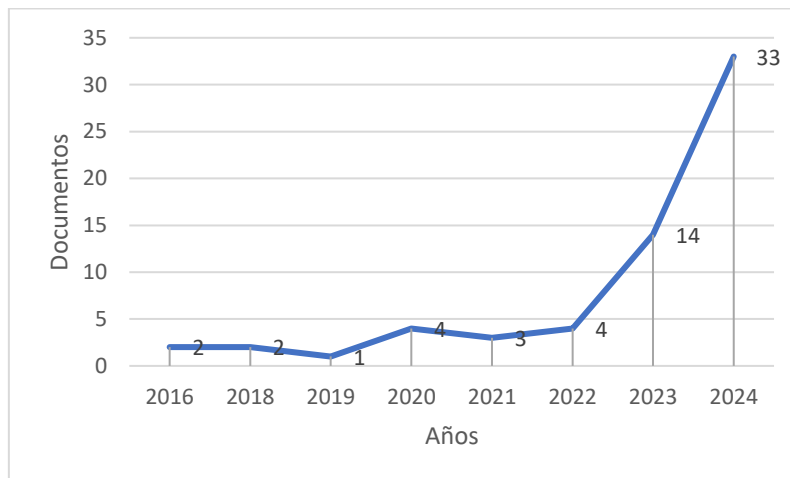
#### **3.1 Evolución temporal de la producción científica (2016–2024) en el campo de la inteligencia artificial aplicada al derecho ambiental**

La Figura 1 muestra la evolución anual de las publicaciones relacionadas con el uso de inteligencia artificial como herramienta regulatoria en el Derecho ambiental, registradas en la base de datos Scopus entre los años 2016 y 2024.

El análisis revela una tendencia claramente ascendente en la producción científica, especialmente en el último bienio. Entre 2016 y 2021, el número de publicaciones por año se mantuvo bajo, con una media de apenas 2,5 documentos anuales. En ese periodo inicial, se observa una fluctuación irregular: años con solo 1 o 2 artículos (como en 2017 y 2019) y un ligero repunte en 2020 (4 publicaciones), posiblemente vinculado al impulso general de tecnologías digitales durante la pandemia de COVID-19.

A partir de 2022, la curva comienza a mostrar una inflexión positiva con un crecimiento sostenido: 4 artículos en 2022, que se triplican en 2023 con 14 publicaciones, hasta alcanzar un pico de 33 documentos en 2024, lo cual representa un crecimiento del 135% respecto al año anterior.

Este aumento sostenido en la producción científica durante los últimos dos años sugiere un interés emergente y acelerado en la intersección entre inteligencia artificial, regulación jurídica y sostenibilidad ambiental, alineado con el contexto global de transición digital y crisis climática. Asimismo, puede reflejar una mayor visibilidad de los desafíos jurídicos asociados al uso de tecnologías emergentes en el campo de la gobernanza ambiental.

**Figura 1***Artículos publicados por año en la base Scopus*

Fuente: elaboración propia

### 3.2 Producción científica por país en el campo de la inteligencia artificial aplicada al derecho ambiental

La figura 2 muestra la distribución geográfica de la producción científica relacionada con el uso de la inteligencia artificial en la regulación ambiental. Se contabilizan un total de 30 países con al menos un artículo publicado en el periodo considerado.

China lidera ampliamente el ranking con 31 publicaciones, representando aproximadamente el 38.75% del total analizado. Este liderazgo puede atribuirse al fuerte impulso que el país ha dado al desarrollo tecnológico y a su creciente participación en discusiones regulatorias ambientales, tanto a nivel nacional como internacional. En segundo lugar, Estados Unidos acumula 12 artículos (15% del total), lo que lo posiciona como otro actor central en este campo. Este resultado es coherente con el papel protagónico de sus universidades y centros de investigación en las áreas de inteligencia artificial, derecho ambiental y políticas públicas.

El grupo intermedio está compuesto por países con una producción moderada, pero constante: Canadá (5), Países Bajos (4), Italia (3), y un conjunto de países con 2 artículos cada uno, como Alemania, Australia, Colombia, India, Japón, Suiza, Reino Unido, entre otros. Esto evidencia que la temática está siendo trabajada principalmente en países con alta capacidad científica y tecnológica, así como con marcos regulatorios

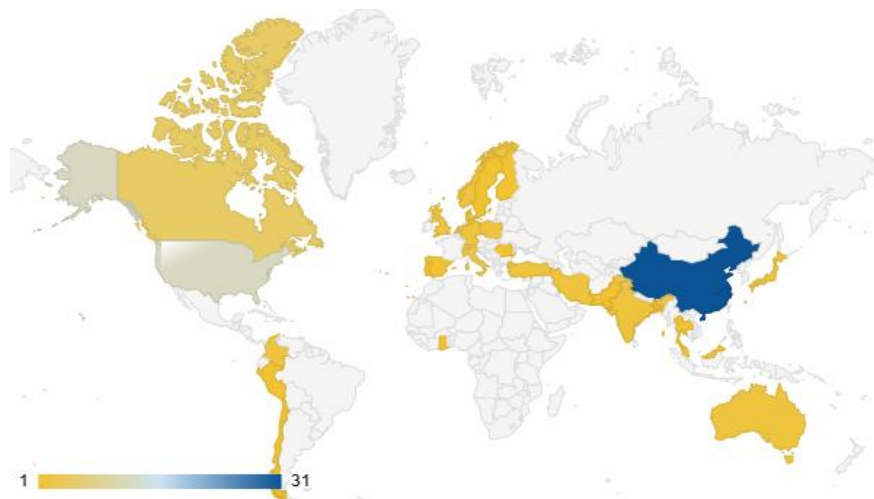
avanzados que fomentan el debate sobre el rol de tecnologías emergentes en el cumplimiento ambiental.

A pesar de que los efectos del cambio climático y la degradación ambiental afectan de manera desproporcionada a países del Sur Global, su representación en la producción académica sigue siendo limitada. Sólo 1 artículo fue identificado en países como Bangladesh, Chile, Ghana, Malasia, Pakistán, Perú, entre otros. En el caso de Perú, este único aporte constituye una oportunidad para impulsar mayor investigación interdisciplinaria, especialmente considerando la riqueza ecológica del país y los desafíos en gobernanza ambiental.

Por lo tanto, el análisis muestra un panorama geográfico relativamente diverso, aunque con una clara concentración en países del hemisferio norte y economías industrializadas. Esta situación plantea dos implicancias: Necesidad de fortalecer capacidades académicas y regulatorias en países latinoamericanos y africanos, donde la IA podría tener un impacto significativo en políticas de monitoreo, fiscalización y justicia ambiental. Por otra parte, la oportunidad para proyectos de cooperación internacional que promuevan la transferencia de conocimiento y la construcción de marcos éticos adaptados a contextos locales.

## Figura 2

*Producción científica por país*



Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Instituciones más productivas en el campo de la inteligencia artificial aplicada al Derecho Ambiental

La Figura 3 presenta a las instituciones académicas que lideran la producción científica en el campo emergente de la inteligencia artificial (IA) aplicada como herramienta regulatoria en el Derecho Ambiental. El análisis muestra una distribución equilibrada, con cada institución aportando dos documentos al corpus de estudio. Esta regularidad en la producción indica que el campo aún se encuentra en una fase de crecimiento incipiente, sin centros de investigación claramente dominantes, lo que es típico en áreas temáticas emergentes donde las agendas de investigación están todavía en consolidación.

Dentro del conjunto de instituciones identificadas, se destacan tres procedentes de China: el *State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control*, la *Shanghai Jiao Tong University* y la *Peking University*. Esta presencia reafirma el papel protagónico que el país asiático ha asumido en el desarrollo e implementación de tecnologías de IA en sectores estratégicos, incluyendo el monitoreo ambiental, la gestión de datos climáticos y la regulación automatizada. Es notorio cómo estas universidades han comenzado a incorporar perspectivas regulatorias y jurídicas en el diseño de sistemas inteligentes para fines ambientales.

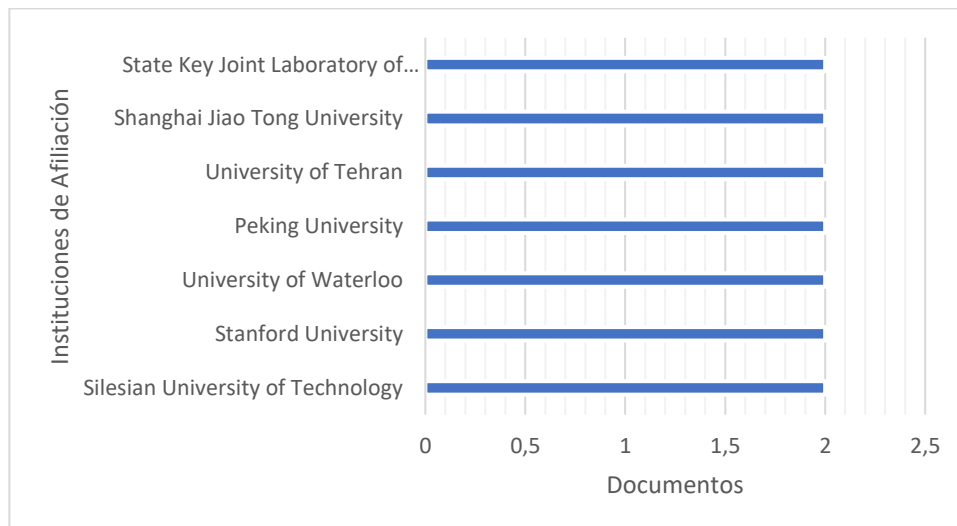
En paralelo, también figuran en el ranking universidades de América del Norte y Europa, como la *University of Waterloo* (Canadá), la *Stanford University* (Estados Unidos) y la *Silesian University of Technology* (Polonia). Estas instituciones han abordado el tema desde una perspectiva interdisciplinaria, articulando enfoques del Derecho ambiental, la ingeniería de sistemas, la gobernanza algorítmica y las ciencias políticas. Su participación resalta la creciente preocupación por el desarrollo de marcos normativos que permitan un uso ético y sostenible de la inteligencia artificial en contextos regulatorios.

Otro aspecto relevante es la inclusión de la *University of Tehran* (Irán), lo que indica una apertura del debate hacia regiones no tradicionalmente representadas en la discusión global sobre regulación ambiental e inteligencia artificial. Esta diversidad institucional sugiere que la problemática de la automatización de la regulación ambiental está siendo abordada desde distintas cosmovisiones jurídicas, lo cual podría enriquecer los enfoques y las soluciones propuestas.

En conjunto, los datos revelan que el interés académico en el uso de la inteligencia artificial para fortalecer la normativa ambiental está en expansión, pero aún disperso entre diversas instituciones sin una hegemonía clara. Este patrón representa una oportunidad para promover redes internacionales de colaboración científica que permitan compartir experiencias regulatorias, desarrollar metodologías comparadas y diseñar estándares técnicos y jurídicos adaptados a los desafíos globales del cambio climático y la protección del medio ambiente.

### Figura 3

*Instituciones más productivas en el campo de la inteligencia artificial aplicada al derecho ambiental*



Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Artículos más citados en la temática

La Tabla 1 recoge los diez artículos más citados en la base de datos Scopus que abordan la intersección entre inteligencia artificial (IA) y regulación ambiental, reflejando el impacto académico y la influencia temática de estas contribuciones en el desarrollo del campo. La cantidad de citas oscila entre 151 y 34, lo que permite identificar líneas de investigación consolidadas, enfoques metodológicos recurrentes y ámbitos geográficos con mayor desarrollo.

Encabezando la lista se encuentra el artículo de Hino et al. (2018) publicado en *Nature Sustainability*, con 151 citas, que explora el uso del aprendizaje automático para el monitoreo ambiental. Este trabajo pionero estableció una base metodológica sólida para

la aplicación de técnicas de *machine learning* en el análisis de datos ambientales a gran escala, con énfasis en la detección de patrones de contaminación y eventos extremos. Su alto número de citas indica que ha sido un referente en estudios posteriores que vinculan la inteligencia artificial con la gestión ambiental automatizada.

En segundo lugar, Garske et al. (2021), con 98 citas, abordan la digitalización y la IA en la agricultura europea como estrategias para alcanzar objetivos climáticos y de biodiversidad, desde un enfoque integrado que articula sostenibilidad, innovación tecnológica y política agraria. Le sigue el artículo de Song et al. (2023), que con 79 citas, analiza si la tecnología, incluidos los robots, puede considerarse una panacea frente a la contaminación del aire y del agua, proponiendo una mirada crítica sobre la dependencia tecnológica como solución única.

Otros artículos relevantes como el de Lesnikowski et al. (2019), con 54 citas, utilizan modelado temático para mapear la investigación en adaptación climática, demostrando la utilidad de herramientas de análisis de datos automatizado para sintetizar literatura compleja en entornos regulatorios. Por su parte, los trabajos de H. Yin et al. (2018) y K. Yin et al. (2023), con 50 y 45 citas respectivamente, se centran en la valoración contingente de impactos en la salud por contaminación atmosférica y en el papel de la IA en la innovación verde en China, respectivamente, lo que evidencia el interés creciente de ese país en explorar las dimensiones regulatorias y tecnológicas del desarrollo ambiental sostenible.

Otro artículo destacado es el de Bibri et al. (2024), que propone el concepto de *Artificial Intelligence of Things* como base para gobernanzas ambientales inteligentes en ciudades sostenibles. Con 39 citas, esta publicación representa una línea de investigación emergente que fusiona datos urbanos, plataformas digitales y regulación ambiental basada en inteligencia contextual. Asimismo, Pagallo et al. (2022) examinan los desafíos ambientales del *AI Act* de la Unión Europea, marcando un importante aporte desde el Derecho comparado al marco normativo de la IA, con 35 citas. Finalmente, cierran la lista los trabajos de Zhao et al. (2024) y Francisco y Linnér (2023), ambos con 34 citas, que exploran respectivamente la eficiencia en la reducción de carbono mediante validación de IA, y la gobernanza del desarrollo sostenible desde las perspectivas institucionales de la UE, la ONU y el Foro Económico Mundial.

En conjunto, esta tabla no solo revela los artículos con mayor impacto académico, sino que permite identificar dos grandes vertientes en la investigación: por un lado,

estudios orientados a la aplicación técnica de la IA en entornos ambientales concretos (monitoreo, agricultura, contaminación); y por otro, publicaciones que abordan las implicancias normativas y éticas del uso de estas tecnologías, especialmente en el marco de las políticas públicas, los derechos ambientales y la regulación internacional.

**Tabla 1**

*Artículos más citados en la temática de inteligencia artificial como herramienta regulatoria en el Derecho Ambiental*

<b>Autores</b>	<b>Título</b>	<b>Revista</b>	<b>Citas</b>
(Hino et al., 2018)	Machine learning for environmental monitoring	Nature Sustainability	151
(Garske et al., 2021)	Digitalization and ai in European agriculture: A strategy for achieving climate and biodiversity targets?	Sustainability (Switzerland)	98
(Song et al., 2023)	Air pollution, water pollution, and robots: Is technology the panacea	Journal of Environmental Management	79
(Lesnikowski et al., 2019)	Frontiers in data analytics for adaptation research: Topic modeling	Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change	54
(H. Yin et al., 2018)	Contingent valuation of health and mood impacts of PM2.5 in Beijing, China	Science of the Total Environment	50
(K. Yin et al., 2023)	How does artificial intelligence development affect green technology innovation in China? Evidence from dynamic panel data analysis	Environmental Science and Pollution Research	45
(Bibri et al., 2024)	Artificial intelligence of things for synergizing smarter eco-city brain, metabolism, and platform: Pioneering data-driven environmental governance	Sustainable Cities and Society	39
(Pagallo et al., 2022)	The environmental challenges of AI in EU law: lessons learned from the Artificial Intelligence Act (AIA) with its drawbacks	Transforming Government: People, Process and Policy	35
(Q. Zhao et al., 2024)	The impact of green innovation on carbon reduction efficiency in China: Evidence from machine learning validation	Energy Economics	34
(Francisco & Linnér, 2023)	AI and the governance of sustainable development. An idea analysis of the European Union, the United Nations, and the World Economic Forum	Environmental Science and Policy	34

### 3.5 Revistas más productivas en la temática

La Tabla 2 muestra las revistas científicas que han publicado el mayor número de artículos relacionados con la aplicación de la inteligencia artificial como herramienta

regulatoria en el Derecho Ambiental, de acuerdo con los registros de la base de datos Scopus. El indicador de productividad se basa en el número total de publicaciones (TP), complementado con métricas de calidad como el *Scimago Journal Rank* (SJR), el cuartil (Q) y el índice H, lo que permite evaluar no solo la frecuencia, sino también la relevancia e impacto de estas revistas en el campo.

La revista más productiva es el *Journal of Environmental Management*, con 7 artículos, un SJR de 1.994, y un índice H de 268, posicionada en el cuartil Q1. Esta revista, editada en Estados Unidos, se caracteriza por su enfoque en políticas, gestión y análisis de sistemas ambientales, lo que la convierte en una plataforma adecuada para la publicación de estudios que integran tecnología y regulación.

En segundo lugar se encuentra *Sustainability Switzerland*, con 4 publicaciones, también en cuartil Q1, aunque con un SJR más bajo (0.688) y un índice H de 207. Esta revista, pese a su menor impacto relativo, ha ganado visibilidad por su apertura temática e interdisciplinaria, lo que ha favorecido la difusión de investigaciones sobre IA, cambio climático y gobernanza.

Revistas como *Environmental Monitoring and Assessment* y *Environmental Science and Pollution Research*, ambas con 2 artículos, representan espacios intermedios de publicación. La primera se encuentra en cuartil Q2, mientras que la segunda mantiene posición en Q1, con un índice H considerable (212), lo que evidencia su consolidación en estudios sobre impactos ambientales y herramientas analíticas para su regulación.

Llaman especialmente la atención tres revistas con altos indicadores de calidad: *Resources Conservation and Recycling* (Países Bajos), con un SJR de 2.872 y un índice H de 218, *Science* (Estados Unidos), con un SJR de 10.416 y un H de 1385 y *Science of the Total Environment*, con un SJR de 2.137 y un H de 399. Estas últimas, aunque no son revistas especializadas en Derecho, han acogido estudios relevantes que exploran el uso de inteligencia artificial en marcos de gobernanza ambiental y sostenibilidad. El caso de *Science*, con su alto impacto, indica que el tema comienza a atraer la atención de publicaciones de excelencia, especialmente cuando los estudios combinan evidencia empírica sólida, análisis predictivos y dimensión normativa.

Por último, la inclusión de *Water Science and Technology*, del Reino Unido, con dos publicaciones y un enfoque en soluciones tecnológicas para la gestión del agua, refuerza la noción de que el ámbito regulatorio ambiental asociado a la IA es transversal

a múltiples sectores (energía, agua, agricultura, aire) y tiene cabida tanto en revistas técnicas como multidisciplinarias.

En conjunto, el análisis revela que la investigación sobre IA en contextos regulatorios ambientales se está publicando tanto en revistas consolidadas de gestión ambiental como en revistas científicas de alto impacto general. Esto sugiere una creciente legitimidad académica del tema y una expansión transversal de su cobertura editorial, que refleja el carácter multidisciplinario del fenómeno y su conexión con la sostenibilidad, la ética tecnológica y el derecho ambiental comparado.

**Tabla 2**

*Revistas más productivas en la temática de inteligencia artificial como herramienta regulatoria en el Derecho Ambiental*

Revista	TP	SJR2024	Q	H	País
Journal of Environmental Management	7	1.994	Q1	268	United States
Sustainability Switzerland	4	0.688	Q1	207	Switzerland
Environmental Monitoring and Assessment	2	0.690	Q2	152	Germany
Environmental Science and Pollution Research	2	1.004	Q1	212	Germany
Resources Conservation and Recycling	2	2.872	Q1	218	Netherlands
Science	2	10.416	Q1	1385	United States
Science of the Total Environment	2	2.137	Q1	399	Netherlands
Water Science and Technology	2	0637	Q2	163	United Kingdom

Nota: TP: total de producción, SJR: *Scimago Journal & Country Rank*, Q: Cuartil, H: Índice H

### 3.6 Distribución de publicaciones por área temática

La Figura 4 muestra la distribución de los documentos analizados según las áreas temáticas indexadas en la base Scopus. El gráfico evidencia con claridad que el mayor volumen de producción científica se concentra en el área de *Environmental Science*, con 41 publicaciones, lo que representa más del 50% del total de documentos revisados. Este resultado es coherente con el enfoque central de la investigación, que articula la inteligencia artificial con el análisis, la gestión y la regulación del entorno natural, especialmente en un contexto de cambio climático, contaminación y desarrollo sostenible.

En segundo lugar, destaca el área de *Economics, Econometrics and Finance*, con 22 documentos, lo que indica una creciente preocupación por el impacto económico de la transición digital verde y por la aplicación de modelos predictivos de IA en políticas

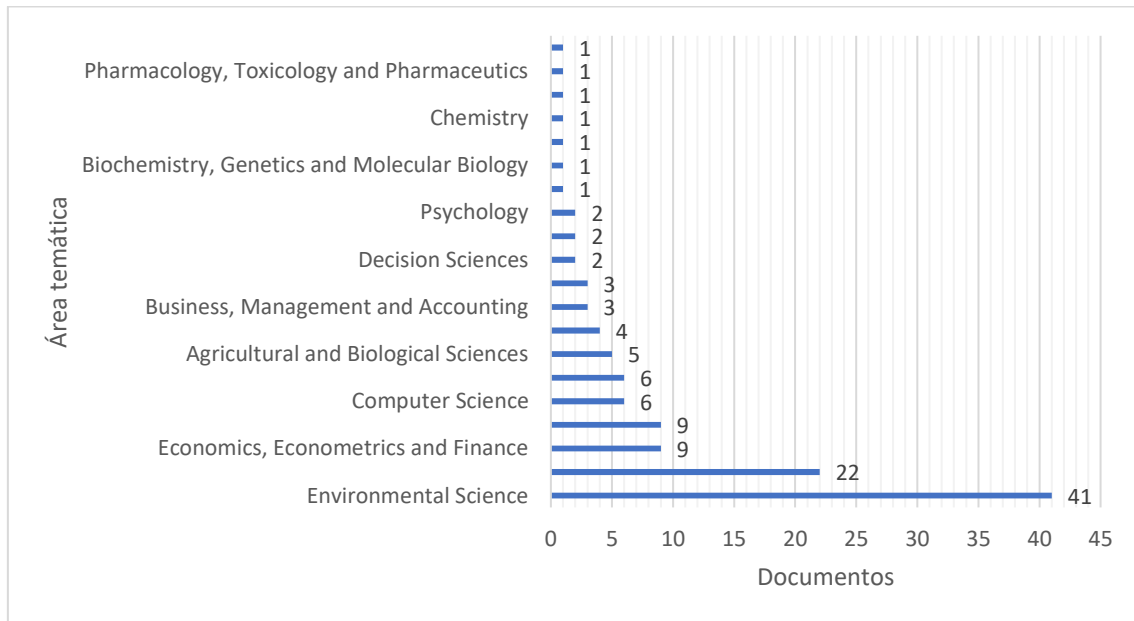
públicas, eficiencia energética y tributación ambiental. Esta presencia es relevante, ya que conecta directamente la inteligencia artificial no solo con el monitoreo ambiental, sino también con su gobernanza económica y la toma de decisiones estratégicas.

El área de *Computer Science* ocupa el tercer lugar, con 9 publicaciones, lo que refleja el papel instrumental que juega la disciplina en el desarrollo de algoritmos, modelos de *machine learning* y plataformas digitales que dan soporte técnico a la regulación ambiental. La inclusión de esta categoría evidencia el carácter interdisciplinario de la temática, en la medida en que las herramientas tecnológicas provienen de la ingeniería y las ciencias de la computación, pero su aplicación se da en el campo normativo y ambiental.

Con una participación menor pero significativa se encuentran los campos de *Agricultural and Biological Sciences* (6 documentos) y *Business, Management and Accounting* (4 documentos). La primera área resalta el uso de IA en prácticas agrícolas sostenibles, análisis de suelos y optimización de recursos hídricos; mientras que la segunda sugiere un interés por la gobernanza empresarial, la responsabilidad social ambiental y la incorporación de métricas ESG (ambientales, sociales y de gobernanza) apoyadas en tecnologías inteligentes.

Áreas como *Decision Sciences* (3 documentos) y *Psychology* (2 documentos) aparecen en menor proporción, lo cual sugiere enfoques más especializados o centrados en aspectos cognitivos y de toma de decisiones en contextos automatizados. Finalmente, disciplinas como *Biochemistry*, *Chemistry* y *Pharmacology*, con solo 1 publicación cada una, reflejan un grado mínimo de participación, posiblemente debido a un enfoque de frontera donde la IA se aplica a evaluar impactos tóxicos o contaminantes, pero sin un componente regulatorio fuerte.

En conjunto, la distribución temática confirma que la investigación sobre inteligencia artificial aplicada al derecho ambiental es claramente multidisciplinaria, aunque dominada por las ciencias ambientales, económicas y computacionales. Esta confluencia permite abordar los desafíos de la sostenibilidad desde distintos ángulos: tecnológico, normativo, económico y ecológico, lo cual enriquece las posibilidades de generar soluciones integradas y eficaces para enfrentar la crisis climática y ambiental contemporánea.

**Figura 4***Publicación de documentos por área temática*

Fuente: Elaboración propia

### 3.7 Análisis de coocurrencia de palabras clave

La Figura 5 muestra el mapa de co-ocurrencia de palabras clave extraídas de los títulos y resúmenes de los documentos analizados. Este tipo de visualización, elaborada mediante el software VOSviewer, permite identificar las relaciones semánticas más frecuentes entre conceptos clave del campo de estudio, así como distinguir los principales clústeres temáticos que estructuran la investigación sobre inteligencia artificial y regulación ambiental.

En el gráfico se identifican tres clústeres principales, codificados por colores: rojo, verde y azul, que representan núcleos de términos que coaparecen con mayor frecuencia dentro de los artículos analizados.

Clúster rojo: Gobernanza ambiental y desarrollo sostenible impulsado por IA. Este grupo está centrado en términos como *artificial intelligence*, *environmental governance*, *governance approach*, *sustainable development*, *carbon emission* y *economic and social effects*. El nodo *machine learning* también aparece fuertemente conectado, lo cual evidencia que las investigaciones no se limitan al desarrollo tecnológico, sino que abordan cómo la IA se incorpora en marcos regulatorios, en estrategias de sostenibilidad y en políticas de mitigación climática. La mención explícita a China dentro de este clúster

refuerza la idea de un liderazgo geográfico particular en esta línea de investigación, vinculando capacidades técnicas con decisiones políticas.

Clúster verde: Regulación, protección y predicción ambiental. El segundo grupo gira en torno a los conceptos *environmental regulations*, *environmental protection*, *climate change*, *prediction*, *environmental monitoring* y *ecosystem*. Aquí se articula la dimensión técnica y normativa de la regulación ambiental, destacando el uso de modelos predictivos, el monitoreo inteligente y la protección de los ecosistemas. El nodo *deep learning* aparece vinculado, lo cual indica que se están utilizando algoritmos avanzados para tareas regulatorias como la detección de anomalías, el seguimiento de emisiones o el análisis de uso del suelo. También destaca la presencia de términos como *procedures* y *nonhuman*, lo que sugiere una preocupación por el marco legal y ético del uso de estas tecnologías.

Clúster azul: Contaminación atmosférica y salud ambiental. Este clúster agrupa términos relacionados con la polución, tales como *air pollution*, *air pollutants*, *particulate matter*, *pollution control* y *air quality*, así como con los espacios urbanos (*city*, *cities*). Aquí la IA se aplica principalmente al análisis de datos de calidad del aire, vigilancia atmosférica, y evaluación de riesgos para la salud humana. La densidad de conexiones sugiere un enfoque empírico fuerte en estos estudios, con datos medidos y correlaciones directas entre polución y sus efectos, especialmente en entornos urbanos. Es una línea claramente alineada con estudios de impacto regulatorio y sanitario.

El mapa de co-ocurrencia evidencia que la investigación en torno a la inteligencia artificial como herramienta regulatoria ambiental se estructura en torno a tres ejes clave: (1) Tecnología y gobernanza (rojo): donde la IA se articula con políticas y estrategias institucionales. (2) Predicción normativa y protección ecológica (verde): con un fuerte componente técnico y jurídico. (3) Control de contaminación y salud ambiental (azul): con énfasis en el monitoreo urbano y la prevención.

La centralidad de términos como *machine learning*, *environmental regulations* y *artificial intelligence* confirma que estos constituyen el núcleo semántico de la producción académica en este campo. A su vez, el mapa refleja la interdisciplinariedad del tema, pues convergen conceptos del derecho, la ingeniería, las ciencias ambientales, la economía, y la ética de los datos.



En cuanto a la distribución geográfica, se observa una marcada concentración de publicaciones en China y Estados Unidos, que lideran la producción con una diferencia significativa respecto al resto de países. Esto sugiere una asimetría epistémica que, si bien refleja la capacidad técnica y la inversión en investigación de estos países, también evidencia la necesidad de fomentar una producción científica más representativa y contextualizada en el Sur Global. La escasa participación de países latinoamericanos, como Perú, Colombia y Chile, subraya la urgencia de promover agendas de investigación locales que incorporen marcos regulatorios propios y desafíos ambientales específicos (Tironi y Rivera, 2023).

Los artículos más citados revelan dos líneas predominantes: por un lado, estudios orientados a la aplicación técnica de la IA en la gestión ambiental (monitoreo, predicción, control de contaminación), y por otro, análisis normativos centrados en la ética, la sostenibilidad y el diseño de marcos regulatorios. Esta dualidad refleja la naturaleza interdisciplinaria del campo, donde las ciencias ambientales, jurídicas y computacionales convergen para abordar problemas complejos desde múltiples enfoques (Camilleri, 2024; Vinuesa et al., 2020).

En el análisis de fuentes de publicación, destacan revistas del cuartil Q1 como *Journal of Environmental Management* y *Environmental Science and Pollution Research*, lo que indica que el tema ha alcanzado una legitimidad académica importante. Asimismo, la presencia de artículos en revistas como *Sustainability* o *Science* sugiere que la temática está permeando tanto publicaciones especializadas como generalistas de alto impacto. Sin embargo, aún persiste una escasa representación en revistas jurídicas, lo cual constituye una oportunidad para fortalecer la producción doctrinaria que articule con mayor profundidad la IA, el Derecho y la gobernanza ambiental.

Desde el punto de vista temático, el mapa de co-ocurrencia de palabras clave permitió identificar tres ejes estructurantes: 1) gobernanza ambiental y sostenibilidad; 2) regulación normativa y predicción ecológica; y 3) monitoreo de la contaminación y salud pública. Este hallazgo refuerza la idea de que el campo se configura en torno a problemas reales, con implicancias regulatorias, sociales y éticas profundas. En este sentido, si bien los enfoques técnicos han sido dominantes, se advierte una creciente atención hacia la construcción de marcos legales que aseguren la transparencia, eviten sesgos algorítmicos y promuevan la justicia ambiental (Huda et al., 2024; Wu, 2023).

No obstante, el estudio también pone en evidencia importantes vacíos en la literatura. Primero, se observa una limitada reflexión crítica sobre los impactos ambientales negativos del desarrollo de la propia IA, como el alto consumo energético y las emisiones globales (Camastra y González, 2025). Segundo, la mayoría de los marcos regulatorios analizados corresponden al ámbito europeo o estadounidense, dejando de lado realidades jurídicas distintas, especialmente en países con sistemas legales híbridos o en vías de desarrollo. Finalmente, existe una carencia de investigaciones empíricas que evalúen la efectividad real de la IA como instrumento regulador, más allá de sus potencialidades tecnológicas.

En suma, los resultados de este estudio no solo confirman el crecimiento y diversificación temática de la investigación en IA y regulación ambiental, sino que también invitan a fortalecer la perspectiva jurídica, la inclusión geopolítica y la evaluación crítica del impacto de estas tecnologías. Se requiere avanzar hacia marcos regulatorios que sean no solo técnicamente eficaces, sino también legítimos, inclusivos y sostenibles.

## 5 CONCLUSIONES

El presente estudio bibliométrico proporciona una visión comprehensiva y actualizada sobre la evolución, tendencias y vacíos de la producción científica vinculada al uso de la IA en contextos de regulación ambiental. A partir del análisis de 63 artículos indexados en la base de datos Scopus entre los años 2016 y 2024, se evidencia una aceleración reciente de las publicaciones, especialmente en el bienio 2023–2024, lo que sugiere una consolidación temática impulsada por la urgencia ambiental, la expansión tecnológica y los debates éticos sobre la gobernanza algorítmica.

Los resultados muestran que la investigación en este campo está dominada por países como China y Estados Unidos, tanto en términos de volumen de publicaciones como de productividad institucional, lo cual plantea desafíos en cuanto a la asimetría geopolítica del conocimiento. A pesar del carácter global de la crisis ambiental, se observa una participación incipiente de países del sur global, como Perú, Colombia y Chile, lo que pone de relieve la necesidad de fomentar una producción científica más contextualizada, inclusiva y regionalmente diversa.

Desde el punto de vista temático, se identifican tres núcleos principales de investigación: la gobernanza ambiental sostenida por IA, el monitoreo predictivo de variables ambientales y el control de la contaminación en entornos urbanos. Estos clústeres reflejan la convergencia entre disciplinas jurídicas, tecnológicas y ecológicas, al tiempo que señalan un tránsito hacia modelos regulatorios más dinámicos, automatizados y basados en datos. Sin embargo, también se advierte un vacío en el desarrollo doctrinario jurídico, pues la mayoría de las publicaciones se concentran en revistas científicas técnicas, dejando escasa presencia en revistas de Derecho o estudios normativos comparados.

Entre los principales vacíos identificados destaca la limitada reflexión crítica sobre el impacto ambiental del propio desarrollo de la IA, incluyendo el consumo energético, la huella de carbono y los residuos electrónicos. Asimismo, persiste la falta de estudios empíricos que evalúen de forma sistemática la efectividad real de la IA como instrumento de apoyo regulatorio, más allá de sus aplicaciones técnicas o su potencial predictivo. También se requiere ampliar el alcance geográfico de los estudios para incorporar perspectivas jurídicas no europeas, especialmente aquellas que surgen en contextos de alta vulnerabilidad ambiental y baja capacidad institucional.

Frente a este panorama, se concluye que la inteligencia artificial tiene un potencial transformador significativo para el Derecho ambiental, siempre que se integre dentro de marcos normativos sólidos, transparentes y orientados al bien común. La promoción de una gobernanza algorítmica justa y sostenible exige tanto el fortalecimiento de la capacidad regulatoria como el desarrollo de una ética ambiental digital que guíe la implementación responsable de estas tecnologías. En esa dirección, los estudios bibliométricos como el presente no solo permiten mapear el estado del arte, sino también orientar futuras agendas de investigación interdisciplinaria, colaborativa y con enfoque de justicia ambiental.

## REFERENCIAS

- Bibri, S. E., Huang, J., & Krogstie, J. (2024). Artificial intelligence of things for synergizing smarter eco-city brain, metabolism, and platform: Pioneering data-driven environmental governance. *Sustainable Cities and Society*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105516>
- Camastra, F. D., & González, R. (2025). Artificial intelligence, sustainability and environmental impact. A narrative and bibliometric study. *Región Científica*.

<https://doi.org/10.58763/rc2025355>

- Camilleri, M. A. (2024). Artificial intelligence governance: Ethical considerations and implications for social responsibility. *Expert Systems*, 41(7). <https://doi.org/10.1111/exsy.13406>
- Francisco, M., & Linnér, B. O. (2023). AI and the governance of sustainable development. An idea analysis of the European Union, the United Nations, and the World Economic Forum. *Environmental Science and Policy*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.103590>
- Garske, B., Bau, A., & Ekardt, F. (2021). Digitalization and ai in European agriculture: A strategy for achieving climate and biodiversity targets? *Sustainability (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094652>
- Hino, M., Benami, E., & Brooks, N. R. (2018). Machine learning for environmental monitoring. *Nature Sustainability*, 1(10), 583–588. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0142-9>
- Huda, M., Awaludin, A., & Siregar, H. K. (2024). Legal Challenges in Regulating Artificial Intelligence: A Comparative Study of Privacy and Data Protection Laws. *International Journal of Social and Human*, 1(2), 116–125. <https://doi.org/10.59613/g8dc9v94>
- Khajeh, S., & Nouhi, N. (2023). The Environmental Impacts of AI and Digital Technologies. *AI and Tech in Behavioral and Social Sciences*, 1(4), 11–18. <https://doi.org/10.61838/kman.aitech.1.4.3>
- Lesnikowski, A. C., Belfer, E., Rodman, E., Smith, J., Biesbroek, R., Wilkerson, J. D., Ford, J. D., & Berrang-Ford, L. (2019). Frontiers in data analytics for adaptation research: Topic modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(3). <https://doi.org/10.1002/wcc.576>
- Niazi, S. K. (2025). Regulatory Perspectives for AI/ML Implementation in Pharmaceutical GMP Environments. *Pharmaceuticals*, 18(6), 901. <https://doi.org/10.3390/ph18060901>
- OECD. (2023). *The State of Implementation of the OECD AI Principles: Four Years On*. OECD. [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/10/the-state-of-implementation-of-the-oecd-ai-principles-four-years-on\\_b9f13b5c/835641c9-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/10/the-state-of-implementation-of-the-oecd-ai-principles-four-years-on_b9f13b5c/835641c9-en.pdf)
- Pagallo, U. (2025). On Twelve Shades of Green: Assessing the Levels of Environmental Protection in the Artificial Intelligence Act. *Minds and Machines*, 35(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s11023-025-09713-4>
- Pagallo, U., Ciani Sciolla, J., & Durante, M. (2022). The environmental challenges of AI in EU law: lessons learned from the Artificial Intelligence Act (AIA) with its drawbacks. *Transforming Government: People, Process and Policy*, 16(3), 359–376. <https://doi.org/10.1108/TG-07-2021-0121>
- Song, J., Chen, Y., & Luan, F. (2023). Air pollution, water pollution, and robots: Is technology the panacea. *Journal of Environmental Management*, 330.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117170>

- Tironi, M., & Rivera, D. I. (2023). Artificial intelligence in the new forms of environmental governance in the Chilean State: Towards an eco-algorithmic governance. *Technology in Society*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102264>
- UNESCO. (2021). *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*. UNESCO. <https://www.unesco.org/en/articles/recommendation-ethics-artificial-intelligence>
- Valero-Ancco, V. N., Sosa, F., Lujano-Ortega, Y., & Calderón-Quino, K. M. (2025). Global Trends in Gender Inequality in Higher Education : A Bibliometric Analysis (1993–2024). *Educational Process: International Journal*, 14, e2025019. <https://doi.org/https://doi.org/10.22521/edupij.2025.14.19>
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Felländer, A., Langhans, S. D., Tegmark, M., & Fuso Nerini, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications*, 11(1), 233. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- Wani, A. K., Rahayu, F., Ben Amor, I., Quadir, M., Murianingrum, M., Parnidi, P., Ayub, A., Supriyadi, S., Sakiroh, S., Saefudin, S., Kumar, A., & Latifah, E. (2024). Environmental resilience through artificial intelligence: innovations in monitoring and management. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 18379–18395. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32404-z>
- Wu, T. (2023). Application and development of artificial intelligence in environmental health. *Applied and Computational Engineering*, 7(1), 35–40. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/7/20230335>
- Yin, H., Pizzol, M., Bredahl Jacobsen, J. B., & Xu, L. (2018). Contingent valuation of health and mood impacts of PM2.5 in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 630, 1269–1282. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.275>
- Yin, K., Cai, F., & Huang, C. (2023). How does artificial intelligence development affect green technology innovation in China? Evidence from dynamic panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 28066–28090. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24088-0>
- Zhao, J., & Fariñas, B. G. (2022). Artificial Intelligence and Sustainable Decisions. *European Business Organization Law Review*, 24(1), 1–39. <https://doi.org/10.1007/s40804-022-00262-2>
- Zhao, J., & Gómez, B. (2023). Artificial Intelligence and Sustainable Decisions. *European Business Organization Law Review*, 24(1), 1–39. <https://doi.org/10.1007/s40804-022-00262-2>
- Zhao, Q., Jiang, M., Zhao, Z., Liu, F., & Zhou, L. (2024). The impact of green innovation on carbon reduction efficiency in China: Evidence from machine learning validation. *Energy Economics*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107525>

**Contribución de los autores**

Ambos autores contribuyeron por igual al desarrollo de este artículo.

**Disponibilidad de los datos**

Todos los conjuntos de datos relevantes para los hallazgos de este estudio están completamente disponibles dentro del artículo.

**Cómo citar este artículo (APA):**

Valero-Ancco, V. N., Lujano-Ortega, Y., & Bustinza-Choquehuanca, S. A. (2025). INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DERECHO AMBIENTAL: UNA PERSPECTIVA BIBLIOMÉTRICA GLOBAL. *Veredas Do Direito*, 22(2), e3353. <https://doi.org/10.18623/rvd.v22.n2.3353>