

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

**Análisis Bibliométrico de la Inteligencia Artificial en el
Monitoreo de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos**

AUTOR:

Karla Paulina Merino Salazar

TUTOR:

Mgs. Maricela Carpio Arias

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Karla Paulina Merino Salazar** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **PROMOCIÓN DEL DESARROLLO ECONÓMICO: ECONOMÍA VERDE** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 11 julio de 2024.



Firmado electrónicamente por:
**KARLA PAULINA
MERINO SALAZAR**

Karla Paulina Merino Salazar

1400516512

Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Marcela Maricela Carpio Arias** en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Karla Paulina Merino Salazar**, cuyo tema es **Análisis Bibliométrico de la Inteligencia Artificial en el Monitoreo de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos**, que aporta a la Línea de Investigación PROMOCIÓN DEL DESARROLLO ECONÓMICO: ECONOMÍA VERDE, previo a la obtención del Grado Magister en Biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 11 julio de 2024,



Marcela Maricela Carpio Arias

0940092901

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. MERINO SALAZAR KARLA PAULINA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "**ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SISTEMAS LÓTICOS**", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.50
SUSTENTACIÓN	40.00
PROMEDIO	99.50
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado digitalmente por:
JUAN DIEGO VALENZUELA COBOS

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por:
JORGE FABRICIO GUEVARA VIEJO

Ph.D. GUEVARA VIEJO JORGE FABRICIO
VOCAL



Firmado digitalmente por:
DIEGO GEOVANNY BARZALLO GRANIZO

Mgs. BARZALLO GRANIZO DIEGO GEOVANNY
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mi amada hija Canela:

En este trabajo de investigación, que hoy culmina con orgullo y satisfacción, quiero dedicarte las líneas más sentidas de mi corazón. Cada página, cada aprendizaje, ha estado iluminado por tu sonrisa, tu amor y tu espíritu inquieto.

Eres mi fuente de inspiración inagotable. Tu curiosidad insaciable me impulsa a explorar nuevos horizontes, a buscar respuestas a las preguntas más complejas y a perseguir mis sueños con determinación. En ti veo reflejada la infinita capacidad de asombro que define al ser humano, esa chispa que nos lleva a descubrir lo desconocido y a transformar el mundo.

Este trabajo de investigación, dedicado al estudio de la calidad del agua, es un reflejo de mi pasión por la ciencia y mi compromiso por un futuro mejor. En cada paso del camino, he pensado en ti, imaginando cómo despertaría tu interés por el conocimiento y cómo te animaría a seguir tus propios sueños sin importar los obstáculos.

Canela, eres mi luz, mi brújula y mi mayor motivación. Cada logro que alcanzo es una victoria compartida, un motivo de orgullo para ambas.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar mi trabajo de investigación, me embarga un profundo sentimiento de gratitud hacia quienes han sido pilares fundamentales en mi camino.

El amor incondicional y el apoyo inquebrantable de mi familia han sido el motor que me ha impulsado a perseguir mis sueños y alcanzar mis metas.

A mis queridos padres, Carlos y Mónica, les expreso mi más sincero agradecimiento por su confianza, paciencia y por creer en mí desde el primer momento.

A mi compañero de vida Luis, le agradezco infinitamente su amor incondicional, su comprensión y su apoyo constante. A mi pequeña Canela por acompañarme con su alegría y amor puro.

A mi tutora Maricela Carpio, le expreso mi más profunda gratitud por su invaluable guía, su paciencia y su confianza en mi trabajo. Sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

Resumen

Los sistemas lóticos son componentes hídricos esenciales amenazados por la contaminación, el cambio climático y otras actividades humanas. Las tecnologías de inteligencia artificial (IA) tienen potencial para abordar estos desafíos, proporcionando herramientas innovadoras para el monitoreo, la gestión y el análisis de la calidad del agua. El objetivo de esta investigación es analizar la producción científica acerca de la IA en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos usando técnicas de bibliometría, para lo cual se ha planteado las siguientes preguntas:

¿Cuáles son las principales tecnologías de IA utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos según la literatura científica?

¿Qué tendencias y patrones emergen en la investigación bibliométrica sobre la aplicación de IA en este campo?

¿Cuáles son las principales brechas y desafíos identificados en la literatura existente?

¿Qué recomendaciones pueden hacerse para orientar futuras investigaciones y mejorar la aplicación de IA en el monitoreo de la calidad del agua?

La metodología se basa en un análisis bibliométrico de la producción científica indexada en Scopus. Para el procesamiento de datos se usó el software R y el paquete biblioshiny. Se analizaron 103 documentos abarcando un período de 20 años (2004-2024).

El estudio presenta el total de investigaciones, las instituciones y autores más prolíficos, los tipos de sistemas de monitoreo desarrollados con IA y las aplicaciones en la gestión de recursos hídricos lóticos.

El análisis revela un auge en la producción científica entre los años 2015 y 2018.

Las tecnologías de IA como redes neuronales artificiales, teledetección, aprendizaje automático y sistemas de expertos posibilitan nuevos métodos de monitoreo, análisis de datos hidrológicos y modelado de ecosistemas acuáticos. Países como EEUU, China, India y Corea del Sur se posicionan como líderes en producción científica. Entre las filaciones destacadas están la Universitat Politècnica de Valencia, la Université Laval, la Beijing University of Technology, la Sun Yat-Sen University y la University of Galway.

Palabras clave: Gestión ambiental, inteligencia artificial, calidad de agua, sistemas lóticos, bibliometría.

Abstract

Lotic systems are threatened by pollution, climate change and other human activities. Artificial intelligence (AI) technologies have the potential to address these challenges, providing innovative tools for water quality monitoring, management and analysis. The objective of this research is to analyze the scientific production about AI in monitoring water quality in lotic systems using bibliometric techniques, for which the following questions have been proposed:

What are the main AI technologies used in water quality monitoring in lotic systems according to the scientific literature?

What trends and patterns emerge in bibliometric research on the application of AI in this field?

What are the main gaps and challenges identified in the existing literature?

What recommendations can be made to guide future research and improve the application of AI in water quality monitoring?

The methodology is based on a bibliometric analysis of scientific production indexed in Scopus. R software and the biblioshiny package were used for data processing. 103 documents were analyzed covering a period of 20 years (2004-2024).

The study presents the total amount of research, the most prolific institutions and authors, the types of monitoring systems developed with AI and the applications in the management of lotic water resources.

The analysis reveals a boom in scientific production between 2015 and 2018.

AI technologies such as artificial neural networks, remote sensing, machine learning and expert systems enable new methods of monitoring, hydrological data analysis and modeling of aquatic ecosystems. Countries such as the US, China, India and South Korea are positioned as leaders in scientific production. Among the notable affiliations are the Universitat Politècnica de Valencia, Université Laval, Beijing University of Technology, Sun Yat-Sen University and the University of Galway. The analysis presented here can form the basis for future research that uses bibliometrics to understand the interactions between AI and water quality monitoring in lotic systems.

Keywords: Environmental management, artificial intelligence, water quality, lotic systems, bibliometrics.

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Producción científica Anual.....	25
Ilustración 2 Revistas más relevantes	25
Ilustración 3 Producción de revistas en el tiempo	26
Ilustración 4 Frecuencia de publicación de países	28
Ilustración 5 Países más citados	29
Ilustración 6 Autores más citados	29
Ilustración 7 Filiaciones más relevantes.....	30
Ilustración 8 Documentos más citados a nivel mundial	30
Ilustración 9 Mapa mundial de colaboración entre países.....	35
Ilustración 10 Red de coocurrencia	35
Ilustración 11 Temas en las áreas de investigación.....	36
Ilustración 12 Palabras frecuentes	37

Lista de Tablas

Tabla 1 Información de la base de datos.....	20
Tabla 2 Principales Tecnologías de IA Utilizadas en el Monitoreo de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos.....	20
Tabla 3 Indexación de revistas	26
Tabla 4 Frecuencia de publicación de países.....	27
Tabla 5 Documentos más citados a nivel mundial.....	34

Índice / Sumario

Contents

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
Resumen	7
Abstract	8
Lista de Ilustraciones	1
Lista de Tablas.....	2
Introducción	1
Capítulo I: El problema de la investigación.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Delimitación del problema	3
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Preguntas de investigación	4
1.5 Determinación del tema.....	4
1.6 Objetivo general	4
1.7 Objetivos específicos.....	4
1.8 Hipótesis	5
1.9 Declaración de las variables.....	5
1.10 Justificación.....	5
1.11 Alcance y limitaciones	7
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	8
1.1. Antecedentes	8
1.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación	9
1.2.1. Bibliometría	9
1.2.2. Inteligencia Artificial.....	11
1.2.3. Monitoreo ambiental	13
1.2.4. Calidad del Agua	15
1.2.5. Sistemas Lógicos	16
1.2.6. Gestión Ambiental	17
CAPÍTULO III: Diseño metodológico	19
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	19
3.2 La población y la muestra.....	19
3.2.1 Características de la población.....	19
3.2.2 Delimitación de la población	21
3.2.3 Tipo de muestra	22
3.2.4 Tamaño de la muestra.....	22
3.2.5 Proceso de selección de la muestra	22
3.3 Los métodos y las técnicas	22
3.4 Procesamiento estadístico de la información.....	23

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados	24
4.2 Interpretación de los resultados.....	37
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.....	39
5.1 Conclusiones.....	39
5.2 Recomendaciones.....	40
Bibliografía.....	41

UNEMI

Introducción

A nivel global, han sido identificadas tres crisis planetarias, el cambio climático, la pérdida de naturaleza (o biodiversidad) y la contaminación, siendo estas el objetivo central de las estrategias ambientales propuestas desde las Naciones Unidas (ONU) en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible (ONU, 2023).

El agua es un recurso vital para la vida en el planeta, siendo su calidad esencial para la salud humana y los ecosistemas (Renanda, 2024). Sin embargo, las actividades inherentes al desarrollo de las sociedades han provocado un incremento en los niveles de contaminación del agua, lo que ha generado una necesidad urgente de contar con herramientas y métodos efectivos para monitorear y evaluar eficazmente la calidad de esta. En este contexto, la gestión del agua se ha convertido en uno de los principales retos del siglo XXI, dado que este recurso vital para la vida se encuentra bajo una creciente amenaza que se ve intensificada por una gestión deficiente, poniendo en riesgo la salud humana, el ambiente y el desarrollo económico (ONU, 2023). Así, el monitoreo de la calidad del agua se ha constituido en una técnica fundamental para evaluar la seguridad del agua para consumo humano, la presencia de contaminantes y sus posibles efectos en los ecosistemas acuáticos. El monitoreo continuo de la calidad del agua es crucial para detectar y prevenir la contaminación, así como para evaluar la salud general de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, el monitoreo de la calidad del agua tradicional es costoso y con frecuencia requiere mucho tiempo (Yang et al., 2022).

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una tecnología prometedora para abordar este desafío. La IA ofrece una serie de ventajas para el monitoreo de la calidad del agua, incluyendo la capacidad de procesar grandes volúmenes de datos, identificar patrones complejos y tomar decisiones automatizadas. El uso de modelos de IA permite el análisis eficiente y preciso de una gran cantidad de información, lo que ayuda en la identificación de patrones y tendencias relevantes para la calidad del agua (Wong et al., 2022). Las tecnologías asociadas a la IA surgen como herramientas poderosas para mejorar el monitoreo de la calidad del agua, ofreciendo nuevas oportunidades para la recolección, análisis e interpretación de datos.

De forma complementaria, a nivel científico y académico, los estudios bibliométricos son frecuentemente usados para analizar y medir desde varios parámetros la

producción científica en determinadas áreas a través de la aplicación de logaritmos matemáticos y estadísticos que permiten identificar tendencias de investigación, colaboraciones entre instituciones y países, y las principales áreas temáticas dentro de determinados campos de estudio (Donthu et al., 2021).

Este trabajo tiene como objetivo general analizar las investigaciones científicas acerca de la IA en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos usando técnicas de bibliometría, a través de los siguientes objetivos específicos: a) recopilar artículos científicos relevantes sobre la aplicación de inteligencia artificial en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando bases de datos académicas y la ecuación de búsqueda proporcionada, b) realizar un análisis bibliométrico de los artículos recopilados para identificar tendencias en la investigación, incluyendo tecnologías de IA utilizadas, métodos de monitoreo aplicados y regiones geográficas con mayor actividad investigadora, y c) visualizar la estructura de la comunidad científica en la investigación sobre IA y calidad del agua en sistemas lóticos, identificando las redes de colaboración entre países, los países más citados y las instituciones más relevantes.

De esta manera, este estudio busca desarrollar un análisis bibliométrico que permita la obtención de información valiosa sobre la cantidad de investigaciones realizadas, las instituciones y autores más prolíficos, las metodologías empleadas, los tipos de sistemas de monitoreo con IA desarrollados, los casos de estudio y las aplicaciones específicas en la gestión de recursos hídricos lóticos. Este análisis permite, además, identificar las áreas de mayor enfoque en investigación, las lagunas de conocimiento existentes y las oportunidades potenciales para futuras investigaciones.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

Los sistemas lóticos, como ríos, arroyos y manantiales, son componentes esenciales del ciclo del agua y albergan una rica biodiversidad. Sin embargo, la calidad del agua en estos ecosistemas se ve cada vez más amenazada por la contaminación, el cambio climático y otras actividades humanas. Las tecnologías de inteligencia artificial (IA) ofrecen un gran potencial para abordar estos desafíos, proporcionando herramientas innovadoras para el monitoreo, la gestión y el análisis de la calidad del agua en sistemas lóticos.

Las tecnologías de IA pueden utilizarse para recopilar y analizar datos de una variedad de fuentes, incluyendo sensores remotos, redes de monitoreo in situ y datos históricos. Mediante estas herramientas los datos pueden utilizarse para generar mapas de alta resolución de la calidad del agua, identificar tendencias y patrones, y predecir eventos de contaminación.

En la última década, el uso de agua ha aumentado a nivel global de aproximadamente 1% al año. Debido al incremento demográfico, al desarrollo socioeconómico y a los cambios en los patrones de consumo, se estima que este aumento seguirá creciendo en un ritmo similar hasta 2050 (ONU, 2023).

1.2 Delimitación del problema

Es fundamental comprender el panorama actual de la investigación sobre la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos. Para ello, es necesario realizar una búsqueda exhaustiva que permita determinar el inicio de las investigaciones en este campo, con un enfoque en la sostenibilidad y la gestión ambiental. Esta revisión permitirá entender cómo ha evolucionado la aplicación de la IA en el monitoreo ambiental y qué avances significativos se han logrado a lo largo del tiempo.

La búsqueda se llevará a cabo en una de las bases de datos más grandes, como Scopus, sin restricciones geográficas. Esto permitirá establecer conexiones y contribuciones científicas entre países y autores, proporcionando una visión global y colaborativa del desarrollo en este campo. Además, analizar la literatura sin limitaciones geográficas fomentará una comprensión más completa de las tendencias y enfoques innovadores en

la aplicación de la IA para el monitoreo de sistemas lóticos a nivel mundial.

1.3 Formulación del problema

A medida que aumenta la preocupación por la calidad del agua en sistemas lóticos (ríos y arroyos), se ha explorado el uso de tecnologías avanzadas de inteligencia artificial (IA) para mejorar el monitoreo y la gestión de estos ecosistemas. Sin embargo, existe una falta de análisis sistemático que evalúe el estado de la investigación en esta área, identifique las tendencias emergentes, las brechas en el conocimiento y los desafíos en la aplicación de IA en la gestión de la calidad del agua. Este estudio propone realizar un análisis bibliométrico para comprender la evolución de la investigación en este campo y proporcionar una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

1.4 Preguntas de investigación

¿Cuáles son las principales tecnologías de IA utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos según la literatura científica?

¿Qué tendencias y patrones emergen en la investigación bibliométrica sobre la aplicación de IA en este campo?

¿Cuáles son las principales brechas y desafíos identificados en la literatura existente?

¿Qué recomendaciones pueden hacerse para orientar futuras investigaciones y mejorar la aplicación de IA en el monitoreo de la calidad del agua?

1.5 Determinación del tema

Análisis Bibliométrico de la Inteligencia Artificial en el Monitoreo de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos

1.6 Objetivo general

- Analizar las investigaciones científicas acerca de la IA en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos usando técnicas de bibliometría.

1.7 Objetivos específicos

- Recopilar artículos científicos relevantes sobre la aplicación de inteligencia artificial en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos utilizando bases de datos académicas y la ecuación de búsqueda proporcionada.
- Realizar un análisis bibliométrico de los artículos recopilados para identificar

tendencias en la investigación, incluyendo tecnologías de IA utilizadas, métodos de monitoreo aplicados y regiones geográficas con mayor actividad investigadora.

- Visualizar la estructura de la comunidad científica en la investigación sobre IA y calidad del agua en sistemas lógicos, identificando las redes de colaboración entre países, los países más citados y las instituciones más relevantes.

1.8 Hipótesis

Las tecnologías de inteligencia artificial más comúnmente utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lógicos incluyen machine learning, redes neuronales y algoritmos de análisis predictivo, reflejando una tendencia hacia el uso de técnicas avanzadas de análisis de datos en la gestión ambiental.

1.9 Declaración de las variables

Variable independiente

Técnica de bibliometría

Variables dependientes

Aplicación de IA como técnica de monitoreo de calidad del agua en sistemas lógicos.

Inteligencia artificial y monitoreo de calidad de agua.

1.10 Justificación

Los ecosistemas de agua dulce, pese a ser esenciales para la regulación de la disponibilidad y calidad del agua, se encuentran bajo una grave amenaza debido a la alta tasa de degradación y pérdida de biodiversidad que enfrentan, principalmente por el uso insostenible del agua, de la tierra, y el cambio climático. Esta situación, sumada a la gestión deficiente y la contaminación, convierte la gestión y calidad del agua en el principal desafío del siglo XXI, poniendo en riesgo la salud humana, el medio ambiente y el desarrollo económico. Es crucial reconocer el papel fundamental de los ecosistemas de agua dulce y adoptar prácticas sostenibles en todos los sectores para garantizar su conservación y el acceso a agua limpia para las generaciones presentes y futuras (ONU, 2023).

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 busca garantizar el acceso universal al agua potable y a servicios de saneamiento adecuados, así como promover la gestión sostenible de los recursos hídricos. Al abarcar todo el ciclo del agua y los sistemas de saneamiento, este objetivo resulta fundamental para el bienestar humano y el

progreso en diversas áreas. El logro del ODS 6 no solo impacta directamente en la salud y la higiene, sino que también contribuye al avance en otros ODS, como la educación, el crecimiento económico y la protección del medio ambiente. De esta manera, asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua se convierte en un pilar fundamental para el desarrollo sostenible y el futuro de la humanidad (PNUD, 2015).

Los sistemas de gestión de agua nacen de la necesidad de distribuir y conservar el agua entre diversos actores, pero para funcionar, requieren de un sistema político-institucional estable que articule los distintos niveles de administración, siendo el nivel local fundamental para el control y monitoreo. La información técnica e hidrológica la proporcionan principalmente las instancias nacionales, mientras que el control social a nivel local es crucial para una gestión integrada del agua (Ruíz & Gentes, 2008).

La sostenibilidad de los ecosistemas y la salud humana dependen de la calidad del agua. El monitoreo de la calidad del agua es una práctica esencial, pero con frecuencia costosa y que requiere mucho tiempo, ya que implica la recolección de muestras y el análisis de laboratorio (Mustapha et al., 2013; Yang et al., 2022). Con el avance de la tecnología, la predicción y el seguimiento de la calidad del agua serán más precisos y eficientes con la aplicación de técnicas de inteligencia artificial (AI) (Aldhyani et al., 2020; Patel et al., 2022; Wong et al., 2022). Para recopilar datos de manera más eficiente y continua, se han desarrollado métodos alternativos de monitoreo de la calidad del agua que utilizan tecnologías de detección remota como satélites, drones y vehículos aéreos no tripulados (Gholizadeh et al., 2016; Yang et al., 2022). Además, el monitoreo de la calidad del agua puede integrarse con otras fuentes de información ambiental, como datos meteorológicos y de uso de la tierra, para proporcionar información más detallada sobre la calidad del agua en las cuencas (Fick & Hijmans, 2017). Sin embargo, para viabilizar estrategias y propuestas destinadas a alcanzar una gestión ambiental sostenible de los recursos hídricos, a nivel académico y científico, resulta necesario contar con información que permita un análisis profundo de las investigaciones realizadas, las instituciones y autores más prolíficos, las metodologías empleadas, los tipos de sistemas de monitoreo con IA desarrollados, los casos de estudio y las aplicaciones específicas en la gestión de recursos hídricos.

En ese contexto, se hace evidente la necesidad de contar con un análisis bibliométrico de la inteligencia artificial en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas hídricos.

Un estudio bibliométrico de estas características puede contribuir al análisis de los sistemas de monitoreo basados en inteligencia artificial que se están implementando en la actualidad y puede convertirse en un aporte a la comprensión de tecnologías de IA en el monitoreo de recursos hídricos. El identificar las tendencias y avances más recientes, así como evaluar la efectividad y el impacto de estas herramientas en la gestión sostenible del agua es una necesidad prioritaria en el ámbito de la conservación y gestión ambiental.

1.11 Alcance y limitaciones

Alcance

El estudio se centrará en la investigación que utiliza la inteligencia artificial (IA) para monitorear la calidad del agua en sistemas lóticos (ríos y arroyos).

Se incluirán artículos que aborden la gestión del agua, el monitoreo de la calidad del agua, la contaminación del agua dulce, la conservación de ríos y arroyos, y las prácticas sostenibles del agua.

El estudio se limitará a artículos publicados en revistas académicas del área de "Medio Ambiente" (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI")).

Solo se considerarán artículos de investigación (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")).

Limitaciones:

El estudio no incluirá artículos publicados en otros tipos de publicaciones, como libros, actas de conferencias o informes técnicos.

El enfoque en sistemas lóticos excluye otros cuerpos de agua dulce como lagos y humedales.

La búsqueda se limita a la literatura en inglés.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

1.1. Antecedentes

Los ecosistemas son sistemas complejos integrados por componentes bióticos y abióticos que interactúan a diferentes escalas de espacio y tiempo, permitiendo el intercambio de energía, nutrientes y materia (Woo et al., 2019). Los ecosistemas acuáticos cubren el 70% de la superficie terrestre y se clasifican en ecosistemas marinos y ecosistemas acuáticos continentales como lagos, ríos, humedales, aguas subterráneas y glaciares (Nash et al., 2021; Sagova, M et al., 2021).

Los ríos son dinámicos y cambian constantemente en el tiempo y el espacio. Además de las variaciones naturales diarias y estacionales, se ven afectados por los cambios en el caudal y la contaminación. La contaminación suele ser más dañina en ríos pequeños y, aunque provenga de fuentes menores, su impacto acumulado termina siendo el principal contaminante de los grandes ríos (Wade et al., 2012; Worrall et al., 2015).

El aumento sostenido de las temperaturas durante las últimas décadas ha provocado cambios considerables en el ciclo hidrológico a gran escala (Park et al., 2004a). Para mediados del siglo XXI, se estima que, como consecuencia del cambio climático, la escorrentía fluvial promedio anual y la disponibilidad de agua aumentarán en latitudes altas y en algunas áreas tropicales húmedas, mientras que disminuirán en regiones secas de latitudes medias y en regiones tropicales secas. Estas alteraciones en el ciclo hidrológico tendrán un impacto significativo en la disponibilidad de agua dulce, la agricultura, la seguridad alimentaria, la energía hidroeléctrica y los ecosistemas acuáticos (Bates et al., 2008).

El Informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2015) destaca la gravedad de la situación, mientras que el Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022 de la OMM y ONU-Agua enfatiza la necesidad de una gestión integrada y sostenible del agua para enfrentar estos desafíos.

Un desafío clave de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es evaluar de forma confiable la calidad del agua superficial (lagos y ríos) en una cuenca específica. Para lograrlo, se implementan programas de monitoreo de calidad del agua que recopilan información para que los tomadores de decisiones la entiendan, interpreten y utilicen en

la gestión del agua. Esta agua puede destinarse a consumo, recreación, uso industrial, o a la preservación y restauración del estado ecológico (Behmel et al., 2016). La "medición y observación estandarizada a largo plazo del medio acuático para definir su estado y tendencias" se conoce como monitoreo. Además, implica la vigilancia y evaluación estandarizada a largo plazo y con distribución espacial de todas las actividades de monitoreo, basadas en protocolos comunes, y un amplio conocimiento de las necesidades (regulatorias o no) de calidad del agua y del uso del suelo en la cuenca (Bartram & Ballance, 1996).

La inteligencia artificial (IA) está transformando el monitoreo y análisis de la calidad del agua, abriendo un abanico de posibilidades para una gestión hídrica más eficiente y sostenible. Gracias a su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos de diversas fuentes, como sensores remotos, información ambiental e histórica, la IA permite predecir y monitorear la calidad del agua con mayor precisión y detalle (Gholizadeh et al., 2016; Yang et al., 2022).

1.2. Contenido teórico que fundamenta la investigación

1.2.1. Bibliometría

La bibliometría es la ciencia que permite el análisis cuantitativo de la producción científica a través de la lectura de la literatura, estudiando la naturaleza y el curso de una disciplina científica (Camps, 2009). La bibliometría se define como el conjunto de técnicas estadísticas que se aplican al análisis de la información contenida en las publicaciones científicas, principalmente libros y revistas. Su objetivo principal es comprender los patrones de producción, uso y difusión del conocimiento científico a lo largo del tiempo y en diferentes áreas temáticas (Pritchard, 1969).

La metodología comúnmente utilizada en el análisis bibliométrico incluye la recopilación de datos de bases de datos científicas como Scopus y Web of Science, el uso de software de análisis bibliométrico como VOSviewer y CiteSpace, y la aplicación de indicadores bibliométricos como el número de publicaciones, citas, índice h, y análisis de co-citación (Chen et al., 2022).

Indicadores bibliométricos

Los indicadores bibliométricos son herramientas para evaluar la producción científica y analizar el impacto de trabajos de investigación. Estos indicadores se obtienen a partir de datos estadísticos extraídos de las publicaciones científicas y permiten analizar aspectos como: cantidad de trabajos publicados, colaboración de autores, y

centros de investigación, impacto de las comunicaciones, países, instituciones, producción científica, los colegios invisibles y el número de citas recibidas (Vallejo Ruiz, 2005).

Indicadores personales

Proporcionan información valiosa para comprender la composición y las dinámicas de la comunidad científica en un área o institución específica, se enfocan en las características de los investigadores que publican en un conjunto de documentos, como revistas, bases de datos o repositorios. Estos indicadores permiten obtener una visión completa de la fuerza laboral científica en un área o institución específica, analizando aspectos como edad, sexo, país, filiación (Ardanuy, 2012).

Indicadores de producción

Los indicadores de producción se obtienen recopilando publicaciones científicas. El número de publicaciones generalmente se considera una medida de la actividad científica; se puede medir durante un período de tiempo por un autor, departamento o grupo de investigación, institución, disciplina o país (Sanz & Martín, 1997).

Indicadores de visibilidad

Son herramientas esenciales para evaluar la influencia de autores y trabajos de investigación. Estos indicadores, como el número de citas o enlaces web recibidos, se han convertido en elementos clave para el sistema de promoción y asignación de recursos en la comunidad científica de los países desarrollados. Esto se debe a que las citas se consideran como un reconocimiento por parte de otros investigadores de la importancia y relevancia de un trabajo, en este sentido, el indicador más simple es el número total de citas recibidas por un autor o una publicación. En algunos casos, se utiliza el logaritmo de este valor, conocido como índice de Platz (Ardanuy, 2012).

Indicadores de colaboración

Se enfocan en las relaciones entre los investigadores que publican en conjunto. Estos indicadores permiten analizar diferentes aspectos de la colaboración científica, como proporción de trabajos con coautoría, análisis de redes, co-citación, ofrecen una valiosa herramienta para comprender la dinámica de la colaboración científica, identificar redes de conocimiento y evaluar el impacto de la colaboración en la producción científica (Ardanuy, 2012).

Indicadores de obsolescencia

El ritmo acelerado del desarrollo científico genera un fenómeno conocido como la obsolescencia de la literatura científica. Esto significa que las publicaciones pierden vigencia con relativa rapidez, especialmente en áreas con alta producción de conocimiento, donde los nuevos trabajos reemplazan rápidamente a los anteriores.

Para medir este fenómeno se han desarrollado indicadores específicos, como el semiperíodo de Burton y Kebler, que representa la mediana de la antigüedad de las referencias citadas en un trabajo. Otro indicador es el índice de Price, que refleja el porcentaje de referencias en un trabajo con menos de 5 años de antigüedad (Sanz & Martín, 1997).

1.2.2. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) se fundamenta en el desarrollo de algoritmos que habilitan procesos de aprendizaje y reconocimiento, permitiendo a los sistemas computacionales emular las capacidades cognitivas del cerebro humano (Boden, 2017). Esta capacidad de aprendizaje, definida por (Rigau, 2018) como la adaptación a entornos cambiantes, se implementa mediante algoritmos que se nutren de datos y experiencias diversas. Este proceso de enriquecimiento perfecciona las habilidades de la máquina, optimizando los procesos de negocio. La automatización de tareas repetitivas, el aumento de la productividad y la toma de decisiones más ágiles y efectivas representan algunos de los beneficios que la IA aporta a las organizaciones (Leyva & Smarandache, 2018).

Aplicaciones en el Estudio de la IA y Calidad del Agua

En el contexto de la IA aplicada al monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos, el análisis bibliométrico puede revelar el crecimiento de la literatura científica, identificar los países y las instituciones líderes en la investigación, y mapear las áreas de mayor interés y desarrollo (Wu et al., 2020). Este enfoque también puede destacar las colaboraciones interdisciplinarias y las conexiones entre distintos campos de estudio.

Técnicas de IA

Entre las técnicas de IA aplicadas al monitoreo de la calidad del agua se incluyen el aprendizaje automático (machine learning), las redes neuronales artificiales (ANN), y los algoritmos de clasificación y regresión (Liu & Han, 2023). Estas técnicas se utilizan para modelar la relación entre los parámetros de calidad del agua, como el pH, la

temperatura, la turbidez, y la concentración de contaminantes, y factores ambientales (Lap et al., 2023).

La teledetección, mediante programas satelitales como Landsat (NASA) y Copernicus (ESA), facilita el estudio de la Tierra desde el espacio. Estas imágenes satelitales proveen información precisa y actualizada para diversos fines, como la gestión ambiental, el estudio del cambio climático y la seguridad ciudadana. La inteligencia artificial, especialmente las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), permite un análisis más profundo y eficiente de estas imágenes (Gutiérrez & Peach, 2022).

Landsat

El programa Landsat, con el registro continuo más extenso de la superficie terrestre a nivel global, proporciona imágenes visualmente impactantes y científicamente valiosas del planeta, desde principios de la década de 1970, Landsat ha archivado imágenes de la Tierra de manera continua y constante. Este archivo de datos incomparable permite a los científicos evaluar los cambios en el paisaje terrestre, durante más de 40 años, el programa Landsat ha recopilado información espectral de la superficie terrestre, creando un archivo histórico sin igual en calidad, detalle, cobertura y duración. Las decisiones tomadas a partir de la información proporcionada por Landsat han transformado la gestión de los recursos hídricos limitados en todo el mundo, impactando positivamente a millones de personas. Desde la búsqueda de agua para refugiados en regiones áridas hasta la reducción de la contaminación en nuestros ríos y lagos, Landsat ha jugado un papel fundamental en abordar algunos de los desafíos hídricos más apremiantes del planeta (NASA, 2021).

Copernicus

El programa Copernicus lleva el nombre del astrónomo polaco Nicolás Copérnico, quien revolucionó nuestra comprensión del universo con su teoría heliocéntrica. Al proponer que la Tierra y los demás planetas giraban alrededor del Sol, Copérnico desafió la visión geocéntrica prevaleciente y abrió las puertas a una nueva era de exploración científica, el programa convierte una gran cantidad de datos satelitales y terrestres en información útil. Para ello, procesan y analizan los datos, los integran con otras fuentes y validan los resultados. Los conjuntos de datos históricos se hacen comparables y permiten realizar búsquedas, facilitando el seguimiento de cambios. Los patrones se examinan para crear mejores pronósticos, como los del océano y la atmósfera. Se crean mapas a partir de imágenes, se identifican características y

anomalías, y se extrae información estadística. Estas actividades se organizan en seis temas principales: Monitoreo de la atmósfera, Vigilancia del medio marino, Monitoreo terrestre, Cambio climático, Manejo de emergencias y Seguridad (Bieńkowska, 2015).

1.2.3. Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental se ha convertido en una herramienta fundamental para la gestión ambiental, proporcionando información crucial para la planificación y toma de decisiones acertadas en materia de protección ambiental. Si bien su aplicación ha sido más común en el manejo de recursos naturales y la conservación de la biodiversidad, su potencial no se limita a estos ámbitos (López et al., 2012).

El monitoreo ambiental se erige como una herramienta indispensable para evaluar continuamente el proceso de gestión ambiental, permitiendo identificar desviaciones que requieren atención, detectar posibles desperdicios e impactos no previstos, verificar la implementación y efectividad de las medidas ambientales (preventivas o correctivas) y otros eventos en el proceso productivo que puedan generar un aumento en los costos. La eficiencia de este instrumento radica en la selección adecuada de indicadores ambientales, la ubicación estratégica de los puntos de muestreo y las estaciones de control, así como en la definición del período, frecuencia y registros de las muestras (ONU, 2002).

El monitoreo ambiental se puede realizar por dos vías principales: métodos directos, que involucran la observación in situ en puntos estratégicos, estaciones y redes físicas definidas, o bien mediante estaciones espaciales; y métodos indirectos, que emplean sensores remotos para recopilar datos a distancia. Una de las principales ventajas del monitoreo radica en su capacidad para realizar un mapeo exhaustivo de todos los componentes de un sistema, permitiendo así verificar el comportamiento de diversos dispositivos, incluyendo aquellos relacionados con redes, memoria, servidores, sistemas inteligentes, entornos virtuales, entre otros (Ideam & Invemar, 2021).

Monitoreo del agua

El monitoreo del agua se define como un proceso metódico y riguroso que involucra la observación, medición, muestreo y análisis de variables físicas, químicas y biológicas del agua. Este proceso se lleva a cabo utilizando métodos técnicos estandarizados, con el objetivo de obtener datos precisos y confiables (Vrba & Soblsek, 1988).

Métodos de Monitoreo

Los métodos de monitoreo de la calidad del agua abarcan un amplio espectro de técnicas, desde análisis in situ, como la utilización de sensores y sondas, hasta análisis de laboratorio, como el examen químico de muestras de agua. La incorporación de tecnologías emergentes, tales como la telemetría y el monitoreo remoto, ha revolucionado la capacidad para obtener datos en tiempo real y de forma continua (Younos & Heyer, 2015).

Los sistemas de monitoreo han evolucionado a la par de la tecnología, incorporando la integración de sistemas con tecnologías como GPRS, Wifi y LoraWan, abriendo un abanico de posibilidades para el envío y transmisión de datos. En la actualidad, estas herramientas se convierten en aliados indispensables para las organizaciones, especialmente en el contexto del Internet de las Cosas (IoT) (Guevara & Suntaxi, 2020).

En la actualidad, existen sistemas denominados Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), los cuales facilitan la integración de diversos recursos para controlar y monitorear los cambios que se presentan en los procesos. Estos sistemas funcionan como ventanas que nos permiten observar el "corazón" de los procesos, brindando información valiosa para su optimización y control.

Sensores o transductores

Los sensores actúan como puentes entre el mundo físico y los sistemas de medición, transformando variables físicas como la temperatura, la presión o la humedad en magnitudes eléctricas, ya sea en forma de voltaje, corriente, resistencia o capacidad. Esta conversión de energía permite a los sistemas de medición interpretar y comprender el estado y la magnitud de los fenómenos físicos (Corona et al., 2019).

Acondicionamiento de la señal

En el mundo de los sistemas de medición, la señal proveniente de un sensor suele requerir un "ajuste" antes de continuar su camino hacia la siguiente etapa. Este proceso, conocido como acondicionamiento de señales, tiene como objetivo preparar la señal para que sea compatible con los requerimientos de la siguiente etapa del proceso (Trankler & Kanoun, 2001).

Sensores remotos

El monitoreo de la calidad del agua mediante sensores remotos se basa en la relación

entre la luz reflejada por el agua y sus características. La clorofila, la materia orgánica disuelta y los minerales suspendidos son los principales factores que afectan el color del agua, y su medición permite inferir otros parámetros como la turbidez o la profundidad del disco de Secchi (Bukata et al., 1995; Schellekens & Gilbes, 2009). Si bien algunos estudios han logrado correlaciones confiables entre la reflectancia y parámetros como la turbidez o la profundidad del disco de Secchi, estas relaciones varían según la región y la época del año (Harrington et al., 1992; Hicks et al., 2013).

1.2.4. Calidad del Agua

La calidad del agua se define como un conjunto de características químicas, físicas y biológicas que determinan su idoneidad para diversos usos, incluidos el consumo humano, la recreación y el soporte de la vida acuática (Chapman, 1996). Los parámetros clave de la calidad del agua incluyen la temperatura, el pH, la turbidez, los niveles de oxígeno disuelto y la presencia de contaminantes como metales pesados, nutrientes y patógenos (Meybeck, 1996).

La calidad del agua no se refiere únicamente a la contaminación del agua, y de la misma manera, la gestión de la calidad del agua no debe limitarse solo al control de dicha contaminación. La gestión de la calidad del agua abarca todos los aspectos relacionados con los diferentes usos beneficiosos del agua, mientras que el control de la contaminación del agua suele enfocarse en el tratamiento y eliminación adecuada de las aguas residuales. Los usos del agua incluyen aquellos que requieren extracción, los que se realizan en el lugar y los que implican el flujo interno del agua (Krenkel, 2012).

La calidad del agua en sistemas lóticos puede ser influenciada por factores naturales y antropogénicos. Los factores naturales incluyen la geología del área, el clima y la vegetación circundante (Wetzel, 2001). Los factores antropogénicos incluyen la contaminación industrial, la agricultura y el desarrollo urbano (Carpenter et al., 1998).

Una calidad del agua deficiente puede tener impactos significativos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Puede conducir a la pérdida de biodiversidad, la proliferación de organismos patógenos y problemas de salud pública como enfermedades transmitidas por el agua (ONU, 2023).

El valor del agua

La agricultura, a pesar de ser la actividad humana que más recursos de agua dulce

consume (alrededor del 69%), se encuentra en un punto crítico debido a la intensificación de la competencia por este recurso vital y el aumento de su escasez. En muchas regiones, el uso del agua en la producción de alimentos es ineficiente, lo que contribuye de manera significativa a la degradación ambiental, incluyendo el agotamiento de acuíferos, la disminución de los caudales fluviales, la degradación de hábitats y la contaminación. Paradójicamente, mientras que el valor del agua en la producción de alimentos suele ser bajo, especialmente para cultivos como granos y forrajes, este valor puede aumentar considerablemente para cultivos de mayor valor como hortalizas, frutas y flores. Esta disparidad pone de manifiesto la necesidad de optimizar el uso del agua en la agricultura, priorizando cultivos de mayor valor económico y adoptando prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el impacto ambiental (ONU, 2021).

Más allá de su uso directo en la producción agrícola, el agua juega un papel crucial en la seguridad alimentaria, la nutrición y el desarrollo rural. El acceso a agua limpia y segura es fundamental para la salud humana, permitiendo una mejor absorción de nutrientes y previniendo enfermedades. Además, el agua facilita el cambio hacia patrones de consumo más sostenibles, promoviendo el cultivo y consumo de frutas, verduras y legumbres, alimentos ricos en nutrientes y con menor impacto ambiental que la carne roja (ONU, 2021).

En el sector de Energía, Industria y Negocios (EIN), el agua tradicionalmente ha sido vista como un costo y un pasivo, ignorando su valor estratégico para la sostenibilidad, la competitividad y el crecimiento a largo plazo de las empresas (ONU, 2021).

La cultura juega un papel fundamental en la forma en que las sociedades, grupos e individuos perciben, valoran y utilizan el agua. Cada contexto cultural es único, moldeado por una combinación de factores como tradiciones, historia, educación, experiencias de vida, información, medios de comunicación, estatus social y género (ONU, 2021).

1.2.5. Sistemas Lóticos

Los sistemas lóticos se caracterizan por el flujo continuo de agua, lo que crea un entorno dinámico y variable (Allan & Castillo, 2007). Estos sistemas incluyen ríos y arroyos, que juegan un papel crucial en la distribución de nutrientes y sedimentos y en el soporte de diversas comunidades biológicas (Hynes, 1970).

Estos cuerpos de agua, generalmente llamados corrientes, se distinguen por fluir en una sola dirección a velocidades promedio relativamente altas, que oscilan entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende tanto de las condiciones climáticas como de las características del área de drenaje. En términos generales, los ríos son cuerpos de agua que pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es significativa en relación con el flujo (Ramírez, 2021).

Las características de los sistemas lóticos incluyen su flujo, morfología del canal, régimen hidrológico y calidad del agua (Ward, 1989). Estos sistemas son altamente sensibles a cambios en el uso del suelo y actividades humanas, lo que los hace vulnerables a la contaminación y la degradación (Vannote et al., 1980).

Los sistemas lóticos son esenciales para la conectividad ecológica, ya que permiten el movimiento de organismos y materiales a lo largo de la cuenca hidrográfica. Además, proporcionan hábitats diversos que soportan una amplia gama de especies acuáticas y terrestres (Petts, 1994).

1.2.6. Gestión Ambiental

La Gestión Ambiental se define como un mecanismo de coordinación transectorial que facilita la interacción y cooperación entre diversos ámbitos, sistemas y subsistemas relacionados con el manejo ambiental y la gestión de recursos naturales y se basa en principios fundamentales como la corresponsabilidad, cooperación, coordinación tecnologías sustentables y el respeto (MAE, 2004).

La gestión ambiental se refiere a la planificación y ejecución de políticas y prácticas que buscan proteger y mejorar el medio ambiente. En el contexto de los recursos hídricos, esto incluye la regulación de la contaminación, la restauración de ecosistemas y la promoción del uso sostenible del agua (Uberoi, 2003).

Las estrategias de gestión pueden incluir la implementación de normativas, la creación de áreas protegidas, la educación y sensibilización pública, y la utilización de tecnologías limpias. La gestión adaptativa, que ajusta las estrategias basadas en los resultados del monitoreo, es especialmente relevante en contextos dinámicos como los sistemas lóticos (Holling & Walters, 1978).

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

El estudio propuesto es cuantitativo y adopta un enfoque de análisis de datos bibliométricos para delimitar las características de la publicación científica. El análisis se centra en estos factores:

Número de publicaciones: Rastrear el desarrollo temporal de publicaciones relacionadas con la IA y su aplicación en la evaluación de la calidad del agua para sistemas lóticos. Esto ayudará a detectar cualquier tendencia de investigación predominante.

Tecnologías de IA utilizadas: Reconocer todas las diferentes tecnologías de IA que se utilizan al monitorear la calidad del agua y luego clasificarlas en consecuencia.

Métodos de monitoreo aplicados: Analizar las diversas metodologías utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua y mejoradas por la inteligencia artificial.

Identificar puntos críticos de investigación: Contar con resultados científicos relacionados con la IA y la calidad del agua específicamente dentro de los sistemas de agua corriente ayudaría a identificar regiones donde se están realizando más investigaciones.

Información clave por descubrir: Descubra a los principales actores (autores y organismos institucionales) que lideran estudios sobre aplicaciones de IA junto con la gestión sostenible del agua lótica.

Diseño de investigación:

El diseño del estudio es descriptivo: tiene como objetivo describir las características de un fenómeno o población en un momento específico en el tiempo. Aquí, nuestro enfoque se centra en retratar los atributos de la investigación, no solo la inteligencia artificial (IA), sino la IA y la calidad del agua en sistemas lóticos. Esta metodología allana el camino para una comprensión elaborada y precisa del escenario actual junto con sus tendencias y áreas focales clave de investigación en este campo específico.

3.2 La población y la muestra

3.2.1 Características de la población

Se llevará a cabo una técnica de bibliometría con el propósito de recopilar artículos científicos indexados en SCOPUS y tiene como fecha de corte el 29 de abril de 2024, resultando en un total de 103 artículos. Esta búsqueda fue diseñada para identificar investigaciones relevantes que combinan inteligencia artificial con la gestión y monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos. La selección de palabras clave incluyó términos relacionados con diversas tecnologías de IA, aplicaciones en la gestión del agua y enfoques sostenibles para la conservación de cuerpos de agua dulce. La

ecuación de búsqueda utilizada fue la siguiente:
 TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence" OR "AI" OR "machine learning" OR "deep learning" OR "neural networks" OR "data analytics" OR "predictive modeling") AND ("water management" OR "water quality monitoring" OR "freshwater systems" OR "lotic systems" OR "stream management" OR "river management") AND ("freshwater pollution" OR "stream conservation" OR "river conservation" OR "sustainable water practices" OR "smart water management") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")).

La tabla 1 muestra una descripción general de los datos más relevantes de los 103 artículos analizados.

Tabla 1 Información de la base de datos

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2004:2024
Sources (Journals, Books, etc)	57
Documents	103
Annual Growth Rate %	14.11
Document Average Age	4.75
Average citations per doc	15.83
References	0
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	1273
Author's Keywords (DE)	433
AUTHORS	
Authors	435
Authors of single-authored docs	1
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	1
Co-Authors per Doc	4.55
International co-authorships %	33.98
DOCUMENT TYPES	
article	102
article article	1

Para comprender mejor las principales tecnologías de inteligencia artificial utilizadas en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos, se ha elaborado la tabla 2 que resume las tecnologías más destacadas según la literatura científica. Estas tecnologías han demostrado ser eficaces en el análisis y gestión de la calidad del agua, proporcionando herramientas avanzadas para predecir, monitorear y responder a los cambios en los ecosistemas acuáticos. A continuación, se presenta una tabla con una descripción concisa de cada tecnología y las referencias relevantes que sustentan su aplicación.

Tabla 2 Principales Tecnologías de IA Utilizadas en el Monitoreo de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos

Tecnología de IA	Descripción	Referencias
Aprendizaje Automático	Utiliza algoritmos para analizar datos y predecir resultados, adaptándose con nuevos datos.	(Bedi et al., 2020a; Kim et al., 2022; Nafsin & Li, 2022; Shan et al., 2023)

Redes Neuronales Artificiales (ANN)	Simulan la estructura del cerebro humano para modelar relaciones complejas entre variables.	(Park et al., 2004b; Olaya-Marín et al., 2013a; Y. Wan et al., 2015; Stojković et al., 2023)
Teledetección	Utiliza sensores remotos para recopilar datos ambientales y monitorear la calidad del agua.	(Seyoum & Kwon, 2020; Doody et al., 2023)
Sistemas de Expertos	Emulan la toma de decisiones humanas basadas en reglas predefinidas y conocimiento experto.	(Bradford, 2008; Rapp et al., 2023)
Modelos Predictivos	Aplican análisis estadísticos y de IA para predecir condiciones futuras del agua.	(Greene et al., 2013; Fox & Magoulick, 2019)
Algoritmos de Minería de Datos	Extraen patrones útiles de grandes conjuntos de datos para análisis de calidad del agua.	(Yang et al., 2016; Jiang et al., 2021; Park et al., 2021)
Redes Bayesianas	Utilizan probabilidades para representar incertidumbre en modelos de calidad del agua.	(Hamaamin et al., 2016)
Análisis de Big Data	Procesan y analizan grandes volúmenes de datos ambientales para obtener insights detallados.	(Fox & Magoulick, 2019; Z. Wan & Zhu, 2020)

3.2.2 Delimitación de la población

La población objetivo de este estudio está conformada por artículos científicos que abordan la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos (ríos y arroyos). Para delimitar la población, se establecen los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión

- Se realizó la búsqueda utilizando solo la base de datos Scopus.
- Se consideró la pertinencia el tipo de documento para la revisión bibliométrica.
- Se requirió que los documentos estuvieran disponibles en un idioma que fuera comprensible para los investigadores.
- Se consideró los artículos publicados en revistas académicas del área de "Medio Ambiente" (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENVI")).
- Se incluyó artículos que contengan en el título, resumen o palabras clave los siguientes términos: "Inteligencia artificial" o "IA"; "Aprendizaje automático"; "Aprendizaje profundo"; "Redes neuronales"; "Análisis de datos"; "Modelado predictivo"; "Gestión del agua"; "Monitoreo de la calidad del agua"; "Sistemas de agua dulce"; "Sistemas lóticos"; "Gestión de arroyos"; "Gestión de ríos", "Contaminación del agua dulce", "Conservación de arroyos", "Conservación de ríos", "Prácticas sostenibles del agua", "Gestión inteligente del agua".

Criterios de exclusión:

- Está limitado para artículos de investigación (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")), se excluye artículos publicados en otros tipos de publicaciones, como libros, actas de conferencias o informes técnicos.

- Artículos que no contengan en el título, resumen o palabras clave los términos especificados en los criterios de inclusión.
- Artículos publicados en idiomas distintos al inglés.

3.2.3 Tipo de muestra

Este estudio utiliza una muestra no probabilística. El uso de Scopus para la búsqueda en bases de datos académicas permite adquirir una muestra amplia y adecuada de la literatura existente sobre el tema de estudio. Los datos obtenidos de Scopus se descargarán en formatos CSV y BibTeX; Luego se analizarán utilizando RStudio, un software de código abierto que funciona en conjunto con el paquete bibliometrix a través de la interfaz biblioshiny. Esta metodología única garantiza un escrutinio exhaustivo de la bibliometría asociada con la inteligencia artificial, así como de los detalles específicos de la calidad del agua en los sistemas lóticos, asegurando que no se pase por alto ningún detalle durante todo el proceso.

3.2.4 Tamaño de la muestra

El archivo BibTex de la investigación es de 360KB, está compuesto por 103 artículos extraídos de la base de datos Scopus que serán procesados al cumplir con los criterios de selección.

3.2.5 Proceso de selección de la muestra

El proceso de selección de la muestra se basa en los siguientes pasos:

- Búsqueda en bases de datos: Se realiza una búsqueda en la base de datos Scopus utilizando la ecuación de búsqueda descrita en el apartado 3.2.
- Selección inicial: Se seleccionan todos los artículos que cumplen con los criterios de inclusión establecidos.
- Limpieza de datos: Se revisan los artículos seleccionados para eliminar duplicados, artículos incompletos o que no se ajusten a los criterios de inclusión.
- Muestra final: Se obtiene la muestra final de artículos que serán utilizados para el análisis bibliométrico.

3.3 Los métodos y las técnicas

El procesamiento de datos se analizará utilizando RStudio, un software de código abierto que funciona en conjunto con el paquete bibliometrix a través de la interfaz biblioshiny. Esta metodología única garantiza un escrutinio exhaustivo de la bibliometría asociada con la inteligencia artificial, así como de los detalles específicos de la calidad del agua en los sistemas lóticos, asegurando que no se pase por alto ningún detalle durante todo el proceso.

Recopilación de datos

Se utilizó la base de datos académicas Scopus, para recopilar artículos científicos relevantes sobre la aplicación de inteligencia artificial en el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos. Se aplicó una ecuación de búsqueda específica para identificar

los artículos relevantes, incluyendo términos como "inteligencia artificial", "monitoreo de la calidad del agua", "sistemas lóticos" y "calidad del agua".

Análisis bibliométrico

Los datos se obtuvieron de la muestra final de artículos seleccionados.

Se realiza el análisis bibliométrico de los datos con biblioshiny. Se pueden explorar y visualizar diferentes aspectos de la investigación como: autores, revistas, tendencias en el tiempo, distribución geográfica, redes de colaboración, entre otros.

El análisis se centra en los siguientes aspectos:

Tendencias en la investigación: Se analizará la evolución del número de publicaciones a lo largo del tiempo, así como las principales temáticas abordadas en la investigación.

Tecnologías de IA utilizadas: Se identificarán las tecnologías de IA que se han aplicado en el monitoreo de la calidad del agua.

Métodos de monitoreo: Se identificarán los diferentes métodos de monitoreo de la calidad del agua en los que se han utilizado tecnologías de IA.

Regiones geográficas: Se identificarán las regiones geográficas con mayor producción científica en el tema de IA y calidad del agua en sistemas lóticos.

Redes de colaboración: Se analizarán las redes de colaboración entre autores, instituciones y países para visualizar la estructura de la comunidad científica sobre IA y calidad del agua en sistemas lóticos.

3.4 Procesamiento estadístico de la información.

Se realizó un estudio cienciométrico para explorar el estado del arte de las investigaciones científicas relacionadas con la Inteligencia Artificial (IA) y el monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos para una eficiente Gestión Ambiental. A nivel mundial, los análisis cienciométricos se han utilizado ampliamente para evaluar el desempeño de la investigación (Konur, 2012), permitiendo la estructuración de esquemas visuales y mapeos compresivos basados en fórmulas matemáticas (Garrido Azevedo et al., 2020; Olawumi & Chan, 2018). Las técnicas utilizadas en el análisis cienciométrico permiten la descripción de campos de investigación específicos a partir de los datos integrados a publicaciones mediante métodos cuantitativos (Hood & Wilson, 2001; Keathley-Herring et al., 2016; Smith, 2012).

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Análisis de los resultados

El estudio utiliza análisis bibliométrico para observar cómo la inteligencia artificial (IA) ha influido en la producción científica en el monitoreo del agua en sistemas lógicos. La información se extrajo de la base de datos Scopus, abarca un período de 20 años (2004 - 2024).

PRODUCCIÓN ANUAL

La Ilustración 1 muestra una tendencia creciente en la producción científica, con dos etapas diferenciadas:

1. Etapa de Crecimiento Inicial (2004-2018):

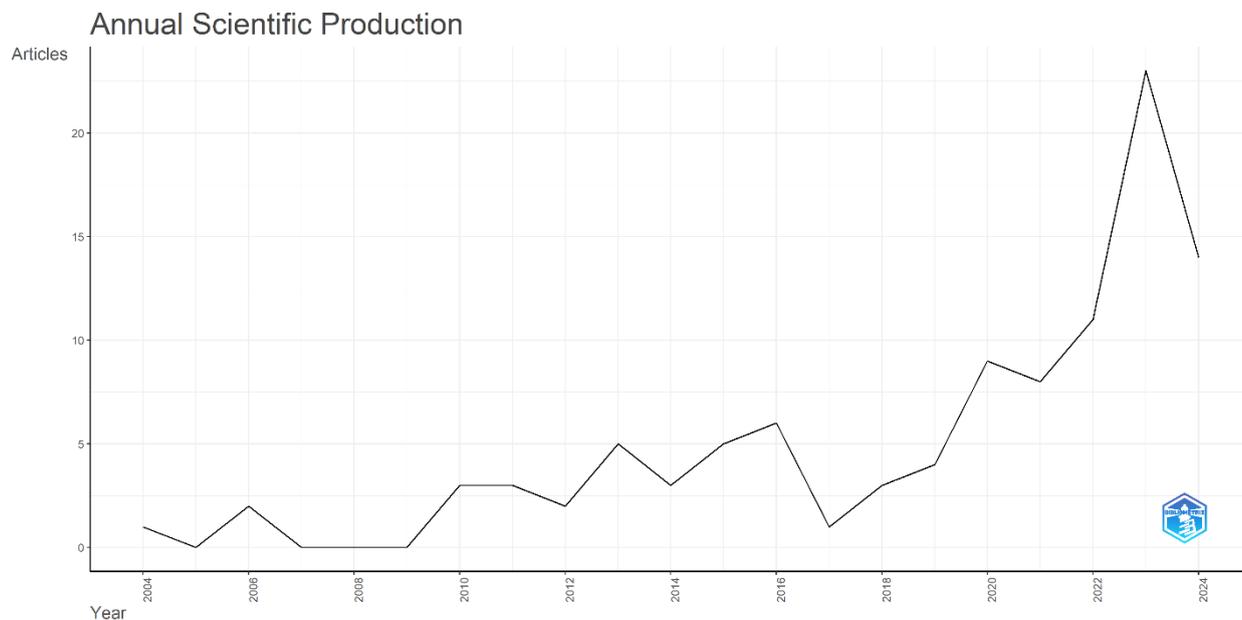
- Aumento gradual en la publicación de artículos, desde un artículo en 2004 hasta un máximo de 6 artículos en 2016.
- Este crecimiento inicial podría atribuirse al creciente reconocimiento de la IA como una herramienta valiosa para el monitoreo ambiental.

2. Etapa de Crecimiento Acelerado (2019-2024):

- Aumento significativo en la producción científica, con un crecimiento de casi el 156% entre 2018 y 2023.
- Este crecimiento acelerado puede estar relacionado con la pandemia de COVID-19, que impulsó el desarrollo y adopción de herramientas digitales para el monitoreo ambiental.
- El pico de 23 artículos publicados en 2023 refleja el auge actual de la IA en este campo. La tendencia creciente se mantiene en 2024, con 14 artículos registrados hasta la fecha del análisis.

Este análisis subraya el impacto significativo que la adopción de la tecnología de IA ha tenido en la investigación sobre el monitoreo de la calidad del agua para sistemas lógicos; como resultado, en los últimos años se ha observado un aumento notable de la producción científica.

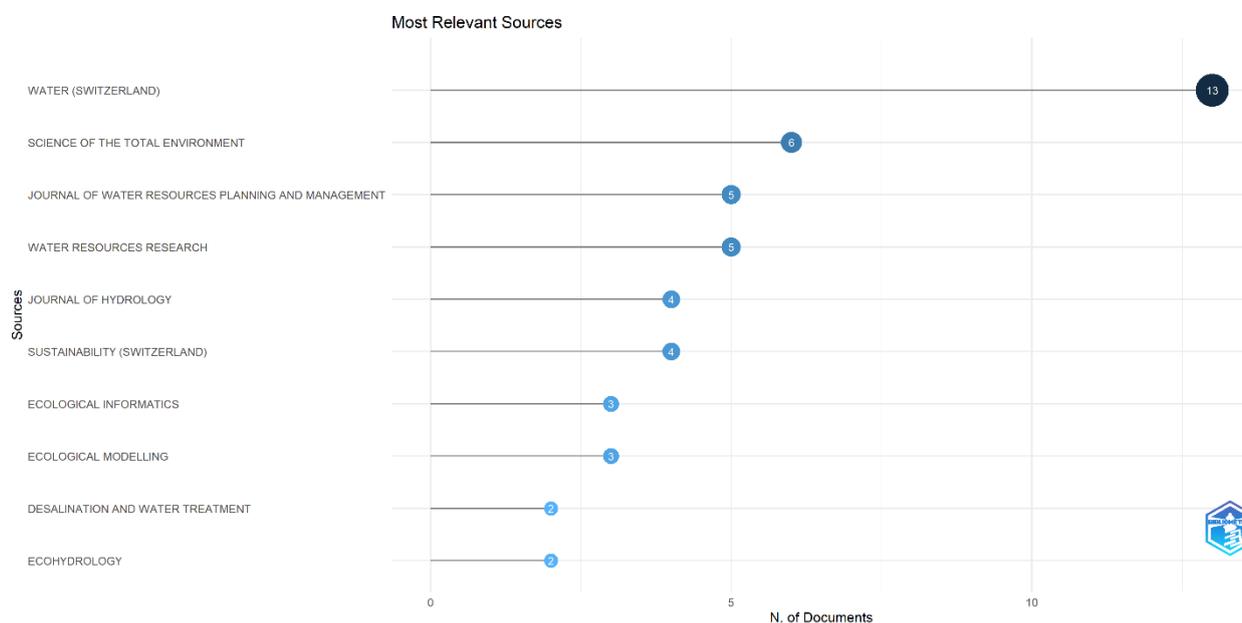
Ilustración 1 Producción científica Anual



POR FUENTES

El número de revistas que se encontró que habían publicado artículos relacionados con el tema de estudio fue 57. Las revistas más relevantes se determinaron con base en la cantidad de documentos publicados en ellas, como se muestra en la Ilustración 2.

Ilustración 2 Revistas más relevantes



La revista Water (Switzerland) encabeza la lista con 13 artículos, lo que destaca su prominencia en este campo de investigación. Science of the Total Environment sigue con 6 artículos, subrayando su enfoque en estudios ambientales integrales. Tanto Journal of Water Resources Planning and Management como Water Resources Research han publicado 5 artículos cada una, reflejando su importancia en la planificación y gestión de recursos hídricos mediante tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial.

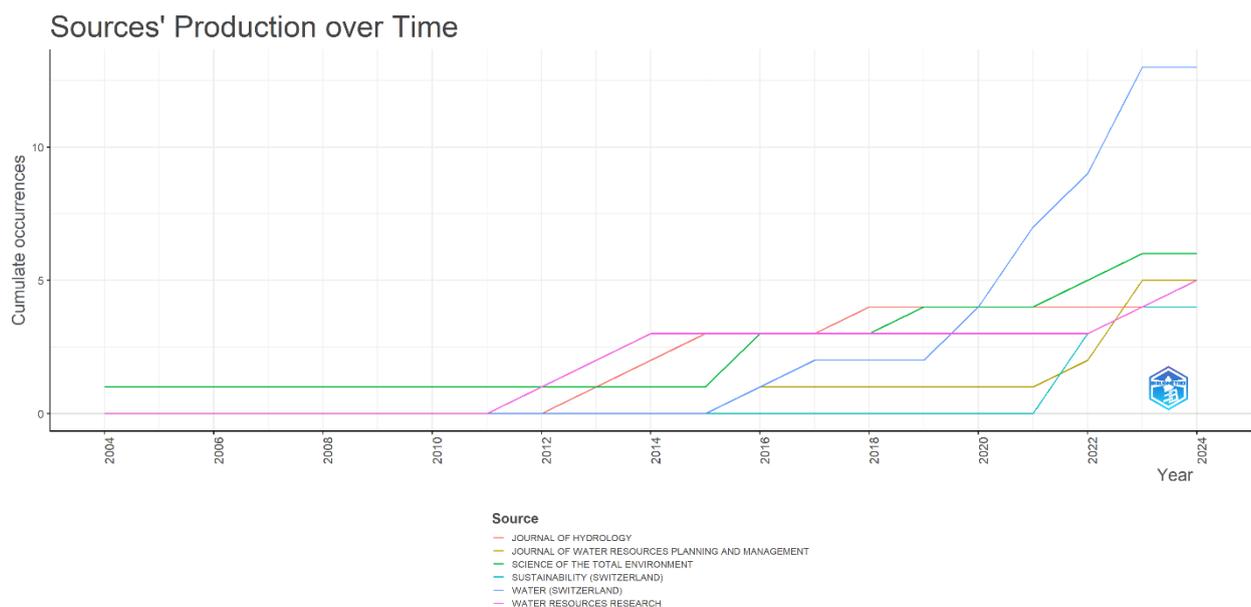
Las revistas Journal of Hydrology y Sustainability (Switzerland) ocupan los siguientes

lugares con 4 artículos cada una, enfatizando la integración de prácticas sostenibles en la gestión del agua y el análisis hidrológico. Ecological Informatics y Ecological Modelling, con 3 artículos cada una, destacan por su contribución a la modelización y análisis ecológico, esenciales para la gestión efectiva de los ecosistemas acuáticos.

Finalmente, Desalination and Water Treatment y Ecohydrology, con 2 artículos cada una, resaltan la importancia de las técnicas de desalinización y el estudio de las interacciones entre el agua y los ecosistemas terrestres. Esta distribución refleja la diversidad de enfoques y metodologías en el campo de la inteligencia artificial aplicada al monitoreo de la calidad del agua, subrayando la relevancia de estas publicaciones en la difusión y desarrollo continuo de la investigación en este área emergente y crucial.

El primer artículo registrado en 2004 se publicó en la revista Science of the Total Environment. Durante el período de 2004 a 2014, la mayoría de las revistas mostraron un crecimiento gradual en la cantidad de publicaciones. Pero no fue hasta 2015 que todas las revistas comenzaron a mostrar un aumento sustancial en las publicaciones. Sin embargo, en medio de este crecimiento, dos revistas se destacaron en términos de una expansión más rápida: Water (Suiza) y Science of the Total Environment, cuando se las comparó con sus contrapartes.

Ilustración 3 Producción de revistas en el tiempo



La tabla 3 resume las características de las 10 revistas más relevantes identificadas en el análisis bibliométrico. Se incluye información sobre el cuartil al que pertenece cada revista, su H-Index y si se encuentra indexada en el Sistema de Ranking de Revistas (SJR), nueve revistas pertenecen al cuartil 1 y 1 revista se encuentra en el cuartil 3, es decir son de alta calidad, con un alto impacto y una gran reputación en el campo de estudio.

Tabla 3 Indexación de revistas

SOURCES	SJR	Quartil	H- Index
Water (Switzerland)	2023 0.72	Q1	102

Science Of The Total Environment	2023	2	Q1	353
Journal Of Water Resources Planning And Management	2023	0.81	Q1	113
Water Resources Research	2023	1.57	Q1	260
Journal Of Hydrology	2023	1.706	Q1	274
Sustainability (Switzerland)	2022	0.664		
Ecological Informatics	2023	1.1	Q1	77
Ecological Modelling	2023	0.82	Q1	181
Desalination And Water Treatment	2023	0.26	Q3	83
Ecohydrology	2023	0.82	Q1	69

La revista Water (Switzerland) encabeza la lista con un SJR de 0.72, perteneciendo al cuartil 1 y con un H-Index de 102, lo que indica su relevancia y alto impacto en el campo. Science Of The Total Environment tiene el SJR más alto de 2.00 y un H-Index de 353, consolidándose como una de las fuentes más influyentes.

El Journal Of Water Resources Planning And Management y Water Resources Research también pertenecen al cuartil 1, con SJR de 0.81 y 1.57 respectivamente, y altos H-Index, demostrando su importancia en la planificación y gestión de recursos hídricos.

Journal Of Hydrology y Sustainability (Switzerland) muestran un fuerte desempeño, con el primero en el cuartil 1 y un SJR de 1.706, y el segundo con un SJR de 0.664. Ecological Informatics y Ecological Modelling mantienen su relevancia en la modelización y análisis ecológico con SJR de 1.1 y 0.82 respectivamente.

Finalmente, Desalination And Water Treatment está en el cuartil 3 con un SJR de 0.26, mientras que Ecohydrology permanece en el cuartil 1 con un SJR de 0.82 y un H-Index de 69. Este análisis demuestra la diversidad y el alto impacto de estas revistas en la investigación sobre IA y la calidad del agua en sistemas lóticos.

POR PAISES

La distribución de la producción científica por país en el campo de estudio (Tabla 4), a lo largo de este análisis, se han identificado 42 naciones que han contribuido con investigaciones relevantes al campo, la tabla muestra la frecuencia de publicaciones por país en el período de estudio, se observa una concentración significativa de la producción científica en Estados Unidos, China e India, seguidos por Corea del Sur, Australia, Brasil, Alemania y Francia.

Tabla 4 Frecuencia de publicación de países

Nº	Región	Frecuencia
1	USA	90
2	China	41
3	India	22
4	South Korea	21
5	Uk	16
6	Australia	15
7	Bangladesh	12

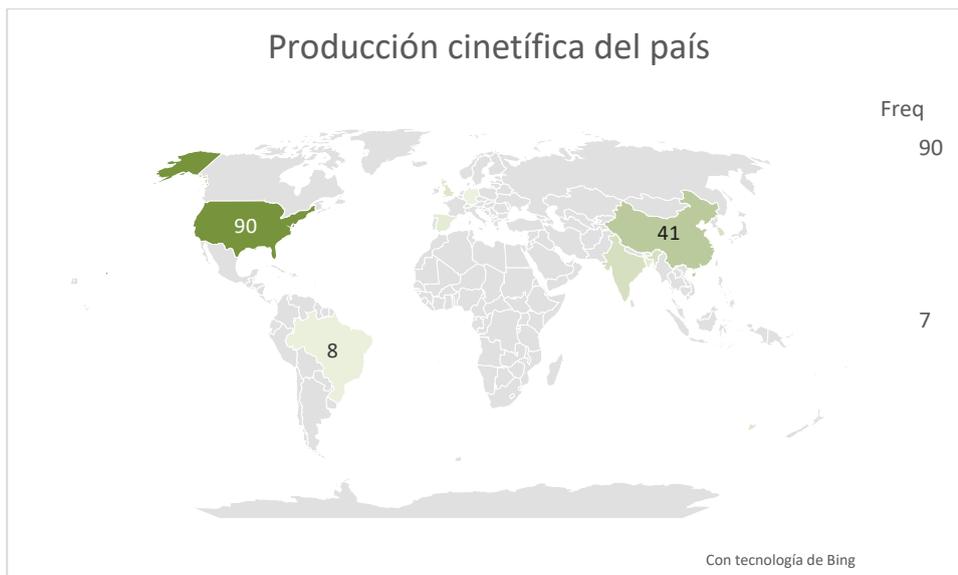
8	Spain	11
9	Brazil	8
10	Germany	7

La producción científica en el campo del monitoreo de la calidad del agua utilizando inteligencia artificial está dominada por Estados Unidos (ilustración 4), con una frecuencia de 90 publicaciones, lo que refleja su liderazgo en la investigación y desarrollo tecnológico. China sigue con 41 publicaciones, demostrando su creciente influencia en el ámbito científico. India ocupa el tercer lugar con 22 publicaciones, destacándose también como un contribuyente clave.

Corea del Sur y el Reino Unido presentan frecuencias de 21 y 16 publicaciones respectivamente, subrayando su fuerte presencia en este campo de estudio. Australia, con 15 publicaciones, muestra su compromiso con la investigación ambiental. Bangladesh, España, Brasil y Alemania completan la lista, con contribuciones significativas que evidencian la diversidad geográfica en la investigación sobre IA y calidad del agua en sistemas lóticos.

Este análisis subraya la importancia de la colaboración internacional y la diversidad en la producción científica, que son esenciales para abordar los desafíos globales relacionados con la calidad del agua y el uso de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial.

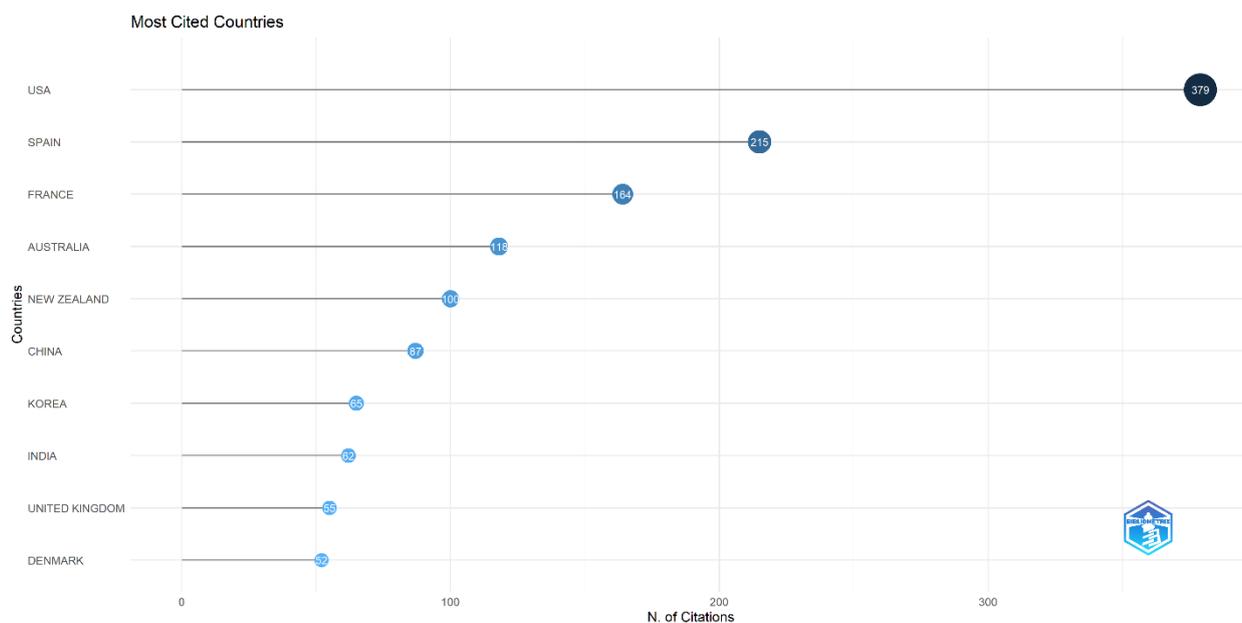
Ilustración 4 Frecuencia de publicación de países



PAÍSES MÁS CITADOS

La gráfica proporcionada representa la cantidad de citas recibidas por país en el análisis bibliométrico. Esta información se basa en la cantidad de veces que se ha citado a las publicaciones de investigadores de cada país en otras investigaciones, se observa una distribución desigual de las citas por país, con una clara concentración en un grupo selecto de naciones. Estados Unidos se posiciona como el país con mayor cantidad de citas recibidas con 379, seguido de España con 215 citas y en tercer lugar se ubica Francia con 164.

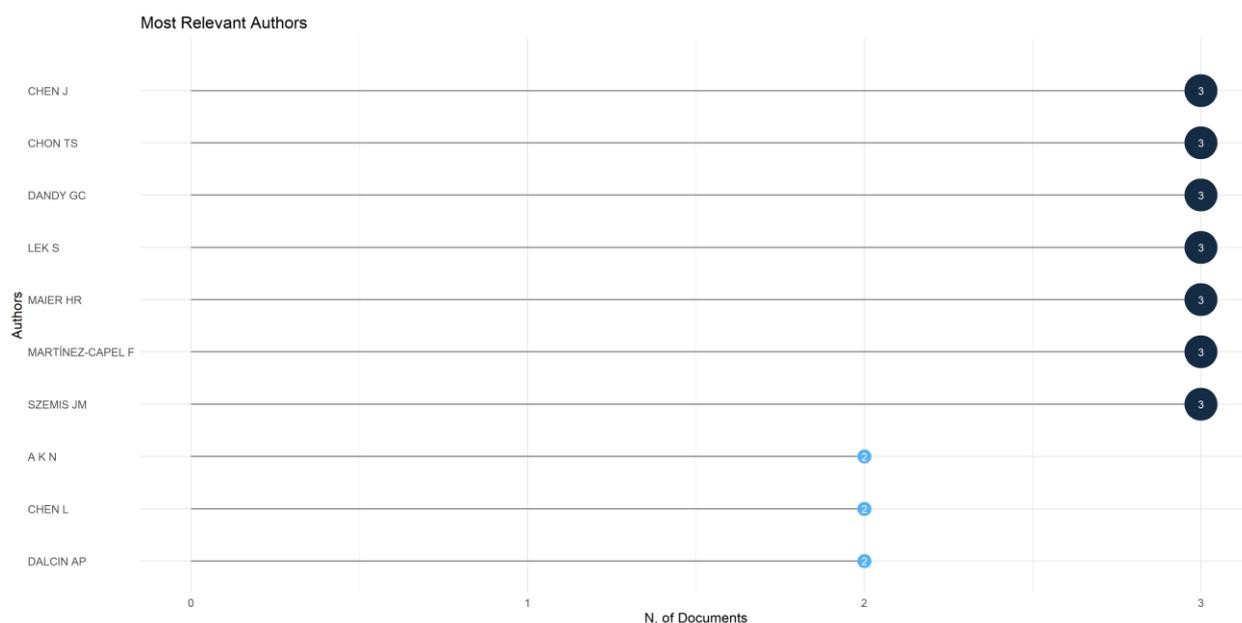
Ilustración 5 Países más citados



POR AUTORES

Se han identificado 435 autores, la gráfica proporcionada muestra los autores más relevantes en el análisis bibliométrico, en términos del número de publicaciones por autor. Esta información se basa en la cantidad de investigaciones realizadas y publicadas por cada autor en el campo de estudio. Los autores Chen J, Chon Ts, Dandy Gc, Lek S, Maier Hr, Martínez-Capel F Y Szemis Jm, se posicionan como los autores más relevantes con tres publicaciones cada uno, seguido de AKN, Chen L y Dalcin Ap con dos publicaciones respectivamente.

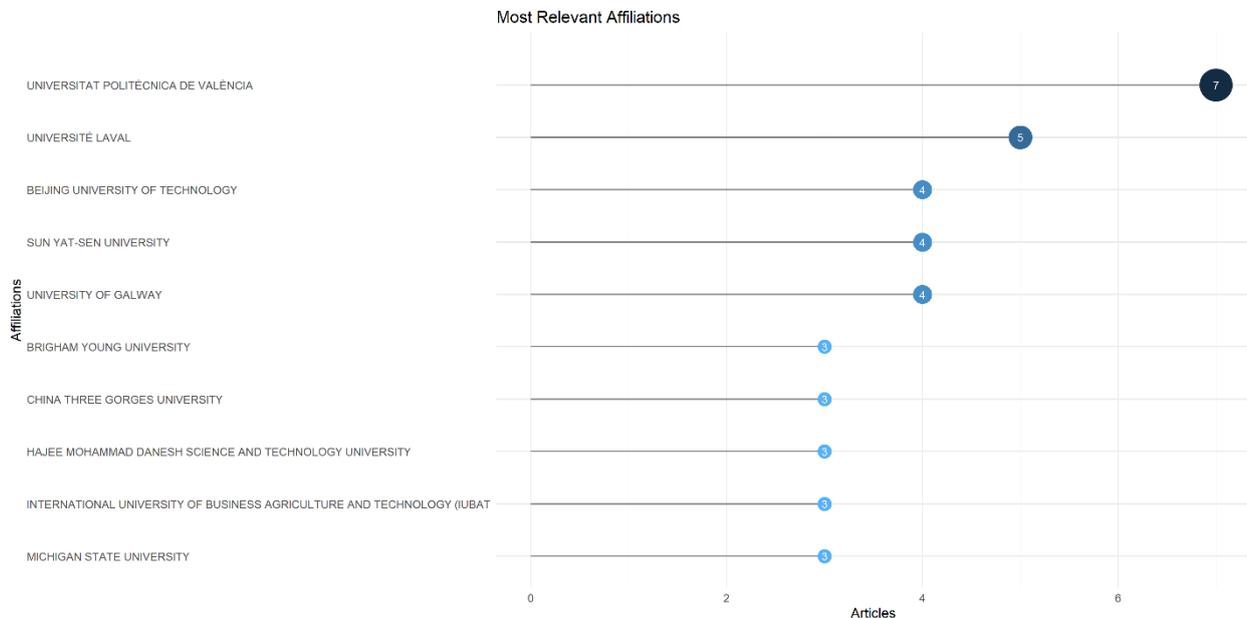
Ilustración 6 Autores más citados



POR FILIACIÓN

La revisión bibliométrica abarca 220 instituciones, la gráfica proporcionada muestra las filiaciones más relevantes en términos del número de publicaciones por filiación. Esta información se basa en la cantidad de investigaciones realizadas y publicadas por investigadores afiliados a cada institución en el campo de estudio, la Universitat Politècnica de València se ubica en primer lugar con 7 filiaciones, seguida de la Université Laval con 5 filiaciones, en tercer lugar, se ubican Beijing University of Technology, Sun Yat-Sen University y University of Galway con 4 publicaciones.

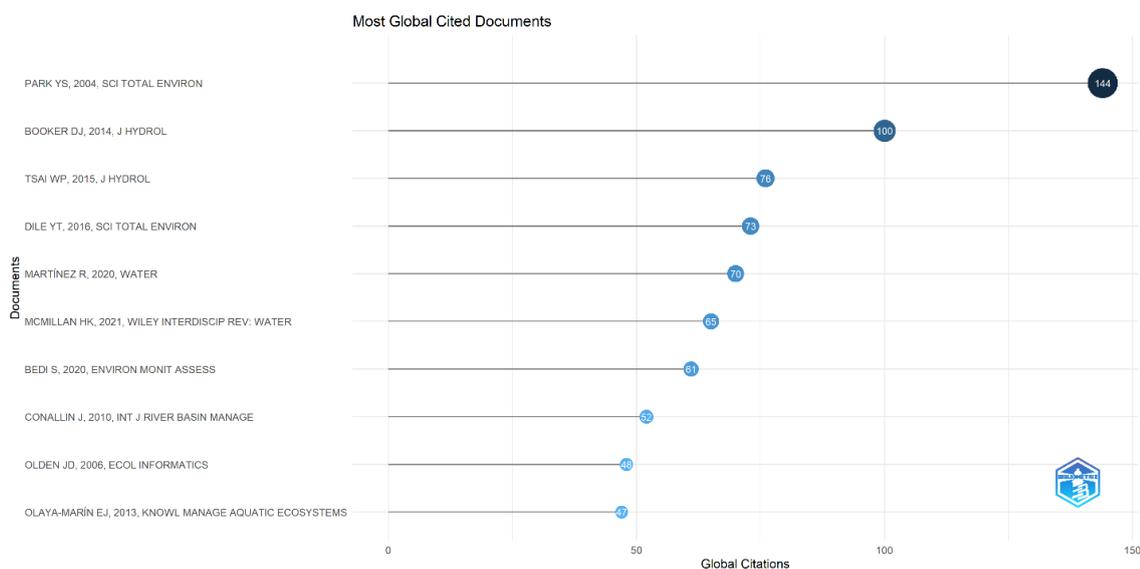
Ilustración 7 Filiaciones más relevantes



Documentos más citados a nivel mundial

La gráfica proporcionada muestra los 10 documentos más citados a nivel mundial en el análisis bibliométrico. La información se basa en el número de veces que cada documento ha sido citado en otras investigaciones.

Ilustración 8 Documentos más citados a nivel mundial



El artículo “Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks”, evaluó comunidades de macroinvertebrados bentónicos en ecosistemas de arroyos usando un método jerárquico de dos niveles basado en aprendizaje automático sin supervisión. Se implementaron dos redes neuronales artificiales en conjunto. Primero, un mapa autoorganizado (SOM) redujo la dimensión de los datos de la comunidad. Luego, la teoría de resonancia adaptativa (ART) se aplicó al SOM para clasificar aún más los grupos en diferentes escalas. La agrupación jerárquica reflejó efectivamente el impacto de factores ambientales como topografía, contaminación, ubicación y época de muestreo en diferentes escalas. Se utilizaron nuevos datos de la comunidad para probar la red entrenada. La red agrupó adecuadamente los datos de entrada en niveles jerárquicos, revelando el impacto de las perturbaciones ambientales y la dinámica temporal de las comunidades. Estos grupos jerárquicos podrían ser útiles para evaluar la calidad del ecosistema y las variaciones de la comunidad causadas por alteraciones ambientales (Park et al., 2004).

El artículo “Comparing and combining physically-based and empirically-based approaches for estimating the hydrology of ungauged catchments” Este estudio comparó cuatro métodos para predecir regímenes hidrológicos en Nueva Zelanda. Estas predicciones son importantes para establecer flujos ambientales, evaluar recursos hídricos o pronosticar inundaciones y sequías. Los métodos analizados fueron: (1) un modelo nacional no calibrado basado en precipitación-escorrentía (TopNet), (2) métodos empíricos basados en teoría hidrológica (HUC), (3) un modelo de regresión por aprendizaje automático (Random Forests), y (4) una corrección de las estimaciones de TopNet usando curvas de duración de flujo estimadas por Random Forests. Se compararon los resultados con datos observados en 485 estaciones. El análisis mostró que la corrección de las series temporales de TopNet con curvas de duración de flujo de Random Forests mejoraba significativamente su desempeño. Este método funcionó con dos parametrizaciones distintas de TopNet. Random Forests fue el mejor método para estimar las curvas de duración de flujo y la mayoría de los índices hidrológicos, excepto el flujo promedio. Para este último, el método HUC existente funcionó mejor (Booker & Woods, 2014).

El artículo “AI techniques for optimizing multi-objective reservoir operation upon human and riverine ecosystem demands”, propone un método novedoso para la gestión de embalses basado en inteligencia artificial (IA) que optimice la liberación de agua considerando tanto las necesidades humanas como las del ecosistema fluvial. El régimen de flujo del río es el factor clave para la salud del ecosistema. Este método híbrido utiliza redes neuronales artificiales (ANN) para estudiar la relación entre el régimen de flujo y la comunidad de peces (diversidad). Luego, un algoritmo genético llamado NSGA-II se encarga de encontrar soluciones que satisfagan tanto la demanda de agua por parte de la población como la necesidad de mantener la diversidad de peces. El resultado es un conjunto de alternativas que permiten a los gestores de recursos hídricos encontrar un equilibrio entre el uso del agua y la salud del ecosistema río abajo. La ventaja de este método es que presenta varias soluciones "óptimas" (frente de Pareto)

que permiten a los tomadores de decisiones elegir la que mejor se adapte a sus necesidades (Tsai et al., 2015).

El artículo “Assessing the implications of water harvesting intensification on upstream–downstream ecosystem services: A case study in the Lake Tana basin” basa su estudio en sistemas de captación de agua que han mejorado la productividad agrícola en varias regiones del África, ayudan a retener agua en el terreno, aumentando la resistencia a sequías y períodos secos, contribuyendo así a una intensificación agrícola sostenible, en este estudio, se desarrolla un sistema de apoyo a las decisiones (SAD) para ubicar y dimensionar estanques de captación de agua en un modelo hidrológico. Este sistema permite evaluar la intensificación de la captación de agua en los servicios ecosistémicos río arriba y río abajo en cuencas hidrográficas de meso escala, se encontró que el riego suplementario combinado con la aplicación de nutrientes aumenta la producción simulada de tef (cultivo básico en Etiopía) hasta tres veces en comparación con prácticas actuales. Además, después del riego suplementario, el exceso de agua se utilizó en la cebolla de estación seca a 7,66 t/ha (mediana). Por lo tanto, la captación de agua puede desempeñar un papel importante en el aumento de la seguridad alimentaria a escala local y regional a través de una producción de alimentos más estable y la generación de ingresos adicionales por la venta de cultivos comerciales. El consumo anual total de agua de riego representó entre el 4% y el 30% del rendimiento anual de agua de toda la cuenca. En general, la captación de agua redujo los caudales máximos y aumentó los caudales bajos. También redujo sustancialmente la producción de sedimentos que salen de la cuenca (Dile et al., 2016).

Martínez et al., (2020), autores del artículo “On the Use of an IoT Integrated System for Water Quality Monitoring and Management in Wastewater Treatment Plants” manifiestan que el deterioro de la calidad del agua exige nuevos enfoques y tecnologías para lograr una gestión sostenible e inteligente de los sistemas urbanos de agua. Las redes de sensores inalámbricos representan una tecnología prometedora para el monitoreo y la gestión de la calidad del agua, su uso permite mejorar los actuales sistemas centralizados y los métodos manuales tradicionales, el artículo presenta la integración a una red de sensores inalámbricos y una validación preliminar en una planta de tratamiento de aguas residuales de un dispositivo de monitoreo de calidad del agua de bajo costo, cercano a la etapa de comercialización. Este dispositivo consiste en un analizador de nitratos y nitritos basado en un novedoso método de detección por cromatografía iónica. El dispositivo analítico se integra mediante una plataforma de software del Internet de las Cosas y se prueba en condiciones reales. En el escenario presentado, dicho sistema permite la comunicación en línea casi en tiempo real con varios dispositivos desplegados en múltiples plantas de tratamiento de agua y proporciona mecanismos de análisis preventivo y de datos para apoyar la toma de decisiones.

El artículo “A review of hydrologic signatures and their applications”, trata sobre las firmas hidrológicas como indicadores cuantitativos que describen las características estadísticas y dinámicas de los datos de flujos de agua, principalmente en ríos. Inicialmente utilizadas en ecohidrología para evaluar cambios en el régimen de flujo, hoy se aplican en diversos campos de la hidrología, estas firmas permiten extraer información

biológicamente relevante de los caudales, monitorear cambios hidrológicos, analizar procesos de escorrentía, comparar cuencas y calibrar modelos hidrológicos. Dada su capacidad para extraer información valiosa de los flujos, las firmas hidrológicas cobran cada vez más importancia en áreas emergentes ricas en datos, como la modelización hidrológica a escala global, el aprendizaje automático y la hidrología a gran escala, este artículo ofrece una visión general del trasfondo y desarrollo de la teoría de las firmas hidrológicas, analiza su uso en diversas aplicaciones y discute las líneas de investigación actuales y sus desafíos (McMillan, 2021).

El artículo “Comparative evaluation of machine learning models for groundwater quality assessment” aborda la contaminación por pesticidas y nitratos en las aguas subterráneas como una amenaza significativa para la calidad del agua en general, especialmente en las regiones con alta intensidad agrícola. En el estudio se evaluaron tres modelos de aprendizaje automático, redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de vectores de soporte (SVM) y aumento de gradiente extremo (XGB), para determinar su eficacia en la predicción de niveles de contaminación utilizando datos escasos con relaciones no lineales. Se analizó la capacidad predictiva de los modelos utilizando información de 303 pozos ubicados en 12 estados del Medio Oeste de Estados Unidos. Se consideraron múltiples variables independientes como características hidrogeológicas, calidad del agua y uso del suelo. Las clases se basaron en rangos de concentración medidos de nitrato y plaguicidas (Bedi et al., 2020b).

El artículo “Instream physical habitat modelling types: an analysis as stream hydromorphological modelling tools for EU water resource managers”, analiza el potencial de los diferentes métodos disponibles para evaluar los impactos hidrológicos y geomorfológicos en los hábitats de la biota de los ríos, como solicita la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea DMA. La revisión considera tanto los modelos de hábitat físico en ríos convencionales como los nuevos y avanzados basados en la investigación, los métodos como redes neuronales artificiales y el modelado basado en individuos, tienen un potencial prometedor como herramientas de gestión del agua, pero requieren grandes cantidades de datos y su estructura es compleja. Se concluye que el uso de índices de idoneidad del hábitat (HSI) y reglas difusas en el modelado hidráulico-hábitat son los tipos de modelos más listos para satisfacer las demandas de la DMA (Conallin et al., 2010).

El artículo “Incorporating ecological knowledge into ecoinformatics: An example of modeling hierarchically structured aquatic communities with neural networks”, aborda el campo de la ecoinformática que se centra en comprender mejor los complejos sistemas ecológicos, este estudio ofrece un ejemplo sencillo de cómo usar la teoría ecológica para orientar mejor el uso de redes neuronales en una cuestión fundamental de la ecología acuática, los resultados destacan la importancia de incorporar jerarquías ambientales para comprender y predecir mejor los patrones locales de la estructura de ensamblajes de macroinvertebrados en los ecosistemas de arroyos y cómo la incorporación del conocimiento ecológico previo en la estructura del modelo ANN puede fortalecer la relevancia de las técnicas ecoinformáticas para la comunidad científica (Olden et al., 2006).

El artículo “A comparison of artificial neural networks and random forests to predict native

fish species richness in Mediterranean rivers”, menciona que las técnicas de aprendizaje automático (ML) son cada vez más importantes para la toma de decisiones en la gestión y conservación de ecosistemas acuáticos de agua dulce. Dada la gran cantidad de técnicas ML y para mejorar su comprensión en ecología, se realizó estudios comparativos de dos modelos predictivos para la riqueza de peces: redes neuronales artificiales (ANN) y bosques aleatorios (RF), evaluando su fiabilidad, relevancia ecológica y efectividad. Se muestra un resultado similar pese a la selección de diferentes variables, ambos modelos demostraron alta relevancia ecológica para la conservación de peces nativos del Mediterráneo, evidenciando cómo el uso de diferentes métodos de modelado puede ayudar al análisis crítico de las predicciones a escala de cuenca (Olaya-Marín et al., 2013b).

Tabla 5 Documentos más citados a nivel mundial

Paper	DOI	Total Citations	TC per Year	Normalized TC
Park Ys, 2004, Sci Total Environ	10.1016/j.scitotenv.2004.01.014	144	6.86	1.00
Booker Dj, 2014, J Hydrol	10.1016/j.jhydrol.2013.11.007	100	9.09	1.89
Tsai Wp, 2015, J Hydrol	10.1016/j.jhydrol.2015.10.024	76	7.60	2.70
Dile Yt, 2016, Sci Total Environ	10.1016/j.scitotenv.2015.10.065	73	8.11	2.69
Martínez R, 2020, Water	10.3390/W12041096	70	14.00	2.73
Mcmillan Hk, 2021, Wiley Interdiscip Rev: Water	10.1002/wat2.1499	65	16.25	4.81
Bedi S, 2020, Environ Monit Assess	10.1007/s10661-020-08695-3	61	12.20	2.38
Conallin J, 2010, Int J River Basin Manage	10.1080/15715121003715123	52	3.47	1.95
Olden Jd, 2006, Ecol Informatics	10.1016/j.ecoinf.2005.08.003	48	2.53	1.43
Olaya-Marín Ej, 2013, Knowl Manage Aquatic Ecosystems	10.1051/kmae/2013052	47	3.92	2.06

Mapa mundial de colaboración de los países

El gráfico de colaboraciones internacionales que se presenta ofrece una visión conjunta de la distribución y frecuencia de las colaboraciones entre países en el ámbito de la investigación científica, muestra la cantidad de veces que cada país colaboró con otros en la publicación de artículos científicos. Estados Unidos se posiciona como el país con mayor número de colaboraciones, con un total de 18, seguido de Australia con 10, Reino Unido con 7 y China con 6.

Mapa temático

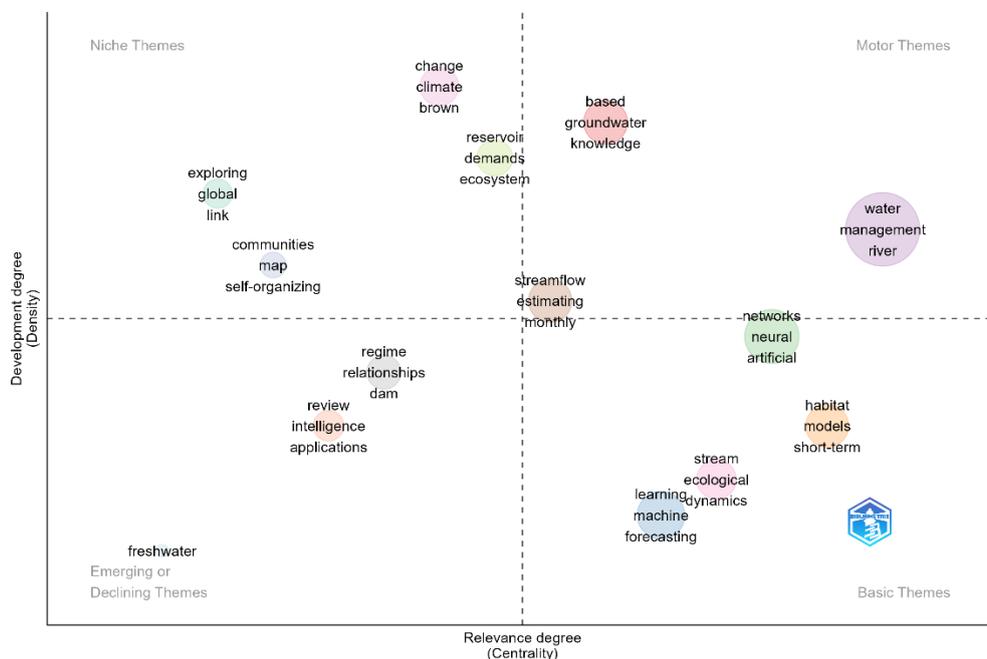
El mapa temático proporciona una visión comprensiva de las áreas de investigación en el campo de la inteligencia artificial aplicada al monitoreo de la calidad del agua en sistemas lóticos. Los temas se distribuyen en cuatro cuadrantes, destacando su relevancia y grado de desarrollo.

En el cuadrante de los temas motores, que son altamente relevantes y desarrollados, se encuentran "water management" y "river". Estos temas son fundamentales y bien desarrollados, reflejando su papel central en la investigación y gestión de la calidad del agua. Los temas básicos, ubicados en el cuadrante inferior derecho, son también relevantes, pero menos desarrollados. Aquí destacan términos como "networks," "neural," y "artificial," indicando que las tecnologías de inteligencia artificial, como las redes neuronales, son esenciales, pero necesitan mayor consolidación y aplicación práctica.

En el cuadrante superior izquierdo, los temas de nicho están altamente desarrollados, pero son menos centrales en la investigación general. Términos como "change," "climate," "reservoir," y "demands" resaltan enfoques especializados, como el impacto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y la gestión de reservorios. Finalmente, los temas emergentes o en declive en el cuadrante inferior izquierdo incluyen términos como "freshwater" y "review," que, aunque presentes, aún no han alcanzado una relevancia o desarrollo significativo en la investigación.

El mapa temático destaca las áreas claves de investigación y los patrones de desarrollo en el uso de IA para monitorear la calidad del agua, proporcionando una guía valiosa para futuras investigaciones y esfuerzos de desarrollo en este campo.

Ilustración 11 Temas en las áreas de investigación.



Palabras frecuentes

El gráfico de palabras frecuentes nos ofrece un panorama de los términos más utilizados en las publicaciones analizadas. El tamaño de cada palabra refleja su frecuencia de aparición, destacando "gestión del agua" con 50 ocurrencias, seguido de "aprendizaje automático" con 45 repeticiones. "Ríos" ocupa el tercer lugar con 37 menciones, seguido

se observa un crecimiento exponencial en la producción científica, lo que puede atribuirse al creciente interés en la aplicación de tecnologías innovadoras para la gestión ambiental, especialmente en el contexto de la pandemia.

Estados Unidos se posiciona como líder en cuanto a publicaciones, citas y redes de colaboración en el ámbito de la IA y la calidad del agua en sistemas lógicos. Le siguen países como China, India, Corea del Sur, España, Francia, Australia y Reino Unido, conformando un panorama de colaboración internacional en torno a esta temática.

Las revistas identificadas como las más relevantes se caracterizan por tener un enfoque temático en la gestión de recursos hídricos, la contaminación del agua, la ecología acuática y el modelado ambiental. Esta distribución refleja la importancia de estas áreas de investigación dentro del campo de estudio.

El análisis de los artículos más relevantes revela que las principales tecnologías de IA utilizadas en la gestión del agua en sistemas lógicos son las redes neuronales artificiales (ANN), la teledetección, el aprendizaje automático y los sistemas de expertos. En cuanto a los métodos de monitoreo, destacan el análisis de datos hidrológicos y el modelado de ecosistemas acuáticos.

El análisis de las palabras más frecuentes en la literatura sobre IA y gestión del agua en sistemas lógicos, mediante la creación de una red de coocurrencia, permite identificar los ejes temáticos principales que guían las investigaciones actuales en este campo.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se analizaron 103 documentos de la base de datos Scopus que cumplían con los criterios de búsqueda, abarcando un período de 20 años (2004-2024). El análisis se centró en la producción científica global, autores relevantes, revistas destacadas, países más citados, redes de colaboración, filiaciones institucionales, coocurrencia de palabras clave y términos frecuentes.

El análisis bibliométrico revela un auge en la investigación sobre la aplicación de IA para el monitoreo de aguas en sistemas lóticos, especialmente entre 2015 y 2018. Esta tendencia se ve impulsada por el desarrollo de nuevas tecnologías y la creciente necesidad de soluciones innovadoras para la gestión ambiental.

La IA emerge como una herramienta poderosa para optimizar el monitoreo y la gestión de la calidad del agua en sistemas lóticos. Las tecnologías de IA como Redes neuronales artificiales (ANN), teledetección, aprendizaje automático y sistemas de expertos, posibilitan el desarrollo de nuevos métodos de monitoreo, análisis de datos hidrológicos y modelado de ecosistemas acuáticos. Estas herramientas permiten a los gestores del agua tomar decisiones informadas para proteger los recursos hídricos y garantizar la idoneidad de los ecosistemas acuáticos. Países como Estados Unidos, China, India y Corea del Sur se posicionan como regiones líderes en producción científica en este ámbito.

El análisis de las redes de colaboración entre países revela una comunidad científica global e interconectada, donde destacan las sólidas conexiones entre Estados Unidos, Australia, Reino Unido y China. En cuanto a los países más citas, Estados Unidos, España, Francia y Australia se posicionan como líderes. Entre las filiaciones más destacadas en este ámbito se encuentran la Universitat Politècnica de Valencia, la Université Laval, la Beijing University of Technology, la Sun Yat-Sen University y la University of Galway.

5.2 Recomendaciones

Realizar análisis bibliométricos periódicos para evaluar la evolución de la producción científica en este campo e identificar nuevos nodos de investigación.

Crear herramientas de IA adaptadas a las necesidades y capacidades de diferentes contextos, especialmente en países en vías de desarrollo.

Identificar las áreas de investigación que requieren mayor atención y enfocar los esfuerzos en desarrollar soluciones innovadoras en esas áreas.

Fomentar la colaboración interdisciplinaria en investigación de calidad, orientada al monitoreo de la calidad del agua en entornos locales mediante IA, y promover su publicación en revistas de alto impacto.

Ajustar los modelos de IA al área de estudio ya que pueden ser sensibles a la calidad y cantidad de los datos de entrenamiento dificultando la interpretación de la calidad de agua.

Limitaciones

Debido a que este análisis bibliométrico se basa en la información disponible en la base de datos Scopus, es posible que existan artículos relevantes publicados en otras bases de datos o en idiomas no cubiertos por Scopus.

Bibliografía

- Aldhyani, T. H. H., Al-Yaari, M., Alkahtani, H., & Maashi, M. (2020). Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2020(1), 6659314. <https://doi.org/10.1155/2020/6659314>
- Allan, J., & Castillo, M. (2007). Stream ecology structure and function of running waters. *Ecology*, 436.
- Ardanuy, D. J. (2012). *Breve introducción a la bibliometría*.
- Bartram, J., & Ballance, R. (1996). *Water quality monitoring: A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*.
- Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Palutikof, J., & Wu, S. (2008). *EL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL AGUA*. Secretaría del IPCC.
- Bedi, S., Samal, A., Ray, C., & Snow, D. (2020a). Comparative evaluation of machine learning models for groundwater quality assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08695-3>
- Bedi, S., Samal, A., Ray, C., & Snow, D. (2020b). Comparative evaluation of machine learning models for groundwater quality assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(12), 776. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08695-3>
- Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R., & Rodriguez, M. J. (2016). Water quality monitoring strategies—A review and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 571, 1312-1329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
- Bieńkowska, E. (2015). *Copernicus Europe's eyes on Earth*. Publications Office of the European Union.
- Boden, M. A. (2017). *Inteligencia artificial*. Turner.
- Booker, D. J., & Woods, R. A. (2014). Comparing and combining physically-based and empirically-based approaches for estimating the hydrology of ungauged catchments. *Journal of Hydrology*, 508, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.007>
- Bradford, A. (2008). An Ecological Flow Assessment Framework: Building a Bridge to Implementation in Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 33(3), 215-232. <https://doi.org/10.4296/cwrj3303215>
- Bukata, R. P., Jerome, J. H., Kondratyev, A. S., & Pozdnyakov, D. V. (1995). *Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203744956>
- Camps, D. (2009). El análisis bibliométrico de Universitas Scientarium. *Universitas Scientiarum*, 14(1), 5-7.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). NONPOINT POLLUTION OF SURFACE WATERS WITH PHOSPHORUS AND NITROGEN. *Ecological Applications*, 8(3), 559-568. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
- Chapman, S. L. (1996). Soil and solid poultry waste nutrient management and water quality. *Poultry Science*, 75(7), 862-866.
- Chen, Y., Lin, M., & Zhuang, D. (2022). Wastewater treatment and emerging contaminants: Bibliometric analysis. *Chemosphere*, 297, 133932. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133932>
- Conallin, J., Boegh, E., & Jensen, J. K. (2010). Instream physical habitat modelling types: An analysis as stream hydromorphological modelling tools for EU water resource managers. *International Journal of River Basin Management*, 8(1), 93-107. <https://doi.org/10.1080/15715121003715123>
- Corona, L. G., Abarca, G. S., & Mares, J. (2019). *Sensores y actuadores*. Grupo Editorial Patria.
- Dile, Y. T., Karlberg, L., Daggupati, P., Srinivasan, R., Wiberg, D., & Rockström, J. (2016). Assessing the implications of water harvesting intensification on upstream–downstream ecosystem services: A case study in the Lake Tana basin. *Science of The Total Environment*, 542, 22-35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.065>
- Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285-296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- Doody, T. M., Gao, S., Vervoort, W., Pritchard, J., Davies, M., Nolan, M., & Nagler, P. L. (2023). A river basin spatial model to quantitatively advance understanding of riverine tree response dynamics to water availability and hydrological management. *Journal of Environmental Management*, 332.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117393>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fox, J. T., & Magoulick, D. D. (2019). Predicting hydrologic disturbance of streams using species occurrence data. *Science of the Total Environment*, 686, 254-263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.156>
- Garrido Azevedo, S., Sequeira, T., Santos, M., & Nikuma, D. (2020). Climate change and sustainable development: The case of Amazonia and policy implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 7745-7756. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07725-4>
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors*, 16(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Greene, S., McElarney, Y. R., & Taylor, D. (2013). A predictive geospatial approach for modelling phosphorus concentrations in rivers at the landscape scale. *Journal of Hydrology*, 504, 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.040>
- Guevara, L., & Suntaxi, H. (2020). *Sistema WaterAlert para el monitoreo del agua basado en el paradigma de internet de las cosas (IoT) y la tecnología de comunicación LoRa—Buscar con Google*.
- Gutiérrez, J. F. G., & Peach, F. P. (2022). Imágenes satelitales e inteligencia artificial para el monitoreo de cuerpos de agua. En *AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA APLICADA* (pp. 511-520).
- Hamaamin, Y. A., Nejadhashemi, A. P., Zhang, Z., Giri, S., & Woznicki, S. A. (2016). Bayesian regression and neuro-fuzzy methods reliability assessment for estimating streamflow. *Water (Switzerland)*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/W8070287>
- Harrington, J. A., Schiebe, F. R., & Nix, J. F. (1992). Remote sensing of Lake Chicot, Arkansas: Monitoring suspended sediments, turbidity, and Secchi depth with Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment*, 39(1), 15-27. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90137-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(92)90137-9)
- Hicks, B. J., Stichbury, G. A., Brabyn, L. K., Allan, M. G., & Ashraf, S. (2013). Hindcasting water clarity from Landsat satellite images of unmonitored shallow lakes in the Waikato region, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(9), 7245-7261. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3098-2>
- Holling, C. S., & Walters, C. (1978). *Adaptive environmental assessment and management*. <https://keep.lib.asu.edu/system/files/c342/219294/1978-Holling-et-al-Adaptive-Environmental-Assessment-and-Management.pdf>
- Hood, W. W., & Wilson, C. S. (2001). The literature of bibliometrics, scientometrics, and informetrics. *Scientometrics*, 52(2), 291-314. <https://doi.org/10.1023/A:1017919924342>
- Hynes, H. B. N. (1970). The ecology of flowing waters in relation to management. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 418-424.
- Ideam, & Invemar. (2021). *Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua*.
- Jiang, Y., Ye, Y., Zhao, H., Zhang, S., Cao, Y., & Gu, J. (2021). Analysis of smart water conservancy [智慧水利解析]. *Shuili Xuebao/Journal of Hydraulic Engineering*, 52(11), 1355-1368. <https://doi.org/10.13243/j.cnki.slx.20210633>
- Keathley-Herring, H., Van Aken, E., Gonzalez-Aleu, F., Deschamps, F., Letens, G., & Orlandini, P. C. (2016). Assessing the maturity of a research area: Bibliometric review and proposed framework. *Scientometrics*, 109(2), 927-951. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-2096-x>
- Kim, S.-J., Bae, S.-J., Lee, S.-J., & Jang, M.-W. (2022). Monthly Agricultural Reservoir Storage Forecasting Using Machine Learning. *Atmosphere*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/atmos13111887>
- Konur, O. (2012). The scientometric evaluation of the research on the production of bioenergy from biomass. *Biomass and Bioenergy*, 47, 504-515.
- Krenkel, P. (2012). *Water Quality Management*. Elsevier.
- Lap, B. Q., Phan, T.-T.-H., Nguyen, H. D., Quang, L. X., Hang, P. T., Phi, N. Q., Hoang, V. T., Linh, P. G., & Hang, B. T. T. (2023). Predicting Water Quality Index (WQI) by feature selection and machine learning: A case study of An Kim Hai irrigation system. *Ecological Informatics*, 74, 101991. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101991>
- Ley de Gestión Ambiental, 14 (2004).
- Leyva, M., & Smarandache, F. (2018). Inteligencia Artificial: Retos, perspectivas y papel de la Neutrosfía. *Infinite Study*.

- Liu, W., & Han, M. (2023). A Practical Method for Floor Water Inrush Prediction Using a Hybrid Artificial Intelligence Model and GIS. *Mine Water and the Environment*, 42(2), 220-229. <https://doi.org/10.1007/s10230-023-00932-8>
- López, L. J., de Armas Vargas, Y., Almeida, M., & Tamayo, L. A. (2012). Procedimiento para planificar el monitoreo ambiental en empresas hoteleras. *Avanzada Científica*, 15(1), 35-50.
- Martínez, R., Vela, N., el Aatik, A., Murray, E., Roche, P., & Navarro, J. M. (2020). On the Use of an IoT Integrated System for Water Quality Monitoring and Management in Wastewater Treatment Plants. *Water*, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/w12041096>
- McMillan, H. K. (2021). A review of hydrologic signatures and their applications. *WIREs Water*, 8(1), e1499. <https://doi.org/10.1002/wat2.1499>
- Meybeck, M. (1996). River water quality Global ranges, time and space variabilities, proposal for some redefinitions. *SIL Proceedings, 1922-2010*, 26(1), 81-96. <https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11900694>
- Mustapha, A., Aris, A. Z., Juahir, H., Ramli, M. F., & Kura, N. U. (2013). River water quality assessment using environmental techniques: Case study of Jakara River Basin. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(8), 5630-5644. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1542-z>
- Nafsin, N., & Li, J. (2022). Prediction of 5-day biochemical oxygen demand in the Buriganga River of Bangladesh using novel hybrid machine learning algorithms. *Water Environment Research*, 94(5). <https://doi.org/10.1002/wer.10718>
- NASA. (2021, noviembre 30). *Landsat Science*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>
- Nash, L. N., Antigueira, P. A. P., Romero, G. Q., de Omena, P. M., & Kratina, P. (2021). Warming of aquatic ecosystems disrupts aquatic-terrestrial linkages in the tropics. *Journal of Animal Ecology*, 90(7), 1623-1634. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13505>
- Olawumi, T. O., & Chan, D. W. (2018). A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development. *Journal of cleaner production*, 183, 231-250.
- Olaya-Marín, E. J., Martínez-Capel, F., & Vezza, P. (2013a). A comparison of artificial neural networks and random forests to predict native fish species richness in Mediterranean rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 409. <https://doi.org/10.1051/kmae/2013052>
- Olaya-Marín, E. J., Martínez-Capel, F., & Vezza, P. (2013b). A comparison of artificial neural networks and random forests to predict native fish species richness in Mediterranean rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 409, Article 409. <https://doi.org/10.1051/kmae/2013052>
- Olden, J. D., Poff, N. L., & Bledsoe, B. P. (2006). Incorporating ecological knowledge into ecoinformatics: An example of modeling hierarchically structured aquatic communities with neural networks. *Ecological Informatics*, 1(1), 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2005.08.003>
- ONU. (2002). *II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental*. UNESCO.
- ONU. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890>
- ONU. (2023). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: Alianzas y cooperación por el agua*. United Nations. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789233002128/read>
- Park, G., Jung, D., & Jun, S. (2021). A study on the practical use of smart meter end-user demand data. *Journal of Korea Water Resources Association*, 54(10), 759-768. <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2021.54.10.759>
- Park, Y.-S., Chon, T.-S., Kwak, I.-S., & Lek, S. (2004a). Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks. *Science of The Total Environment*, 327(1), 105-122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.014>
- Park, Y.-S., Chon, T.-S., Kwak, I.-S., & Lek, S. (2004b). Hierarchical community classification and assessment of aquatic ecosystems using artificial neural networks. *Science of the Total Environment*, 327(1-3), 105-122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.01.014>
- Patel, J., Amipara, C., Ahanger, T. A., Ladhva, K., Gupta, R. K., Alsaab, H. O., Althobaiti, Y. S., & Ratna, R. (2022). A Machine Learning-Based Water Potability Prediction Model by Using Synthetic Minority Oversampling Technique and Explainable AI. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 9283293. <https://doi.org/10.1155/2022/9283293>
- Petts, G. E. (1994). *Rivers: Dynamic components of catchment ecosystems*. Blackwell Science. <https://westminsterresearch.westminster.ac.uk/item/94q35/rivers-dynamic-components-of-catchment-ecosystems>
- PNUD. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.undp.org/es/sustainable-development->

goals

- Pritchard, A. (1969). Bibliografía estadística o bibliometría. *Revista de documentación*, 25(4), 348-349.
- Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Rapp, A. H., Capener, A. M., & Sowby, R. B. (2023). Adoption of Artificial Intelligence in Drinking Water Operations: A Survey of Progress in the United States. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(7). <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-5870>
- Renanda, P. (2024). *Water Distribution Management in the Water Treatment System*.
- Rigau, G. (2018). *Técnicas Avanzadas de Inteligencia Artificial*.
- Ruíz, S. A., & Gentes, I. G. (2008). Retos y perspectivas de la gobernanza del agua y gestión integral de recursos hídricos en Bolivia. *Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe / European Review of Latin American and Caribbean Studies*, 85, 41-59.
- Sagova, M. M., Boenigk, J., Bouchez, A., Cermakova, K., Chonova, T., Cordier, T., Eisendle, U., Elerseck, T., Fazi, S., Fleituch, T., Frühe, L., Gajdosova, M., Graupner, N., Haegerbaeumer, A., Kelly, A.-M., Kopecky, J., Leese, F., Nöges, P., Orlic, S., ... Stoeck, T. (2021). Expanding ecological assessment by integrating microorganisms into routine freshwater biomonitoring. *Water Research*, 191, 116767. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116767>
- Sanz, E., & Martín, C. (1997). *TÉCNICAS BIBLIOMÉTRICAS APLICADAS A LOS ESTUDIOS DE USUARIOS*. 7(2).
- Schellekens, J., & Gilbes, F. (2009). *Remote Sensing of Vegetation*. 33.
- Seyoum, W. M., & Kwon, D. (2020). Suitability of satellite-based hydro-climate variables and machine learning for streamflow modeling at various scale watersheds. *Hydrological Sciences Journal*, 2233-2248. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1792473>
- Shan, S., Ni, H., Chen, G., Lin, X., & Li, J. (2023). A Machine Learning Framework for Enhancing Short-Term Water Demand Forecasting Using Attention-BiLSTM Networks Integrated with XGBoost Residual Correction. *Water (Switzerland)*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203605>
- Smith, D. R. (2012). Impact factors, scientometrics and the history of citation-based research. *Scientometrics*, 92(2), 419-427.
- Stojković, M., Marjanović, D., Rakic, D., Ivetić, D., Simic, V., Milivojevic, N., & Trajkovic, S. (2023). Assessment of water resources system resilience under hazardous events using system dynamic approach and artificial neural networks. *Journal of Hydroinformatics*, 25(2), 208-225. <https://doi.org/10.2166/hydro.2023.069>
- Trankler, H.-R., & Kanoun, O. (2001). Recent advances in sensor technology. *IMTC 2001. Proceedings of the 18th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Rediscovering Measurement in the Age of Informatics (Cat. No.01CH 37188)*, 1, 309-316 vol.1. <https://doi.org/10.1109/IMTC.2001.928831>
- Tsai, W.-P., Chang, F.-J., Chang, L.-C., & Herricks, E. E. (2015). AI techniques for optimizing multi-objective reservoir operation upon human and riverine ecosystem demands. *Journal of Hydrology*, 530, 634-644. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.024>
- Uberoi, N. K. (2003). *Environmental management*. Excel Books India. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=YmdmL1xB_QkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=environmental+management&ots=s94NwlkCOt&sig=uYqCN44mHxd04AkJK2Sli3sFm1w
- Vallejo Ruiz, M. (2005). *Estudio longitudinal de la producción española de tesis doctorales en Educación Matemática (1975-2002)*. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/580/15389807.pdf?sequence=1>
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130-137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- Vrba, J., & Soblsek, P. (1988). *Groundwater monitoring*. <https://policycommons.net/artifacts/10596110/groundwater-monitoring/11501828/>
- Wade, A. J., Palmer-Felgate, E. J., Halliday, S. J., Skeffington, R. A., Loewenthal, M., Jarvie, H. P., Bowes, M. J., Greenway, G. M., Haswell, S. J., & Bell, I. M. (2012). Hydrochemical processes in lowland rivers: Insights from in situ, high-resolution monitoring. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4323-4342.
- Wan, Y., Wan, C., & Hedgepeth, M. (2015). Elucidating multidecadal saltwater intrusion and vegetation dynamics in a coastal floodplain with artificial neural networks and aerial photography. *Ecohydrology*, 8(2), 309-324. <https://doi.org/10.1002/eco.1509>
- Wan, Z., & Zhu, D. (2020). Smart decision-making systems for the precise management of water environments. *Journal of Coastal Research*, 104(sp1), 82-87. <https://doi.org/10.2112/JCR-SI104-015.1>

- Ward, J. V. (1989). The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8(1), 2-8. <https://doi.org/10.2307/1467397>
- Wetzel, R. G. (2001). Fundamental processes within natural and constructed wetland ecosystems: Short-term versus long-term objectives. *Water Science and Technology*, 44(11-12), 1-8.
- Wong, W., Khallel, A., Hasikin, K., Salwa, A., Razak, S., Hizaddin, H., Mokhtar, M., & Azizan, M. (2022). Water Quality Index Using Modified Random Forest Technique: Assessing Novel Input Features. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 132(3), 1011-1038. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2022.019244>
- Woo, S. Y., Jung, C.-G., Lee, J.-W., & Kim, S. (2019). Evaluation of Watershed Scale Aquatic Ecosystem Health by SWAT Modeling and Random Forest Technique. *Sustainability*, 11, 3397. <https://doi.org/10.3390/su11123397>
- Worrall, F., Howden, N. J. K., & Burt, T. P. (2015). Understanding the diurnal cycle in fluvial dissolved organic carbon – The interplay of in-stream residence time, day length and organic matter turnover. *Journal of Hydrology*, 523, 830-838. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.075>
- Wu, F., Lu, C., Zhu, M., Chen, H., Zhu, J., Yu, K., Li, L., Li, M., Chen, Q., Li, X., Cao, X., Wang, Z., Zha, Z., Zhuang, Y., & Pan, Y. (2020). Towards a new generation of artificial intelligence in China. *Nature Machine Intelligence*, 2(6), 312-316. <https://doi.org/10.1038/s42256-020-0183-4>
- Yang, H., Kong, J., Hu, H., Du, Y., Gao, M., & Chen, F. (2022). A Review of Remote Sensing for Water Quality Retrieval: Progress and Challenges. *Remote Sensing*, 14(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/rs14081770>
- Yang, H.-C., Suen, J.-P., & Chou, S.-K. (2016). Estimating the Ungauged Natural Flow Regimes for Environmental Flow Management. *Water Resources Management*, 30(13), 4571-4584. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1437-0>
- Younos, T., & Heyer, C. J. (2015). Advances in Water Sensor Technologies and Real-Time Water Monitoring. En T. Younos & T. E. Parece (Eds.), *Advances in Watershed Science and Assessment* (pp. 171-203). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14212-8_7

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador



