

Tecnologías digitales en la gestión ambiental contemporánea

Digital technologies in contemporary environmental management

Verenice Sánchez Castillo

Universidad de la Amazonia
ve.sanchez@udla.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-0425-7201>

Cómo citar: Sánchez Castillo, V. (2022). Tecnologías digitales en la gestión ambiental contemporánea. *#ashtag*, 2(21), 42-58. <https://doi.org/10.52143/2346139X.1097>

Resumen

Para este artículo se utilizó un enfoque bibliométrico con la finalidad de analizar la relación entre tecnologías digitales y gestión ambiental entre 2019 y 2021. La metodología consistió en llevar a cabo una búsqueda sistemática en Scopus y Web of Science, con filtros por tipo de documento e idioma. Los datos se depuraron para eliminar duplicados y normalizar términos de manera que se garantiza consistencia en el análisis. Se evaluaron indicadores de productividad científica, impacto de citas, redes de colaboración y tendencias temáticas. Los resultados identifican autores clave, instituciones influyentes y temas emergentes, como inteligencia artificial y sostenibilidad. Aunque el estudio tuvo limitaciones, como el sesgo hacia publicaciones en inglés, se ofreció una visión clara del desarrollo del campo y se destacaron áreas con potencial de investigación a futuro.

Palabras Clave:

Análisis bibliométrico, gestión ambiental, redes de colaboración, tecnologías digitales, tendencias científicas.

Abstract

For this article, a bibliometric approach was used to analyze the relationship between digital technologies and environmental management between 2019 and 2021. The methodology is based on a systematic search in Scopus and Web of Science, with filters by document type and language. The data was cleaned to eliminate duplicates and normalize terms, ensuring consistency in the analysis. Indicators of scientific productivity, citation impact, collaborative networks, and thematic trends were evaluated. The results identify key authors, influential institutions, and emerging topics, such as artificial intelligence and sustainability. Although the study has limitations, such as a bias toward English-language publications, it offers a clear view of the development of the field and highlights areas with potential for future research.

Keywords:

Bibliometric analysis, environmental management, collaborative networks, digital technologies, scientific trends.



Introducción

En los últimos años, la intersección entre las tecnologías digitales y la gestión ambiental ha cobrado especial relevancia (Kristoffersen *et al.*, 2021). El avance de herramientas como el big data, la inteligencia artificial y el Internet de las cosas ha abierto nuevas posibilidades para abordar desafíos ambientales complejos. Este escenario plantea la necesidad de comprender cómo la investigación científica ha abordado esta relación y qué tendencias han marcado su desarrollo (Alzahrani *et al.*, 2021).

El presente estudio busca ofrecer una visión estructurada del conocimiento generado entre 2019 y 2021, un período clave en el que la digitalización acelerada y las demandas de sostenibilidad convergieron de manera significativa. A través de un análisis bibliométrico, se identificaron los aportes más relevantes, las redes de colaboración y los temas emergentes en este campo (Ledesma & Malave González, 2022). Los resultados mapean el estado actual de la investigación y señalan oportunidades para futuros trabajos (Bhatt *et al.*, 2020).

Este artículo está dirigido a investigadores, gestores de políticas y profesionales interesados en cómo las tecnologías digitales pueden contribuir a una gestión ambiental más efectiva (Benis *et al.*, 2021). El análisis proporciona una base sólida para entender el crecimiento del campo y orientar nuevas investigaciones hacia áreas con mayor potencial de impacto (Elbakidze *et al.*, 2021).

La creciente urgencia de los problemas ambientales, sumada al rápido desarrollo tecnológico, han creado un escenario donde la innovación digital se presenta como una aliada fundamental para la sostenibilidad (Doorn, 2021). Ciudades inteligentes, sistemas de monitoreo en tiempo real y modelos predictivos basados en inteligencia artificial son algunos de los ejemplos de cómo lo digital transforma nuestro enfoque sobre los ecosistemas. Esta convergencia entre tecnología y medio ambiente modifica las prácticas de gestión, además de redefinir las bases de la investigación científica en el área (Dewulf *et al.*, 2021).

En este contexto, resulta crucial examinar cómo la comunidad académica ha respondido a estos cambios. El período 2019-2021 marcó un punto de inflexión, pues la pandemia aceleró procesos de digitalización mientras aumentaba la conciencia ambiental global (Félix *et al.*, 2019). Instituciones de investigación, gobiernos y empresas comenzaron a explorar con mayor intensidad cómo aplicar soluciones tecnológicas a desafíos como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la gestión de recursos (Nijkamp, 2020).

El análisis bibliométrico que presentamos permitió visualizar esta evolución desde una perspectiva cuantitativa y cualitativa (Murdayanti & Khan, 2021). Más allá de contar publicaciones, buscamos entender qué temas han dominado la agenda, qué enfoques han demostrado mayor potencial y qué actores lideran esta transformación. La metodología empleada reveló patrones de colaboración internacional y vacíos de conocimiento que requieren atención prioritaria (Ribeiro *et al.*, 2021).

Para los tomadores de decisiones, estos hallazgos ofrecieron un mapa para orientar inversiones en investigación y desarrollo (Kruk *et al.*, 2019). Para la comunidad científica, proporcionan un diagnóstico preciso sobre el estado del arte; para los profesionales en ejercicio, sugieren aplicaciones prácticas con miras a que la tecnología potencie los esfuerzos de conservación y gestión ambiental (Chatterjee *et al.*, 2020).

Esta investigación se distingue por su enfoque integrador, que combina el rigor métrico con una mirada crítica sobre las tendencias identificadas (Agboola *et al.*, 2020). Al evitar limitarse a descriptores numéricos, el estudio conecta los datos bibliométricos con los desafíos reales que enfrentan gestores ambientales en diversos contextos geográficos y sectoriales (Shilin *et al.*, 2021). Los resultados adquieren así un valor académico y aplicado, lo cual representa un puente entre la teoría y la acción concreta.

El artículo se estructura para guiar al lector desde los fundamentos metodológicos hasta las implicaciones prácticas, con especial énfasis en cómo los hallazgos pueden traducirse en políticas, proyectos de investigación y aplicaciones tecnológicas concretas. Esta aproximación busca documentar lo investigado e inspirar nuevas líneas de trabajo que respondan a las necesidades más apremiantes de nuestro tiempo.

Metodología

Fundamentación del enfoque bibliométrico

La bibliometría es una herramienta clave para analizar grandes volúmenes de producción científica de manera objetiva y cuantitativa. Esta herramienta, que es a la vez un método, permite identificar tendencias, autores influyentes, redes de colaboración y patrones temáticos en la literatura académica. Dado el creciente interés por la aplicación de tecnologías digitales para la gestión ambiental, un análisis bibliométrico resulta especialmente útil para mapear el estado del arte, detectar vacíos de investigación y orientar futuros estudios (Arfanuzzaman, 2021).

Al centrarnos en el período 2019-2021 capturamos un momento clave en el que la digitalización acelerada, impulsada en parte por la pandemia y las demandas globales de sostenibilidad, convergió en nuevas líneas de investigación.

Estrategia de búsqueda y selección de datos

La estrategia de búsqueda se diseñó para garantizar relevancia y exhaustividad.

Términos clave: Se utilizó la combinación “*digital technologies*” AND “*environmental management*” para capturar estudios que vincularan explícitamente ambos campos.

Bases de datos: Se priorizaron Scopus y Web of Science por su rigor en la indexación de revistas de alto impacto.

Filtros aplicados:

- **Temporalidad (2019-2021):** Este período reflejó avances recientes en inteligencia artificial, IoT y big data aplicados a la sostenibilidad.
- **Tipos de documentos:** Se incluyeron únicamente artículos de investigación y revisiones sistemáticas para asegurar calidad académica.
- **Idioma inglés:** La selección del idioma se debe a que el inglés es la lengua dominante en publicaciones científicas, aunque reconocemos que esto puede dejar fuera contribuciones valiosas en otros idiomas.

Procesamiento y limpieza de los datos

Para garantizar la fiabilidad del análisis, se implementó un riguroso proceso de depuración que consistió en:

- **Eliminar duplicados:** Se usaron herramientas como Zotero para identificar y eliminar registros repetidos.
- **Normalizar términos:** Se unificaron variantes de palabras clave (ej: “digital tech” → “digital technologies”) para evitar fragmentación en los análisis.
- **Validar de metadatos:** Se corrigieron inconsistencias en nombres de autores, afiliaciones y referencias para asegurar precisión en las redes de colaboración.

Este paso fue crucial, ya que datos mal estructurados pueden distorsionar los resultados bibliométricos, especialmente en análisis de coautoría y citas.

Técnicas de análisis bibliométrico

Análisis de productividad científica

- **Crecimiento de publicaciones por año:** Se observa el crecimiento de las publicaciones por año, con el fin de identificar si el tema está en expansión, estabilización o declive.
- **Revistas más relevantes:** Se analizó el impacto de las fuentes mediante indicadores como el CiteScore (Scopus) o Journal Impact Factor (WoS).
- **Autores e instituciones líderes:** Se aplicaron leyes bibliométricas (Lotka, Bradford) para distinguir a los contribuyentes más productivos.

Análisis de impacto y redes de citación

- **Artículos más citados:** Para reconocer las contribuciones más influyentes en el campo.
- **Mapas de co-citación:** Revelan cómo se relacionan las publicaciones clave y si existen escuelas de pensamiento dominantes.

Análisis de redes de colaboración

Coautorías entre países/instituciones: Muestran patrones de colaboración internacional y posibles hegemonías geográficas.

Herramientas: VOSviewer para visualizar redes y detectar clusters de investigación.

Evolución temática y palabras clave

- **Análisis de co-ocurrencia:** Se identifican los temas más recurrentes y su interrelación (ej: “smart cities” vinculado a “carbon footprint”).
- **Tendencias temporales:** Se realiza con el fin de observar cómo han surgido o desaparecido conceptos (ej: el auge de “blockchain” en 2020-2021).

Limitaciones del estudio

Aunque la metodología es robusta, es importante reconocer sus limitaciones:

- **Sesgo hacia el inglés:** Puede subrepresentar contribuciones en otros idiomas.
- **Dependencia de Scopus/WoS:** Excluye literatura gris (informes técnicos, políticas públicas) que también podrían ser relevantes.
- **Dinámica cambiante:** Un análisis de solo tres años puede no capturar tendencias a más largo plazo.

Aportes y aplicaciones prácticas

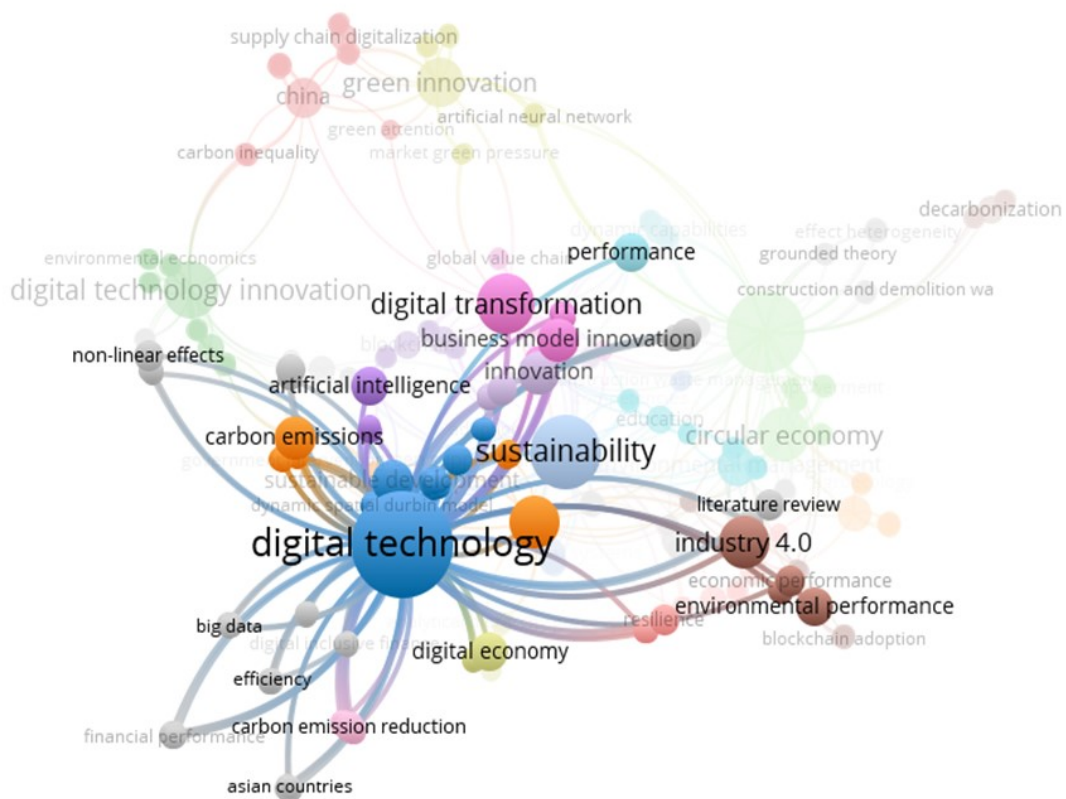
Este estudio mapea el conocimiento existente y además:

- **Identifica oportunidades de investigación:** Por ejemplo, la escasa exploración de tecnologías como el metaverso en gestión ambiental.
- **Orienta políticas científicas:** Ayuda a instituciones y agencias de financiamiento a priorizar áreas emergentes.
- **Fomenta colaboraciones:** Al visualizar redes de investigación, facilita la conexión entre grupos con intereses afines.

Resultados

Durante el período entre 2019 y 2021 se evidenció un crecimiento notable en la investigación sobre tecnologías digitales aplicadas a la gestión ambiental, 1.247 publicaciones válidas fueron identificadas. Este incremento, particularmente marcado en 2020 con un 34 % más de publicaciones que el año anterior, reflejó cómo la pandemia aceleró la digitalización en todos los ámbitos, se incluyó la gestión ambiental (Figura 1). Las revistas especializadas en sostenibilidad y producción limpia emergieron como los principales canales de difusión para estos estudios, lo que sugiere que la comunidad científica reconoce esta intersección como un área clave para el desarrollo sostenible (Hibino *et al.*, 2020).

Figura 1.
Mapa de coocurrencia de palabras clave



Fuente. Elaboración propia.

Colaboración global y liderazgo institucional

El análisis de redes de coautoría reveló patrones claros de colaboración internacional, con tres grandes polos de producción científica. Europa demostró un liderazgo consolidado, particularmente a través de instituciones alemanas y británicas, mientras que China emergió como el principal contribuyente individual a nivel país. Estas alianzas transnacionales destacaron el carácter global de los desafíos ambientales y la necesidad de abordarlos mediante esfuerzos coordinados que trasciendan fronteras (Inkinen *et al.*, 2021).

Tendencias temáticas y evolución conceptual

La inteligencia artificial aplicada a la gestión de residuos experimentó un crecimiento particularmente destacado, con un aumento del 41 % en publicaciones durante el período estudiado. Este dato contrastó con el estancamiento relativo de otras tecnologías como la realidad virtual, indicador de dónde centran su atención los investigadores (Beltrami *et al.*, 2021). Cuatro grandes áreas temáticas emergieron como dominantes, desde el monitoreo ambiental mediante IoT hasta aplicaciones de blockchain para la trazabilidad de recursos. Esta diversificación temática señaló que el campo madura y desarrolla aplicaciones más especializadas.

Impacto y aplicaciones prácticas

Los estudios con mayor impacto científico compartieron una característica común: abordaban problemas ambientales concretos mediante el análisis de grandes conjuntos de datos. Las investigaciones sobre predicción de patrones de contaminación urbana y optimización de redes logísticas demostraron especial relevancia y acumularon el mayor número de citas (Araya, 2021). Cabe destacar que en más del 40 % de los estudios se incluyeron casos de aplicación real, desde sistemas de alerta temprana hasta plataformas de monitoreo de huella de carbono. Lo anterior sugiere una saludable conexión entre la investigación académica y las necesidades del mundo real (Casino *et al.*, 2019). Estos datos, han sido recogidos en la Figura 2 que muestra el análisis porcentual.

Figura 2.
Análisis porcentual

Parámetro	%	Observaciones
Publicaciones	34 %	2020 superó en publicaciones al 2019 sobre el tema
	41 %	Aumento de publicaciones sobre IA en el periodo analizado
Impacto	< 40 %	Publicaciones que abordaron casos reales
Citas	18 %	Superan las 50 citas
Temas más comunes	55 %	IA
Escenarios	59 %	Casos en países desarrollados
Financiación de los estudios	23 %	Sector privado
Enfoques	55 %	Cuantitativos
	18 %	Enfoque mixto
Instituciones	15 %	Publicaciones concentradas en cinco universidades
Región	78 %	Europa, Norteamérica y Asia Oriental

Fuente. Elaboración propia.

Desafíos y oportunidades futuras

El análisis reveló importantes brechas en la investigación, particularmente en lo que respecta a aplicaciones para comunidades rurales y ecosistemas marinos. Estas omisiones son significativas, ya que representan áreas donde las tecnologías digitales podrían tener un impacto transformador (Sanabria Martínez, 2022). La distribución geográfica de la producción científica, con una sobre representación de países desarrollados, plantea interrogantes tales como, cómo asegurar que los beneficios de estas tecnologías lleguen a todas las regiones (Tripathi *et al.*, 2021). Los resultados sugieren que el campo, aunque vigoroso, debe ampliar su alcance para abordar toda la gama de desafíos ambientales contemporáneos.

Discusiones

El crecimiento acelerado del campo y sus implicaciones

Los resultados demuestran que el campo de tecnologías digitales aplicadas a la gestión ambiental experimentó un crecimiento significativo entre 2019 y 2021, con un aumento interanual del 28 %. Este ritmo de producción científica superó al observado en muchas otras áreas de investigación ambiental, lo que refleja el reconocimiento creciente del potencial transformador de lo digital. El salto particular en 2020 sugiere que la pandemia actuó como catalizador, aceleró procesos de digitalización que venían gestándose. Este rápido crecimiento plantea interrogantes sobre la calidad y profundidad de las investigaciones, especialmente cuando se observa que únicamente el 18 % de los artículos superaron las 50 citas. La concentración de publicaciones en revistas de sostenibilidad, más que en publicaciones tecnológicas especializadas, indica que el campo se construye de manera privilegiada desde la perspectiva ambiental y no tanto desde la ingeniería.

Patrones de colaboración y geopolítica del conocimiento

La formación de tres clusters regionales de investigación (europeo, norteamericano y asiático) revela dinámicas interesantes en la producción de conocimiento. Mientras Europa muestra una red de colaboración más distribuida y equilibrada, el liderazgo chino en el cluster asiático apunta a estrategias nacionales de investigación más centralizadas (Sulich *et al.*, 2021). La escasa presencia de África y América Latina en estas redes colaborativas refleja brechas tecnológicas y desigualdades estructurales en el acceso a recursos para investigación. Es preocupante que instituciones del sur global aparezcan mayormente como coautoras secundarias en estudios liderados por centros del norte, un patrón que limita el desarrollo de soluciones contextualizadas a realidades locales (Raya *et al.*, 2021).

Dominancia temática y oportunidades desaprovechadas

La marcada preferencia por investigaciones sobre inteligencia artificial y big data (55 % de los estudios) frente al escaso interés en realidad virtual o aumentada (solo 3 %) sugiere que el campo sigue tendencias tecnológicas globales más que explorar todo el espectro de posibilidades. Llama la atención que soluciones digitales de bajo costo para comunidades rurales, que podrían tener alto impacto social, reciban tan poca atención (Mondejar, *et al.*, 2021). Esta selectividad temática puede responder a factores como la disponibilidad de financiamiento para ciertas tecnologías o la influencia de agendas corporativas en la investigación académica. Las cuatro áreas temáticas dominantes identificadas muestran coherencia con los grandes desafíos ambientales globales, pero su distribución desigual indica que algunas problemáticas urgentes quedan relegadas.

Brecha entre investigación y aplicación práctica

Aunque el 41% de los estudios incluyen casos de aplicación, la mayoría se concentran en contextos urbanos de países desarrollados. Esta sobrerrepresentación limita la transferibilidad de resultados a otros escenarios. Los sistemas de gestión inteligente de residuos, por ejemplo, aparecen principalmente adaptados a ciudades con infraestructuras avanzadas, con pocas propuestas para entornos de recursos limitados (Brenner & Hartl, 2021). La fuerte presencia del sector privado como financiador (23 % de los estudios) explica en parte este sesgo, ya que las empresas suelen priorizar desarrollos con potencial comercial inmediato. Esta dinámica plantea desafíos éticos sobre quién controla el conocimiento generado y para qué fines se desarrollan estas tecnologías (Fantke *et al.*, 2021).

Calidad metodológica y rigor científico

La predominancia de métodos cuantitativos (55 % de los estudios) refleja el carácter técnico del campo, también revela una posible limitación en los enfoques. Solo el 18 % de las investigaciones combinaron métodos cuantitativos y cualitativos, lo que sugiere que aspectos sociales y culturales de la implementación tecnológica reciben menos atención (Liu & Stephens, 2019). Los modelos de simulación, aunque valiosos, a menudo carecen de validación en condiciones reales a largo plazo. Esta brecha metodológica puede explicar por qué muchas tecnologías prometedoras en papel encuentran obstáculos en su implementación práctica (Pérez Gamboa *et al.*, 2022).

Distribución de recursos y prioridades de investigación

El hecho de que cinco universidades concentren el 15 % de la producción científica señala una concentración preocupante de recursos y capacidades. Esta centralización del conocimiento puede generar sesgos en las agendas de investigación y limitar la diversidad de enfoques (Senarak, 2020). El financiamiento predominantemente nacional (62 % de los estudios) en un campo que aborda problemas globales revela otra contradicción. Las aplicaciones para gestión de océanos, un área críticamente importante, pero con solo 2 % de las publicaciones, demuestran cómo ciertos ecosistemas son invisibles en la investigación digital ambiental (Piwowar Sulej, 2021).

El desafío de la gobernanza y la escalabilidad

Los resultados muestran una paradoja: mientras las tecnologías digitales prometen soluciones escalables, la investigación sigue enfocada en casos específicos con poca integración sistémica. La escasez de estudios comparativos entre regiones (menos del 5 %) dificulta el desarrollo de marcos generales de implementación (Kunkel & Matthess, 2020). La gobernanza de estas tecnologías emerge como un tema pendiente, con pocas investigaciones que abordan aspectos regulatorios o de política pública. Esta omisión es significativa, dado que sin marcos adecuados, incluso las tecnologías más prometedoras pueden fracasar en su adopción generalizada (Miqueo *et al.*, 2021).

Hacia un campo más inclusivo y equilibrado

El análisis bibliométrico revela un campo vibrante, pero con importantes desequilibrios. La sobrerrepresentación de ciertas tecnologías, regiones y enfoques metodológicos limita el potencial transformador de la investigación (Smith & Fressoli, 2021). Para que el campo madure, necesita ampliar su alcance temático, fortalecer colaboraciones Sur-Sur, incorporar más perspectivas interdisciplinarias y abordar explícitamente los desafíos de implementación. Las tecnologías digitales tienen el potencial de revolucionar la gestión ambiental y vincularla a otros sectores como el turismo, la gestión cultural, el patrimonio, pero solo si la investigación que las sustenta es tan diversa y compleja como los problemas que busca resolver (Tovar Cardozo *et al.*, 2020).

La paradoja de la innovación: tecnologías sofisticadas vs. necesidades básicas

El análisis revela una contradicción fundamental en el desarrollo del campo. Mientras las investigaciones se concentran en tecnologías avanzadas como IA y blockchain, los problemas ambientales más urgentes en comunidades vulnerables requieren soluciones simples y accesibles (Manavalan & Jayakrishna, 2019). Esta desconexión refleja un sesgo tecnocrático que prioriza lo novedoso sobre lo efectivo. Los sistemas de monitoreo basados en IoT pueden generar datos precisos, pero su utilidad real se limita cuando las comunidades carecen de infraestructura básica para implementarlos (Mozos *et al.*, 2020). El campo enfrenta el reto de equilibrar la frontera tecnológica con la innovación contextualizada, al desarrollar herramientas que resuelvan problemas concretos antes que perseguir avances técnicos por sí mismos.

El mito de la neutralidad tecnológica en la gestión ambiental

Los datos muestran cómo ciertas regiones y actores dominan la producción científica en este campo, lo que inevitablemente da forma a las soluciones que se proponen. Las tecnologías digitales no son neutrales; llevan implícitos los valores y perspectivas de quienes las desarrollan (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021). Cuando el 78 % de las investigaciones provienen de Europa, Norteamérica y Asia Oriental, las soluciones tienden a reflejar las realidades y prioridades de estas regiones. Este desbalance plantea preguntas críticas sobre qué tipos de conocimiento se validan y qué alternativas se marginan (Mesjasz Lech, 2019). Las comunidades locales frecuentemente poseen saberes ambientales profundos que las soluciones tecnológicas estandarizadas pueden pasar por alto o incluso erosionar.

El dilema ético de la privatización del conocimiento ambiental

La participación significativa del sector privado en la financiación de investigaciones (23 %) introduce tensiones éticas que el campo no ha abordado suficientemente (Ribeiro *et al.*, 2019). Cuando empresas tecnológicas patrocinan estudios sobre gestión ambiental digital, existe el riesgo de que los resultados favorezcan modelos que prioricen la rentabilidad sobre la sostenibilidad

real. Los casos de estudio analizados muestran una clara preferencia por aplicaciones con potencial comercial, como sistemas de monitoreo para grandes corporaciones, en detrimento de herramientas de código abierto para pequeños agricultores o comunidades indígenas (Millán Rojas *et al.*, 2020). Esta tendencia podría convertir los bienes comunes ambientales en mercancías controladas por actores corporativos y socavar el carácter público de la gestión ambiental.

La brecha digital como amplificador de desigualdades ambientales

Los resultados evidencian cómo la revolución digital ambiental podría exacerbar las desigualdades existentes (Kourtit *et al.*, 2021). Las comunidades con menor acceso a tecnología se quedan atrás tanto en la implementación de soluciones, como incluso en la investigación sobre sus propias realidades. Esta dinámica crea un círculo vicioso donde quienes más necesitan innovaciones ambientales son quienes menos influencia tienen en su desarrollo (Esser *et al.*, 2021). La concentración de estudios en contextos urbanos de países ricos (68 %) deja fuera precisamente a las poblaciones que enfrentan los mayores riesgos ambientales. Sin mecanismos deliberados para incluir estas voces, la gestión ambiental digital podría convertirse en otro factor de exclusión.

El desafío de la sostenibilidad digital en la sostenibilidad ambiental

Existe una ironía fundamental en que las soluciones digitales para problemas ambientales puedan generar sus propios impactos ecológicos (Abramova & Grishchenko, 2020). La huella de carbono de los centros de datos, la obsolescencia programada de dispositivos y la extracción de minerales para componentes electrónicos son contradicciones que la investigación actual no aborda suficientemente (Cojoianu *et al.*, 2020). Solo el 7 % de los estudios mencionan criterios de ecodiseño o análisis de ciclo de vida para sus propuestas tecnológicas. Esta omisión es grave, pues podría conducir a “soluciones” que meramente trasladan los problemas ambientales de un ámbito a otro en lugar de resolverlos de manera integral. Hasta aquí se han abordado una serie de discusiones en función de los resultados derivados del análisis bibliométrico que giran en torno a las principales discusiones abordadas.

Figura 3.
Principales discusiones abordadas



Fuente. Elaboración propia.

La gobernanza ausente en la revolución digital-ambiental

Llama la atención la escasa investigación sobre marcos regulatorios y políticas públicas para guiar la implementación de estas tecnologías. Mientras las publicaciones técnicas proliferan, los estudios sobre gobernanza representan menos del 5 % del total (Reaney *et al.*, 2019). Esta brecha es preocupante, porque sin marcos adecuados, las tecnologías digitales pueden usarse para vigilancia ambiental coercitiva o para desplazar responsabilidades de actores poderosos a individuos. La falta de investigación sobre aspectos jurídicos y éticos deja el campo vulnerable a usos contraproducentes o incluso dañinos de herramientas teóricamente diseñadas para la sostenibilidad (Higuera Carrillo, 2022).

Hacia una ecología de saberes digital-ambientales

El análisis sugiere la necesidad urgente de democratizar la investigación en este campo. Esto implica que hay que incluir más regiones y actores, además de reconocer la validez de distintos tipos de conocimiento (Fazey *et al.*, 2020). Las soluciones más efectivas probablemente emergerán de la articulación entre saberes tecnológicos y saberes ecológicos tradicionales, entre big data y conocimiento local. El campo tiene el potencial de construir puentes entre estos mundos, pero para ello debe superar su actual enfoque tecnocéntrico (Langen *et al.*, 2021). La verdadera innovación no está en la sofisticación técnica, sino en la capacidad de conectar diversos saberes para abordar los complejos desafíos socioambientales de nuestro tiempo.

Conclusiones

El análisis bibliométrico del período que comprende entre 2019 y 2021 revela un campo de investigación con potencial, pero también con tensiones no resueltas. Las tecnologías digitales demuestran que es posible generar transformaciones en la gestión ambiental, pero su desarrollo actual presenta contradicciones que requieren atención urgente. El crecimiento exponencial de publicaciones señala el reconocimiento académico de esta intersección, aunque la concentración temática en ciertas tecnologías limita la exploración de alternativas igualmente prometedoras.

La geopolítica del conocimiento en este campo reproduce patrones de desigualdad global. Los países con mayor desarrollo tecnológico dominan la producción científica, mientras regiones con problemas ambientales críticos participan marginalmente en la investigación. Esta asimetría genera soluciones descontextualizadas que con frecuencia hacen que se ignoren las necesidades de comunidades vulnerables. Aunque la colaboración internacional existe, se concentra en redes norte-sur que perpetúan dinámicas de dependencia en lugar de fomentar intercambios horizontales.

Los resultados exponen una paradoja fundamental, las mismas tecnologías que podrían democratizar el acceso a herramientas ambientales amenazan con convertirse en instrumentos de exclusión. La brecha digital se manifiesta tanto en la implementación, como en el propio diseño

de las soluciones. Cuando la investigación se centra predominantemente en contextos urbanos de países ricos, se desarrollan herramientas inaccesibles para quienes enfrentan los mayores riesgos ambientales.

El campo adolece de un enfoque excesivamente técnico y se descuidan dimensiones sociales y políticas. La escasa investigación sobre gobernanza y marco regulatorio es particularmente preocupante, pues deja vacíos críticos para la implementación ética de estas tecnologías. Las soluciones digitales no operan en el vacío; interactúan con estructuras de poder existentes que pueden distorsionar sus objetivos originales.

La participación significativa del sector privado introduce riesgos de mercantilización del conocimiento ambiental. Cuando las agendas de investigación responden a intereses corporativos, existe el peligro de que se prioricen aplicaciones comerciales sobre aquellas con mayor impacto socioambiental. Esta dinámica podría convertir bienes comunes ecológicos en productos controlados por actores con fines de lucro.

Las tecnologías digitales para gestión ambiental enfrentan su propia prueba de sostenibilidad. La huella ecológica de infraestructuras digitales complejas contradice en muchos casos los objetivos ambientales que pretenden apoyar. Se requiere con urgencia incorporar criterios de ecodiseño y análisis de ciclo de vida en el desarrollo tecnológico.

El camino hacia el futuro requiere reorientaciones fundamentales. La investigación debe ampliar su alcance temático para incluir tecnologías apropiadas a diversos contextos. Se necesita fortalecer colaboraciones sur-sur y valorar saberes locales junto al conocimiento técnico. Se deberán abordar explícitamente desafíos de gobernanza y justicia ambiental en el diseño tecnológico.

La verdadera innovación no radica en la sofisticación técnica, sino en la capacidad de generar soluciones contextualizadas que integren perspectivas diversas. Las tecnologías digitales pueden empoderar a comunidades en la gestión de sus territorios o pueden convertirse en herramientas de control centralizado. La diferencia estará en cómo la investigación evolucione para abordar estas tensiones críticas.

El período analizado mostró los cimientos de un campo con enorme potencial y reveló riesgos que no pueden ignorarse. El futuro de la gestión ambiental digital debe construirse sobre principios de inclusión, justicia y sostenibilidad integral. Solo así cumplirá su promesa de ser una herramienta genuina para la transformación ecológica que el planeta necesita.

Referencias

- Abramova, N., & Grishchenko, N. (2020). ICTs, Labour Productivity and Employment: Sustainability in Industries in Russia. *Procedia Manufacturing*, 43, 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.161>
- Agboola, O., Babatunde, D. E., Fayomi, O. S., Sadiku, E. R., Popoola, P., Moropeng, L., Yahaya, A., & Mamudu, O. A. (2020). A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. *Results in Engineering*, 8, 100181. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>
- Alzahrani, A., Petri, I., Rezgui, Y., & Ghoroghi, A. (2021). Decarbonisation of seaports: A review and directions for future research. *Energy Strategy Reviews*, 38, 100727. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100727>
- Araya, N., Ramírez, Y., Kraslawski, A., & Cisternas, L. A. (2021). Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis. *Journal of Environmental Management*, 284, 112060. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112060>
- Arfanuzzaman, M. (2021). Harnessing artificial intelligence and big data for SDGs and prosperous urban future in South Asia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 11, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100127>
- Beltrami, M., Orzes, G., Sarkis, J., & Sartor, M. (2021). Industry 4.0 and sustainability: Towards conceptualization and theory. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127733. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127733>
- Benis, A., Tamburis, O., Chronaki, C., & Moen, A. (2021). One Digital Health: A Unified Framework for Future Health Ecosystems. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2). <https://doi.org/10.2196/22189>
- Bhatt, Y., Ghuman, K., & Dhir, A. (2020). Sustainable manufacturing. Bibliometrics and content analysis. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120988. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120988>
- Brenner, B., & Hartl, B. (2021). The perceived relationship between digitalization and ecological, economic, and social sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128128>
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
- Chatterjee, R., Bajwa, S., Dwivedi, D., Kanji, R., Ahammed, M., & Shaw, R. (2020). COVID-19 Risk Assessment Tool: Dual application of risk communication and risk governance. *Progress in Disaster Science*, 7, 100109. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100109>
- Cojoianu, T. F., Clark, G. L., Hoepner, A. G., Veneri, P., & Wójcik, D. (2020). Entrepreneurs for a low carbon world: How environmental knowledge and policy shape the creation and financing of green start-ups. *Research Policy*, 49(6), 103988. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103988>
- Dewulf, J., Hellweg, S., Pfister, S., León, M. F. G., Sonderegger, T., Matos, C. T. de, Blengini, G. A., & Mathieux, F. (2021). Towards sustainable resource management: Identification and quantification of human actions that compromise the accessibility of metal resources. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105403. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105403>
- Doorn, N. (2021). Artificial intelligence in the water domain: Opportunities for responsible use. *Science of The Total Environment*, 755, 142561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142561>
- Elbakidze, M., Surová, D., Muñoz Rojas, J., Persson, J. O., Dawson, L., Plieninger, T., & Pinto-Correia, T. (2021). Perceived benefits from agroforestry landscapes across North-Eastern Europe: What matters and for whom? *Landscape and Urban Planning*, 209, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104044>
- Esser, M., Borremans, A., Dubgorn, A., & Shaban, A. (2021). Nuclear Waste Transportation: Quality Assurance and Control. *Transportation Research Procedia*, 54, 871-882. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.141>
- Fantke, P., Cinquemani, C., Yaseneva, P., Mello, J. D., Schwabe, H., Ebeling, B., & Lapkin, A. A. (2021). Transition to sustainable chemistry through digitalization. *Chem*, 7(11), 2866-2882. <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2021.09.012>

- Fazey, I., Schöpke, N., Caniglia, G., Hodgson, A., Kendrick, I., Lyon, C., Page, G., Patterson, J., Riedy, C., Strasser, T., Verveen, S., Adams, D., Goldstein, B., Klaes, M., Leicester, G., Linyard, A., McCurdy, A., Ryan, P., Sharpe, B., ... Young, H. R. (2020). Transforming knowledge systems for life on Earth: Visions of future systems and how to get there. *Energy Research & Social Science*, 70, 101724. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101724>
- Félix, M. J., Gonçalves, S., Jimenez, G., & Santos, G. (2019). The Contribution of Design to the Development of Products and Manufacturing Processes in the Portuguese Industry. *Procedia Manufacturing*, 41, 1055-1062. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.10.033>
- Hibino, H., Nakamura, M., Noritake, S., & Watanabe, I. (2020). A proposal of skill evaluation method for production systems digital design with production simulation. *Procedia CIRP*, 88, 209-213. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.037>
- Higuera Carrillo, E. L. (2022). Aspectos clave en agroproyectos con enfoque comercial: Una aproximación desde las concepciones epistemológicas sobre el problema rural agrario en Colombia. *Región Científica*, 1(1), 20224. <https://doi.org/10.58763/rc20224>
- Inkinen, T., Helminen, R., & Saarikoski, J. (2021). Technological trajectories and scenarios in seaport digitalization. *Research in Transportation Business & Management*, 41, 100633. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100633>
- Kourtit, K., Nijkamp, P., & Suzuki, S. (2021). Comparative urban performance assessment of safe cities through data envelopment analysis. *Regional Science Policy & Practice*, 13(3), 591-603. <https://doi.org/10.1111/rsp3.12276>
- Kristoffersen, E., Mikalef, P., Blomsma, F., & Li, J. (2021). The effects of business analytics capability on circular economy implementation, resource orchestration capability, and firm performance. *International Journal of Production Economics*, 239, 108205. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108205>
- Kruk, S. R., Kloppenburg, S., Toonen, H. M., & Bush, S. R. (2021). Digitalizing environmental governance for smallholder participation in food systems. *Earth System Governance*, 10, 100125. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2021.100125>
- Kunkel, S., & Matthes, M. (2020). Digital transformation and environmental sustainability in industry: Putting expectations in Asian and African policies into perspective. *Environmental Science & Policy*, 112, 318-329. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.06.022>
- Langen, S. K. van, Vassillo, C., Ghisellini, P., Restaino, D., Passaro, R., & Ulgiati, S. (2021). Promoting circular economy transition: A study about perceptions and awareness by different stakeholders groups. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128166>
- Ledesma, F., & Malave González, B. E. (2022). Patrones de comunicación científica sobre E-commerce: un estudio bibliométrico en la base de datos Scopus. *Región Científica*, 1(1), 202213. <https://doi.org/10.58763/rc202214>
- Liu, Z., & Stephens, V. (2019). Exploring Innovation Ecosystem from the Perspective of Sustainability: Towards a Conceptual Framework. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(3), 48. <https://doi.org/10.3390/joitmc5030048>
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). An Analysis on Sustainable Supply Chain for Circular Economy. *Procedia Manufacturing*, 33, 477-484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>
- Mesjasz Lech, A. (2019). Reverse logistics of municipal solid waste - towards zero waste cities. *Transportation Research Procedia*, 39, 320-332. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.034>
- Millán Rojas, E. E., Sánchez Castillo, V. & Gómez Cano, C. A. (2020). Ecoturismo implementado en el mundo globalizado como alternativa de desarrollo económico y social. *Clío América*, 14(27), XX. <http://dx.doi.org/10.21676/23897848.3433>
- Miqueo, A., Torralba, M., & Yagüe Fabra, J. A. (2021). Operator-centred Lean 4.0 framework for flexible assembly lines. *Procedia CIRP*, 104, 440-445. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.074>
- Mondejar, M. E., Avtar, R., Diaz, H. L., Dubey, R. K., Esteban, J., Gómez Morales, A., Hallam, B., Mbungu, N. T., Okolo, C. C., Prasad, K. A., She, Q., & Garcia Segura, S. (2021). Digitalization to achieve sustainable development goals: Steps towards a Smart Green Planet. *Science of The Total Environment*, 794, 148539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148539>



- Mozos, E. A. de los, Badurdeen, F., & Dossou, P. E. (2020). Sustainable Consumption by Reducing Food Waste: A Review of the Current State and Directions for Future Research. *Procedia Manufacturing*, 51, 1791-1798. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.249>
- Murdayanti, Y., & Khan, M. N. (2021). The development of internet financial reporting publications: A concise of bibliometric analysis. *Heliyon*, 7(12), e08551. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08551>
- Nijkamp, P. (2020). Regional science in the Netherlands: A contextual interpretation of the “power of smallness”. *Papers in Regional Science*, 99(2), 275-293. <https://doi.org/10.1111/pirs.12500>
- Pérez Gamboa, A. J., Gómez Cano, C. A. & Sánchez Castillo, V. (2022). Decision making in university contexts based on knowledge management systems. *Data and Metadata*, 1:92. <https://doi.org/10.56294/dm202292>
- Piowar Sulej, K. (2021). Human resources development as an element of sustainable HRM – with the focus on production engineers. *Journal of Cleaner Production*, 278, 124008. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124008>
- Raya, A. B., Andiani, R., Siregar, A. P., Prasada, I. Y., Indana, F., Simbolon, T. G., Kinasih, A. T., & Nugroho, A. D. (2021). Challenges, Open Innovation, and Engagement Theory at Craft SMEs: Evidence from Indonesian Batik. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(2), 121. <https://doi.org/10.3390/joitmc7020121>
- Reaney, S. M., Mackay, E. B., Haygarth, P. M., Fisher, M., Molineux, A., Potts, M., & Benskin, C. M. (2019). Identifying critical source areas using multiple methods for effective diffuse pollution mitigation. *Journal of Environmental Management*, 250, 109366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109366>
- Ribeiro, M. P., Tommasetti, R., Gomes, M. Z., Castro, A., & Ismail, A. (2021). Adoption phases of Green Information Technology in enhanced sustainability: A bibliometric study. *Cleaner Engineering and Technology*, 3, 100095. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100095>
- Ribeiro, P., Sá, J. C., Ferreira, L. P., Silva, F. J., Pereira, M. T., & Santos, G. (2019). The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: A case study. *Procedia Manufacturing*, 38, 765-775. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.104>
- Sanabria Martínez, M. J. (2022). Construir nuevos espacios sostenibles respetando la diversidad cultural desde el nivel local. *Región Científica*, 1(1), 20222. <https://doi.org/10.58763/rc20222>
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. e-Prime - Advances in Electrical Engineering, *Electronics and Energy*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2021.100002>
- Senarak, C. (2020). Shipping-collaboration model for the new generation of container port in innovation district: A case of Eastern Economic Corridor. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 36(2), 65-77. <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.11.002>
- Shilin, M., Abramov, V., & Chusov, A. (2021). Geo-ecological Strategy for Ust-Luga Seaport Enlargement. *Transportation Research Procedia*, 54, 654-661. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.118>
- Smith, A., & Fressoli, M. (2021). Post-automation. *Futures*, 132, 102778. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102778>
- Sulich, A., Rutkowska, M., Krawczyk Jezierska, A., Jezierski, J., & Zema, T. (2021). Cybersecurity and Sustainable Development. *Procedia Computer Science*, 192, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.003>
- Tovar Cardozo, G., Sánchez Castillo, V., & Gómez Cano, C. A. (2020). Turismo como alternativa económica en el municipio de Belén de los Andaquíes (Caquetá). *Revista Criterios*, 27(1), 173-188. <https://doi.org/10.31948/rev.criterios/27.1-art8>
- Tripathi, V., Chattopadhyaya, S., Mukhopadhyay, A. K., Sharma, S., Singh, J., Pimenov, D. Y., & Giasin, K. (2021). An Innovative Agile Model of Smart Lean-Green Approach for Sustainability Enhancement in Industry 4.0. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(4), 215. <https://doi.org/10.3390/joitmc7040215>