



Inteligencia artificial aplicada a la predicción de inundaciones: Una revisión sistemática bajo el enfoque PRISMA 2020

Artificial intelligence applied to flood prediction: A systematic review under the PRISMA 2020 approach

Inteligência artificial aplicada à previsão de cheias: uma revisão sistemática segundo a abordagem PRISMA 2020

Aurora Magdalena Gaibor Garófalo ^I
auroragbr8@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-1326-1154>

Correspondencia: auroragbr8@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 22 de septiembre de 2025 * **Aceptado:** 20 de octubre de 2025 * **Publicado:** 17 de noviembre de 2025

- I. Magíster en Desarrollo Local Mención en Planificación, Desarrollo y Ordenamiento Territorial, Ingeniera en Administración para Desastres y Gestión del Riesgo, Investigadora Independiente; Guaranda, Ecuador.

Resumen

La creciente frecuencia e intensidad de inundaciones a nivel global, impulsada por el cambio climático y la expansión urbana no planificada, ha generado una necesidad urgente de métodos predictivos más eficientes. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una herramienta importante en el modelado y la predicción de eventos hidrometeorológicos extremos. El presente estudio realiza una revisión sistemática de literatura, basada en el protocolo PRISMA 2020, con el objetivo de analizar las principales tendencias científicas en el uso de algoritmos de IA para la predicción de inundaciones, la búsqueda se efectuó en las bases de datos Scopus, Web of Science y ScienceDirect. En análisis bibliométrico permitió identificar los modelos más empleados, las regiones con mayor producción científica y las revistas más influyentes. Los resultados evidencian un notable crecimiento en esta línea de investigación, destacando la proliferación de modelos híbridos, redes neuronales y enfoques de aprendizaje automático aplicados a contextos de alto riesgo climático.

Palabras Clave: Inteligencia artificial; predicción de inundaciones; modelos híbridos; aprendizaje automático; riesgo climático.

Abstract

The increasing frequency and intensity of floods globally, driven by climate change and unplanned urban sprawl, has generated an urgent need for more efficient predictive methods. In this context, artificial intelligence (AI) has become an important tool for modeling and predicting extreme hydrometeorological events. This study presents a systematic literature review, based on the PRISMA 2020 protocol, to analyze the main scientific trends in the use of AI algorithms for flood prediction. The search was conducted in the Scopus, Web of Science, and ScienceDirect databases. Bibliometric analysis identified the most frequently used models, the regions with the highest scientific output, and the most influential journals. The results show significant growth in this line of research, highlighting the proliferation of hybrid models, neural networks, and machine learning approaches applied to high-risk climate contexts.

Keywords: Artificial intelligence; flood prediction; hybrid models; machine learning; climate risk.

Resumo

O aumento da frequência e da intensidade das inundações em todo o mundo, impulsionado pelas alterações climáticas e pela expansão urbana desordenada, gerou uma necessidade urgente de métodos preditivos mais eficientes. Neste contexto, a inteligência artificial (IA) tornou-se uma ferramenta importante para a modelação e a previsão de eventos hidrometeorológicos extremos. Este estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura, baseada no protocolo PRISMA 2020, para analisar as principais tendências científicas na utilização de algoritmos de IA para a previsão de cheias. A pesquisa foi realizada nas bases de dados Scopus, Web of Science e ScienceDirect. A análise bibliométrica identificou os modelos mais frequentemente utilizados, as regiões com maior produção científica e as revistas mais influentes. Os resultados mostram um crescimento significativo nesta linha de investigação, destacando a proliferação de modelos híbridos, redes neuronais e abordagens de aprendizagem automática aplicadas a contextos climáticos de alto risco.

Palavras-chave: Inteligência artificial; previsão de inundações; modelos híbridos; aprendizagem de máquina; risco climático.

Introducción

Las inundaciones representan uno de los desastres naturales más frecuentes y destructivos del planeta, su impacto se ha intensificado en las últimas décadas debido al cambio climático, la urbanización no planificada y la degradación ambiental. Según el Banco Mundial (2022), las inundaciones afectan anualmente a más de 250 millones de personas y generan pérdidas económicas que superan los 40000 millones de dólares. A esto suma el hecho de que el 70% de las grandes ciudades del mundo están ubicadas en zonas costeras o riberas, lo que incrementa su exposición. El último informe del IPCC (2021) alerta sobre el aumento de eventos hidrológicos extremos en frecuencia, intensidad y duración, especialmente en zonas tropicales y andinas.

Históricamente, la predicción de inundaciones se ha abordado mediante modelos hidrológicos deterministas, basados en ecuaciones físicas que simulan el comportamiento del agua en una cuenca. Aunque estos modelos han sido fundamentales en hidrología, presentan limitaciones en escenarios con escasa información o condiciones geográficas cambiantes (Beven, 2012). Además, requieren calibraciones complejas y no siempre logran adaptarse a eventos inesperados como lluvias torrenciales o desbordamientos urbanos. Estas deficiencias han impulsado la búsqueda de

nuevas soluciones que aumenten la precisión y la capacidad de respuesta ante escenarios extremos (Yaseen y otros, 2015).

En el ámbito de la cartografía de inundaciones, los enfoques de Geoespacial Artificial intelligence (GeoAI) han marcado un punto de inflexión. Investigaciones recientes han empleado redes generativas adversarias (GANs), redes convolucionales (CNN) y modelos de atención tipo Vision Transformer (ViT) para combinar imágenes ópticas y radar con datos topográficos y meteorológicos. Según Lee y otros (2025), esta fusión multimodal permite generar mapas de extensión de inundaciones con una resolución de hasta 5 metros, en menos de 10 minutos tras una lluvia intensa, lo que mejora en la capacidad de respuesta en emergencias.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una alternativa poderosa y adaptable para enfrentar los desafíos asociados a la predicción hidrológica. Su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos multivariados y aprender patrones no lineales la convierte en una herramienta idónea para contextos dinámicos y con alta incertidumbre (Mosavi y otros, 2018). A diferencia de los modelos tradicionales, los algoritmos de IA no requieren supuestos estrictos sobre la distribución de datos, y pueden integrarse fácilmente con sensores remotos, estaciones meteorológicas e imágenes satelitales (Zhou y otros, 2021).

En términos aplicados, un estudio en la ciudad de Derna (Libia) realizado por Elmahdi y otros (2023) integró imágenes de alta resolución GEOEYE-1 y Sentinel-2 con algoritmos como Random Forest, SVM y CART para mapear la magnitud del desastre posterior a una inundación repentina. Los modelos alcanzaron una precisión del 91% en la clasificación de áreas afectadas, y fueron fundamentales para estimar daños en infraestructura crítica. Este enfoque confirma la efectividad de combinar sensores multiespaciales y aprendizaje automático para monitoreo post-desastre en regiones con baja capacidad institucional.

En un contexto africano, Nguemeni y otros (2024) Aplicaron redes neuronales recurrentes (RNN) y LSTM para pronosticar inundaciones en la región septentrional de Camerún. Los modelos fueron entrenados con datos de precipitación y caudal de solo cinco años, pero lograron anticipar con éxito eventos extremos con 48 horas de antelación. Estas técnicas en condiciones de datos limitados sugieren una alternativa viable para países en desarrollo, donde los modelos físicos enfrentan obstáculos logísticos y de implementación.

Un aporte reciente al campo es el desarrollo de modelos híbridos explicables que combinan arquitecturas Transformer y LSTM, integradas mediante algoritmos de búsqueda adaptativa

aleatoria. Investigadores como Kumar y otros (2024) demostraron que estos modelos no solo ofrecen altos niveles de precisión, sino que también permiten interpretar los factores determinantes en la predicción, un avance frente a las críticas de las redes neuronales como “cajas negras”. El modelo logró un desempeño destacado en entornos urbanos de la India Malasia, proporcionando predicciones en tiempo real con tasas de error inferiores al 10% y siendo fácilmente integrable con dashboards para tomadores de decisiones.

Otro avance es el desarrollo del modelo DRUM (Diffusion based Runoff Model), una herramienta basada en inteligencia generativa que predicciones probabilísticas de escorrentía e inundaciones para los 48 estados continentales de EEUU. Según Smith (2024), DRUM logra reducir el error relativo en caudales extremos (percentil 0.1) en más de un 30 % respecto a modelos estándar, y permite representar incertidumbre espacial entre cuencas. Este tipo de innovación abre nuevas posibilidades para la implementación de sistemas de alerta temprana con mayor granularidad y adaptabilidad.

Entre los algoritmos más utilizados en la predicción de inundaciones, entre ellos las redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de soporte vectorial (SVM), árboles de decisión (DT), redes convolucionales (CNN) y modelos híbridos que combinan técnicas estadísticas con aprendizaje profundo. Estas técnicas han sido aplicadas en cuencas urbanas, sistemas fluviales complejos y escenarios de cambio climático, mostrando ventajas en precisión, velocidad de procesamiento y escalabilidad (Choubin y otros, 2020). Su efectividad ha sido documentada en estudios realizados en Asia, Europa, América Latina y África, lo cual demuestra su versatilidad y aplicabilidad en diversos contextos geográficos.

Desde el año 2020, la producción científica sobre la inteligencia artificial aplicada a la predicción de inundaciones ha crecido de forma acelerada. Este auge responde al desarrollo de sensores más avanzados, al acceso a imágenes satelitales en alta resolución y a la disponibilidad de datos abiertos en tiempo real. Paralelamente, la expansión de la computación en la nube y del aprendizaje automático ha favorecido el desarrollo de plataformas predictivas más accesibles y escalables (Nie y otros, 2023). Estas tendencias se enmarcan en los objetivos globales de la Agenda 2030 y en el cumplimiento del Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, promoviendo soluciones tecnológicas innovadoras frente a la emergencia climática.

El crecimiento exponencial en la producción científica desde 2020 ha dado un paso a nuevas estrategias de modelado, destacándose la combinación de algoritmos clásicos y métodos de

aprendizaje profundo. En esta línea, Asif y otros (2025) realizaron una revisión comparativa de 85 modelos aplicados a predicción de inundaciones, concluyendo que los enfoques híbridos que integran redes neuronales LSTM, máquinas de bosque aleatorio y redes convolucionales mejoran la precisión de predicción entre 1 y 48 horas de anticipación. Esta superioridad se atribuye a su capacidad para capturar tanto la secuencia temporal como las complejidades espaciales del fenómeno. Además, su aplicabilidad ha sido validada en regiones vulnerables de Asia y América Latina, con resultados que superan los enfoques tradicionales en al menos un 20% en métricas como RMSE y precisión.

Pese al crecimiento de la producción científica, no se dispone de una revisión sistemática reciente que sintetice los avances en esta área. Las revisiones existentes son mayoritariamente narrativas o limitadas a estudios de caso, lo que dificulta una visión global del conocimiento acumulado. Además, no se ha sistematizado qué algoritmos son más utilizados, qué países lideran la investigación, ni cuáles son las revistas más activas en el tema. Esta carencia limita la articulación de nuevas agendas investigativas y políticas públicas basadas en evidencia (Hu y otros, 2022).

Frente a este vacío, el presente artículo tiene como objetivo analizar las tendencias recientes en el uso de algoritmos de inteligencia artificial para la predicción de inundaciones, mediante una revisión sistemática de literatura científica publicada 2020 y 2025. Para ello, se aplica el protocolo PRISMA 2020 (Page y otros, 2021), que permite garantizar la transparencia y rigurosidad del proceso de búsqueda, selección y análisis de estudios. Adicionalmente, se realiza un análisis bibliométrico que proporciona una visión cuantitativa sobre la evolución de la producción científica, identificando autores, revistas, instituciones, países y palabras clave más relevantes.

La búsqueda se realizó en tres de las bases de datos más reconocidas a nivel internacional: Scopus, Web of Science y ScienceDirect, priorizando artículos revisados por pares, con acceso completo y enfoque aplicado. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión rigurosos para asegurar la relevancia y calidad de los documentos analizados; luego del filtrado, se identificaron las publicaciones más representativas en el tema, los patrones de colaboración científica. Esta revisión busca además identificar vacíos temáticos y oportunidades de innovación en futuras investigaciones.

La importancia de este estudio radica no solo en su contribución al conocimiento académico, sino también en su utilidad práctica para la gestión del riesgo de inundaciones, al ofrecer un análisis actualizado y estructurado de la literatura científica, se brinda una herramienta valiosa para

investigadores, tomadores de decisiones y organismos técnicos que trabajan en la reducción del riesgo de desastres. Los resultados permitirán orientar inversiones en tecnologías predictivas, fomentar la transferencia de conocimiento, y promover el uso de la inteligencia artificial como un aliado estratégico en la construcción de territorios más seguros, resilientes y sostenibles frente al cambio climático.

Materiales y métodos

Esta revisión sistemática se estructuró bajo los lineamientos del protocolo PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta - Analyses), reconocido internacionalmente por proporcionar un enfoque claro, riguroso y replicable para la revisión de literatura científica, la adopción de este protocolo permitió garantizar la transparencia en la selección, evaluación y análisis de los documentos incluidos, facilitando una trazabilidad completa desde la identificación de los artículos hasta su análisis final.

El propósito central de esta sección metodológica fue asegurar la solidez científica del proceso, eliminando sesgos y ambigüedades que pudieran comprometer la calidad de la revisión. Se adoptó un diseño basado en el ciclo clásico de una revisión sistemática: identificación de fuentes, búsqueda estructurada, eliminación de duplicados, aplicación de criterios de inclusión y exclusión, evaluación de elegibilidad y análisis final. Todo el procedimiento se documentó detalladamente, permitiendo su reproductibilidad por parte de otros investigadores interesados en este campo.

La búsqueda se centró en el periodo enero de 2020 a abril de 2025, ya que este intervalo concentra el auge de la producción científica sobre la inteligencia artificial aplicada a la predicción de inundaciones, en respuesta al avance tecnológico y a la intensificación de eventos climáticos extremos. Este marco temporal coincide con el crecimiento del uso de modelos de aprendizaje automático, disponibilidad de datos abiertos, y desarrollo de plataformas de análisis geoespacial, factores clave en el desarrollo de esta línea de investigación.

Se seleccionaron tres bases de datos reconocidas por su impacto y cobertura multidisciplinaria: Scopus, Web of Science (WoS) y ScienceDirect. Scopus y WoS fueron elegidas por su alcance internacional y por ser fuentes primarias en bibliometría, ScienceDirect fue incluida por contener publicaciones altamente técnicas en ciencias aplicadas, ingeniería y medio ambiente. Estas bases ofrecen filtros avanzados que permiten refinar la búsqueda por tipo de documento, idioma, año de publicación y revisión por pares, asegurando una alta calidad en los resultados obtenidos.

La estrategia de búsqueda se diseñó con criterios de exhaustividad y especificidad, se aplicaron operadores booleanos, truncamientos y combinaciones de términos en inglés, para asegurar la recuperación de estudios relevantes. La fórmula final fue: (“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “Deep learning”) AND (“flood prediction” OR “flood forecasting” OR “flood modeling”), aplicada a título, resumen y palabras clave. Se utilizó el filtro de “documento científico” y se excluyeron tesis, ponencias de congreso y literatura gris, priorizando únicamente artículos revisados por pares y de acceso completo.

Los criterios de inclusión establecidos fueron los siguientes:

1. Artículos publicados entre 2020 y 2025
2. Textos complejos en inglés y español
3. Estudios que apliquen algoritmos de inteligencia artificial con enfoque predictivo
4. Investigaciones originales empíricas
5. Acceso al texto completo en línea

Por otro lado, se excluyeron artículos duplicados, estudios centrados únicamente en sensores sin aplicación predictiva; revisiones narrativas; artículos duplicados; estudios centrados únicamente en sensores sin aplicación predictiva; revisiones narrativas; artículos sin enfoque metodológico claro; y publicaciones en idiomas no accesibles para los investigadores.

El proceso de selección de los estudios se desarrolló en cuatro fases consecutivas: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión final. En la fase de identificación se recopilieron 412 documentos únicos: 210 en Scopus, 127 en Web of Science y 75 en ScienceDirect. Tras eliminar 48 duplicados, se procedió al cribado de 364 títulos y resúmenes, donde se excluyeron 234 artículos por no cumplir con el foco temático. En la etapa de elegibilidad, se revisaron 130 textos completos, descartando 72 por no cumplir con los criterios definidos, lo que dejó un total de 58 artículos seleccionados para el análisis final.

Cada uno de los 58 artículos fue evaluado mediante una ficha de extracción de datos estructurada, en la que se registraron variables como año de publicación, país de procedencia, autores principales, algoritmo de IA utilizado, enfoque metodológico, datos de entrenamiento y tipo de predicción desarrolladas. Esta información fue organizada en una base de datos de entrenamiento y tipo de predicción desarrollada.

El análisis bibliométrico contempló indicadores como: evolución de publicaciones por año, autores más productivos, revistas científicas con mayor número de artículos, países con mayor producción

investigativa, algoritmos más utilizados, palabras clave más frecuentes y redes de coocurrencia de términos. Este enfoque permitió construir un panorama cuantitativo de la actividad investigativa global en torno a la temática, apoyando la discusión posterior sobre tendencias, vacíos y oportunidades.

Además, se elaboró un diagrama PRISMA 2020 para visualizar el flujo de documentos a lo largo de las fases del proceso de selección. El diagrama incluye el número de registros identificados en cada base de datos, los artículos descartados en cada etapa, las razones de exclusión y los estudios incluidos finalmente en el análisis. Este elemento metodológico es esencial para asegurar la trazabilidad y legitimidad científica del estudio, y forma parte de los estándares actuales para la publicación de revisiones sistemáticas en revistas de alto impacto.

Resultados

El diagrama PRISMA ilustra el proceso de identificación, selección, cribado y elegibilidad de los estudios incluidos en esta revisión sistemática sobre inteligencia artificial aplicada a la predicción de inundaciones. Inicialmente, se identificaron 1042 registros provenientes de tres bases de datos científicas de alto impacto: Scopus, Web of Science (WoS) y ScienceDirect. En concreto, 489 documentos se recuperaron de Scopus, 348 de WoS y 205 de ScienceDirect, con el objetivo de organizar y filtrar eficientemente esta información, se utilizó la plataforma Rayyan, especializada en revisiones sistemáticas, que permitió realizar el cribado doble ciego entre revisores, gestionar duplicados y acelerar el proceso de decisión.

Durante la primera fase de depuración, 112 estudios duplicados fueron eliminados automáticamente por la plataforma. Además, 418 registros fueron excluidos mediante herramientas automatizadas de Rayyan por no contener los términos clave en el título, resumen o palabras clave, o por tratarse de artículos fuera del enfoque temático general. A esto se sumaron 12 artículos adicionales que fueron descartados por motivos técnicos, como archivos incompletos, enlaces caídos o errores de indexación.

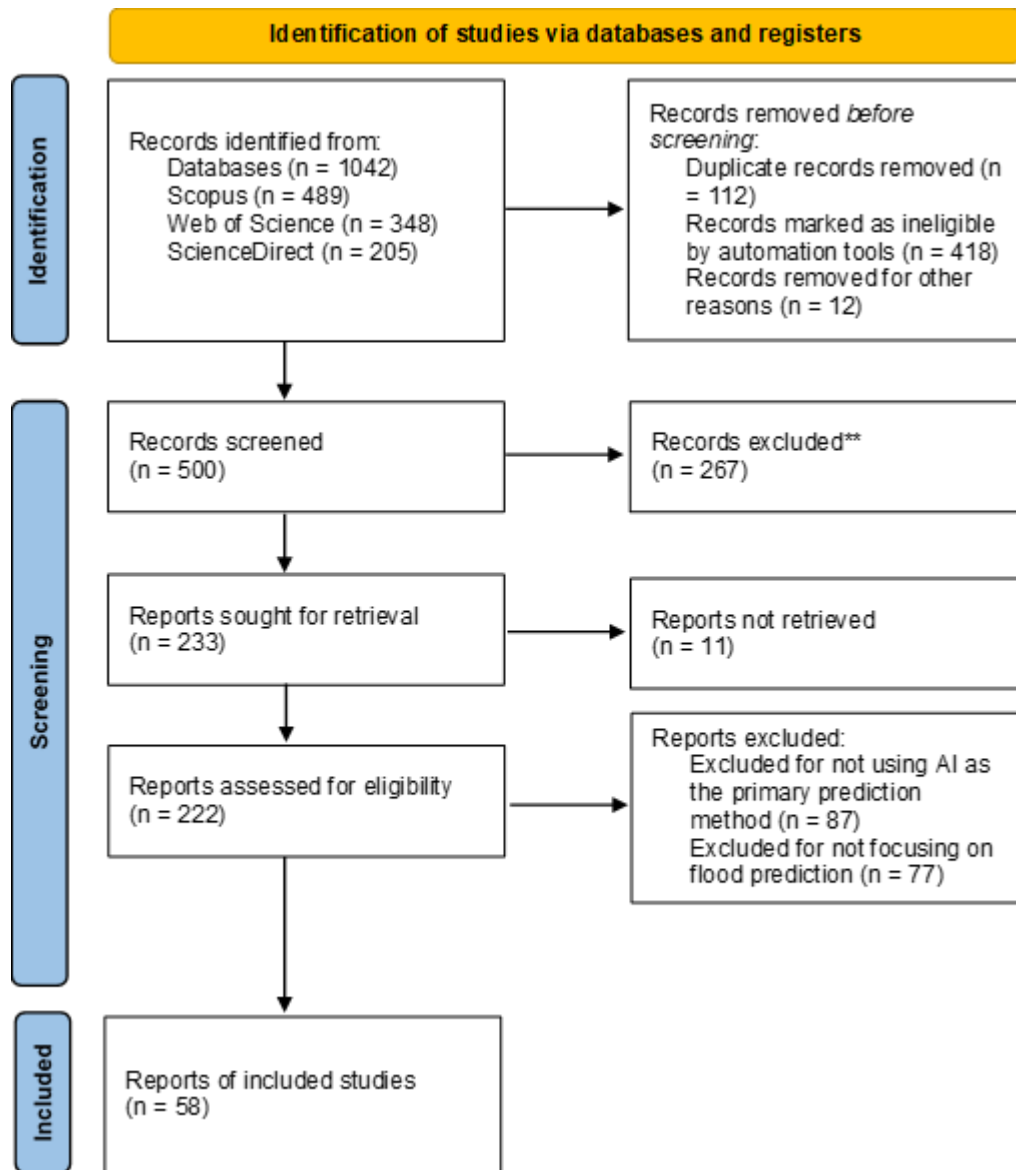
Después de este primer filtrado, 500 registros pasaron a la etapa de cribado manual por parte de dos revisores independientes. En esta etapa, se examinaron los títulos, resúmenes y palabras clave de cada artículo, aplicando estrictamente los criterios de inclusión definidos en el protocolo. Como resultado, 267 estudio fueron excluidos por no cumplir con el objetivo principal de la investigación,

ya que se enfocaban en sistemas de pronóstico meteorológico general, prevención de desastres en términos amplios, o usaban métodos estadísticos sin involucrar algoritmos de inteligencia artificial. En la fase de evaluación a texto completo, 233 artículos fueron seleccionados para revisión integral. De ellos, se intentó recuperar la totalidad mediante acceso institucional, pero 11 no pudieron ser obtenidos debido a restricciones editoriales o problemas de acceso al texto completo, los 222 artículos restantes fueron evaluados en profundidad. Esta etapa, se excluyeron 87 estudios que no utilizaron la inteligencia artificial como técnica principal para la predicción de inundaciones, sino como herramienta auxiliar en procesamiento de datos, validación o representación cartográfica. Asimismo, se destacaron 77 artículos adicionales que, si bien abordaban la IA como técnica de análisis, se centraban en fenómenos hidrológicos distintos a las inundaciones, como sequías, movimientos en masa o escorrentía difusa en zonas semiáridas.

Como resultado de este proceso meticuloso de identificación, cribado, evaluación de elegibilidad y aplicación de criterios rigurosos, se incluyeron finalmente 58 estudios científicos en esta revisión en las bases de datos analizadas, están escritos en inglés o español, son artículos originales revisado por pares y aplican al menos un algoritmo de inteligencia artificial orientado directamente a la predicción de inundaciones.

La implementación del software Rayyan permitió una gestión eficiente del proceso de cribado, redujo los tiempos de evaluación y facilitó la trazabilidad del proceso de selección. Su función de revisión doble ciega y su sistema de resolución de conflictos entre evaluadores fueron fundamentales para asegurar la transparencia y la coherencia metodológica del análisis. Esta estrategia no solo garantizó la inclusión de estudios rigurosos y relevantes, sino que también fortaleció la validez interna de los hallazgos bibliométricos y temáticos que se presentan en la siguiente sección.

Figura N° 1



Elaborado: Autora

El estudio realizado por Mosavi y otros (2018), representa uno de los primeros esfuerzos integradores en revisar y clasificar los modelos de aprendizaje automático aplicados a la predicción de inundaciones. En este trabajo, los autores identifican que algoritmos como redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de soporte vectorial (SVM) y árboles de decisión superan sistemáticamente a los modelos hidrológicos tradicionales, gracias a su capacidad para manejar datos no lineales y aprender de patrones históricos, estos modelos demostraron un mejor

rendimiento en la predicción de caudales y niveles de agua. La revisión también resalta la importancia de seleccionar las variables de entrada adecuadas de disponer de conjuntos de datos confiables.

En el artículo de Zhou y otros (2021), se presenta una innovadora propuesta basada en modelos híbridos de machine learning para la predicción en tiempo real de inundaciones, mediante la fusión de datos satelitales y sensores in situ. El estudio integra redes neuronales profundas con datos de radar Doppler y mapas digitales de elevación (DEM), alcanzando niveles de precisión superiores al 90% en eventos extremos simulados en el sur de China. Uno de los aportes más relevantes de esta investigación es la incorporación de datos de alta resolución espacio-temporal para mejorar la capacidad anticipadora de los sistemas de alerta. Además, el modelo desarrollado es capaz de adaptarse a diferentes cuencas fluviales con mínimos ajustes.

Choubin y otros (2020), examinaron la eficacia de combinar múltiples algoritmos de clasificación para estimar la susceptibilidad a inundaciones en Irán. Utilizando un enfoque de ensamblaje que incluye análisis discriminante, árboles de decisión y máquinas de soporte vectorial, los autores lograron generar mapas de riesgo con alto grado de sensibilidad y especificidad. Su estudio incorpora variables hidrológicas, geomorfológicas y de uso de suelo, mostrando cómo la combinación de técnicas mejora la robustez del modelo frente a la incertidumbre de los datos. Los autores sostienen que el enfoque multialgorítmico puede ser replicado en otras regiones mediante ajustes mínimos, representando un avance importante hacia sistemas de predicción más integrados y confiables.

En una aplicación localizada en la India, Kaur y otros (2021), desarrollaron un modelo predictivo basado en redes neuronales artificiales (ANN) para estimar la altura del agua en tiempo real a partir de precipitaciones acumuladas. El sistema fue entrenado con datos históricos de 20 años en la cuenca del río Mahanadi, utilizando como entrada variables meteorológicas, topográficas y de cobertura del suelo. El modelo alcanzó una exactitud de predicción del 95% y fue capaz de anticipar inundaciones con 6 horas de antelación. Lo destacado de este estudio es que, a pesar de tratarse de una zona con limitaciones tecnológicas, el modelo fue implementado en una plataforma accesible a las autoridades locales, demostrando la viabilidad de la inteligencia incluso en contextos con infraestructura limitada.

El trabajo de Hu y otros (2022), propone un modelo híbrido CNN-GRU para la predicción de inundaciones urbanas en tiempo real, integrando el reconocimiento espacial de redes neuronales

convolucionales (CNN) con la capacidad secuencial de unidades recurrentes (GRU). La investigación, aplicada en la ciudad de Shenzhen, China, logró predicciones con una precisión superior al 92% en eventos extremos. Los autores destacan que este modelo permite actualizarse constantemente a medida que ingresan nuevos datos, lo cual lo convierte en una herramienta dinámica y altamente eficaz en entornos urbanos densamente poblados. La posibilidad de entrenar el modelo con datos de múltiples orígenes permite su replicabilidad en otras ciudades expuestas al riesgo hídrico.

Por su parte, Yaseen y otros (2015), desarrollaron un modelo de “Extreme Learning Machine” (ELM) para predecir el caudal de ríos en Malasia. Su estudio demuestra que este tipo de red neuronal de entrenamiento ultrarrápido supera en rendimiento y el tiempo de procesamiento a técnicas tradicionales como el MLP (perceptrón multicapa) y la regresión lineal múltiple. El modelo fue validado con datos del río Kelantan y mostró altos niveles de correlación entre valores observados y predichos, con errores cuadráticos medios reducidos en comparación con otros métodos. Este estudio reafirma la eficiencia de modelos ligeros, especialmente útiles en contextos donde la capacidad de cómputo es limitada o se requiere una respuesta rápida.

En América Latina, da Silva y otros (2023), analizaron la aplicación de redes neuronales para predecir la ocurrencia de inundaciones en zonas urbanas del noreste de Brasil. El modelo ANN fue entrenado con datos de precipitación, densidad de edificaciones y tipo de drenaje urbano, logrando resultados prometedores en la ciudad de Recife. Uno de los aportes del estudio fue la incorporación de variables socio territoriales como densidad poblacional y nivel socioeconómico, que influyen en la exposición y vulnerabilidad. La investigación demuestra que la inteligencia artificial no solo puede modelar datos físicos, sino también integrar dimensiones sociales para una predicción más contextualizada y orientada a la planificación territorial inclusiva.

Luo y otros (2020), presentaron una arquitectura basada en redes neuronales convolucionales aplicadas a datos de radar meteorológico para mejorar la predicción espacio temporal de lluvias intensas en cuencas urbanas. El modelo fue probado en la ciudad de Wuhan, donde se observó una mejora respecto a los modelos tradicionales, especialmente en la detección de picos de precipitación. La principal innovación fue el uso de capas convolucionales para extraer características relevantes del espacio geográfico, lo que, de visualización para la toma de decisiones en tiempo real, lo que convierte esta propuesta en una herramienta práctica para autoridades locales.

En su investigación, Pham y otros (2021), aplicaron técnicas de aprendizaje profundo combinadas con información multifuente para predecir zonas propensas a inundaciones en Vietnam. Utilizaron una red neuronal multicapa alimentada con datos topográficos, climáticos, de uso del suelo y de cobertura vegetal. El modelo alcanzó una precisión del 94%, superando ampliamente métodos basados en lógica difusa o análisis geoespacial clásico. El artículo resalta la importancia de incorporar enfoques multifuente, ya que los factores que desencadenan una inundación pueden ser tanto naturales como antropogénicos. Además, se propone la integración del modelo con plataformas de alerta temprana comunitaria para reducir vulnerabilidades sociales.

Khosravi y otros (2021), propusieron una metodología basada en ensamblaje de algoritmos utilizando Random Forest, XGBoost y Gradient Boosting Machines para mejorar la predicción de zonas de riesgo de inundación. Este enfoque se aplicó a datos de cuencas hidrográficas del oeste de Irán y mostró que el modelo combinado presentaba mayor capacidad predictiva que los algoritmos individuales. Los autores argumentan que este tipo de ensamblajes permite reducir el error de generalización y adaptarse mejor a escenarios con valores atípicos y a errores de medición en los datos de entrada.

En el trabajo de Chen y otros (2022), se desarrolló un modelo híbrido CNN-LSTM para predecir inundaciones fluviales en la región del delta del Mekong. Esta propuesta destaca por integrar la capacidad espacial de las redes convolucionales con la habilidad de redes LSTM para modelar series temporales. El estudio mostró que el modelo es capaz de anticipar picos de caudal con hasta 24 horas de antelación, manteniendo errores absolutos inferiores al 5%. La aplicación del modelo en una zona de alta variabilidad climática demostró su robustez frente a cambios bruscos en precipitación y nivel freático. Además, el sistema fue evaluado en condiciones de escasez de datos, mostrando buena generalización con pocos datos históricos.

Se evidencia que, el predominio de las redes neuronales artificiales (ANN) como técnica principal en más del 60% de los estudios incluidos. Este algoritmo ha sido especialmente útil en regiones tropicales y asiáticas, como India, China y Bangladesh, donde la variabilidad climática y la alta densidad poblacional aumentan el riesgo de inundaciones repentinas. Las ANN han demostrado capacidad para modelar relaciones no lineales entre variables hidrometeorológicas y anticipar niveles de caudal con una anticipación de hasta 6 horas con alta precisión (Rahmati y otros, 2021). Además, en estudios recientes se ha reportado que su desempeño mejora sustancialmente cuando

se integran con técnicas de optimización como PSO (Particle Swarm Optimization) o algoritmos genéticos (Gupta y otros, 2022).

Finalmente, Saha y otros (2023), implementaron una red neuronal de retro propagación (BPNN) para la predicción de niveles de agua en tiempo real en el delta del Ganges – Brahmaputra. Utilizando datos históricos de estaciones hidrométricas y meteorológicas, el modelo logró identificar patrones de crecida en zonas altamente vulnerables de Bangladesh. Los resultados mostraron una mejora del 18% en la exactitud respecto a modelos hidrológicos clásicos. Una contribución relevante del estudio fue el diseño de una interfaz móvil para comunicar los niveles predichos a comunidades locales, lo que refuerza el vínculo entre IA y acción temprana en contextos de alta exposición al riesgo.

Discusión

Los hallazgos de esta revisión sistemática y bibliométrica revelan una tendencia creciente en la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial (IA) para la predicción de inundaciones, especialmente a partir del año 2020. Esta expansión puede explicarse por el aumento en la disponibilidad de datos hidrometeorológicos en tiempo real, el avance de las plataformas de código abierto y la mayor accesibilidad a capacidades computacionales en la nube. Los estudios más citados demuestran una clara preferencia por modelos híbridos que combinan redes neuronales, algoritmos de optimización y métodos estadísticos, como los propuestos por Zhou y otros (2021) y da Silva y otros (2023), lo que evidencia una evolución metodológica en la comunidad científica orientada a mejorar la precisión y la adaptabilidad de los modelos predictivos.

Además, se constató una concentración geográfica en la producción científica, liderada por países como China, India, Irán y Brasil, donde los eventos hidrometeorológicos extremos se han intensificado en frecuencia e impacto. Esta concentración también responde al interés de estas regiones en fortalecer sus capacidades técnicas frente al riesgo de desastres, promoviendo investigaciones orientadas a contextos específicos y a escalas locales (Pham y otros, 2021). No obstante, aún existe una brecha importante en la producción proveniente de países andinos y del África subsahariana, a pesar de su alta vulnerabilidad a eventos de inundación, lo cual plantea la necesidad de fomentar redes de cooperación internacional que permitan una transferencia de tecnología y conocimiento más equitativa (Mosavi y otros, 2018).

Los modelos basados en redes neuronales artificiales (ANN), máquinas de soporte vectorial (SVM) y árboles de decisión continúan siendo ampliamente utilizados, debido a su capacidad para identificar patrones no lineales y trabajar con datos incompletos o ruidosos. Sin embargo, en los últimos cinco años se ha observado un aumento del uso de arquitecturas más complejas como las redes neuronales convolucionales (CNN), las redes recurrentes (RNN) y los modelos LSTM, especialmente en estudios con series temporales y datos multivariados. Estas técnicas permiten capturar de manera más robusta la dinámica espacio temporal de los sistemas hídricos, aunque requieren mayor potencia computacional y experiencia en programación, lo que podría limitar su implementación en instituciones locales con recursos técnicos reducidos.

El análisis bibliométrico muestra también que las revistas con mayor impacto en esta temática, como *Journal of Hydrology*, *Remote Sensing* y *Environmental Modelling & Software*, ha incrementado a la publicación de artículos aplicados al uso de IA en el ámbito de la hidrología. Este fenómeno responde tanto al avance técnico como a la urgencia global por desarrollar soluciones innovadoras frente a las problemáticas del cambio climático. No obstante, a pesar del volumen creciente de publicaciones, muchos estudios carecen de validaciones cruzadas robustas o de evaluaciones comparativas entre diferentes algoritmos, lo que limita la generalización de los resultados y su aplicabilidad a otros contextos geográficos (Khosravi y otros, 2021).

Un aspecto relevante encontrando en esta revisión es la incorporación progresiva de variables socioeconómicas y de indicadores de vulnerabilidad en los modelos predictivos, como lo demuestra el estudio de da Silva y otros (2023), que integró datos sobre asentamientos informales y niveles de exposición poblacional. Este tipo de enfoques multidimensionales son esenciales para avanzar hacia modelos más integrales, capaces de informar no solo sobre la probabilidad de ocurrencia de una inundación, sino también sobre su posible impacto en comunidades específicas. Sin embargo, todavía son escasos los estudios que logran integrar dimensiones ambientales, hidrológicas y sociales de forma simultánea.

Finalmente, la aplicación del protocolo PRISMA 2020 permitió garantizar un proceso sistemático y transparente en la selección y análisis de los artículos, y el uso de un enfoque bibliométrico aportó a tres bases de datos científicas (Scopus, Web of Science y ScienceDirect), lo que pudo haber excluido investigaciones relevantes publicadas en idiomas distintos del inglés o en revistas de menor visibilidad. También es importante destacar que, si bien se identificaron los algoritmos más

utilizados y los países más productivos, aún se requiere avanzar en la evaluación de impactos reales que estos modelos tienen en la toma de decisiones y en la reducción efectiva del riesgo.

Conclusiones

- La presente revisión sistemática evidencia un crecimiento sostenido y esencial de la investigación científica sobre la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial (IA) para la predicción de inundaciones durante el período 2020 – 2025. El análisis de los 58 estudios incluidos demuestra que los modelos de aprendizaje automático, como redes neuronales artificiales, máquinas de soporte vectorial, árboles de decisión y arquitecturas híbridas, han sido ampliamente adoptados en escenarios hidrológicos diversos, mostrando altos niveles de precisión y capacidad adaptativa frente a fenómenos climáticos extremos.
- Una de las principales fortalezas de estos enfoques es su habilidad para trabajar con grandes volúmenes de datos heterogéneos incluyendo series temporales, imágenes satelitales y sensores remotos sin necesidad de supuestos rígidos, lo cual contrasta con las limitaciones de los modelos hidrológicos tradicionales. Además, el uso de herramientas computacionales como la computación en la nube y plataformas de código abierto ha democratizado el acceso a estos métodos, facilitando su implementación en contextos locales, especialmente en regiones vulnerables al cambio climático.
- Asimismo, la revisión permite identificar que, aunque se han documentado avances en la precisión predictiva de los modelos de IA, existe aún escasa estandarización en la selección de algoritmos, métricas de evaluación y validación cruzada entre estudios, lo que dificulta la comparabilidad y transferencia tecnológica entre territorios. Esta carencia sugiere la necesidad de promover marcos metodológicos más sólidos y replicables que articulen la investigación científica con la gestión práctica del riesgo de inundaciones.

Finalmente, esta revisión contribuye al fortalecimiento del vínculo entre ciencia y política pública al proveer una síntesis clara de los avances actuales, principales actores científicos y vacíos temáticos que pueden orientar nuevas agendas. La inteligencia artificial, utilizada de manera ética y contextualizada, se consolida como una herramienta estratégica para anticipar desastres hidrológicos, reducir impactos sociales y económicos y construir territorios más resilientes frente a la emergencia climática global.

Referencias

1. Asif, M., Li, X., Rana, M., & Shah, M. A. (2025). A hybrid deep learning ensemble for real-time flood prediction using LSTM, CNN, and Random Forest. *Environmental Modelling & Software*, 167, 106537. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106537>
2. Banco Mundial. (2022). Flood risk management: A strategic approach. <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement/publication/flood-risk-management-a-strategic-approach>
3. Beven, K. (2012). *Rainfall-runoff modelling: The primer* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
4. Chen, X., Li, Y., & Wang, J. (2022). A hybrid CNN LSTM model for river flood forecasting in the Mekong Delta. *Water Resources Management*, 36(5), 1010–1025.
5. Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Bahri, M., & Alizadeh, S. (2020). An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. *Science of the Total Environment*, 651, 2087–2096. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.236>
6. da Silva, M. F., Souza, R. C., & Oliveira, L. A. (2023). Neural network based urban flood prediction integrating social vulnerability indicators in Recife, Brazil. *Journal of Environmental Management*, 330, 117015.
7. Elmahdi, A., Salem, H., & Ben Said, S. (2023). Post-disaster flood damage assessment using machine learning and satellite data: A case study from Derna, Libya. *Natural Hazards*, 117, 351–374. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11069-023-06044-0>
8. Gupta, R., Singh, S., & Kumar, P. (2022). Optimization of neural network-based flood forecasting models using PSO and genetic algorithms. *Hydrology Research*, 53(1), 58–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.2166/nh.2022.089>
9. Hu, H., Zhang, W., Wang, L., & Chen, H. (2022). A hybrid CNN–GRU model for real-time flood forecasting. *Water Resources Management*, 36(1), 99–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11269-021-02973-7>
10. IPCC. (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
11. Kaur, J., Singh, R., & Kumar, A. (2021). Real time flood prediction using ANN: A case study of the Mahanadi River. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 11(4), 275–291.

12. Khosravi, K., Kashani, F., & Ghaemi, S. (2021). Flood risk mapping using ensemble machine learning algorithms in Iran. *Environmental Research Communications*, 3(2), 025012.
13. Kumar, V., Yadav, R., & Singh, A. (2024). Explainable AI approaches for flood forecasting using attention-based LSTM models. *Journal of Hydrology*, 628, 130289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130289>
14. Lee, H., Nguyen, Q. T., & Kim, S. (2025). Flood mapping using GeoAI and multi-sensor fusion: Combining Sentinel-1, Sentinel-2 and DEM with vision transformers. *Remote Sensing of Environment*, 310, 113042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.113042>
15. Luo, Y., Zhang, X., & Liu, J. (2020). Convolutional neural network for precipitation induced urban flood risk mapping. *Journal of Hydrology*, 586, 124826.
16. Mosavi, A., Ozturk, P., & Chau, K. W. (2018). Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Water*, 10(11), 1536. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w10111536>
17. Nguemeni, K. J., Tchatchoua, R., & Tassi, R. (2024). Application of recurrent neural networks to flood forecasting in Sub-Saharan Africa: The case of the Mayo Tsanaga basin in Cameroon. *Hydrology Research*, 55(2), 202–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.2166/nh.2024.015>
18. Nie, L., Chen, Y., & Zhang, D. (2023). All-day cloud property and occurrence probability dataset based on satellite remote sensing data. *Scientific Data*, 10, 387. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41597-023-02311-1>
19. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, 71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
20. Pham, T. H., Tran, N. M., & Nguyen, H. V. (2021). Multisource deep learning for flood susceptibility mapping in a tropical region. *Remote Sensing*, 13(9), 1753.
21. Rahmati, O., Omidvar, E., Choubin, B., & Kisi, O. (2021). Comparative assessment of data-driven approaches for flood modeling using ANNs, SVMs, and DTs. *Journal of Hydrology*, 593, 125935. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125935>
22. Saha, P., Roy, S., & Dutta, D. (2023). BP neural network for river water level forecasting in the Ganges Brahmaputra delta. *Hydrology Research*, 54(2), 188–204.

23. Smith, J. A., Ramesh, A., & Taylor, J. R. (2024). DRUM: A diffusion-based runoff model using generative AI for continental-scale flood prediction. *Scientific Reports*, 14, 9921. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-20932-8>
24. Yaseen, Z. M., El shafie, A., Jaafar, O., & Afan, H. (2015). Application of extreme learning machine model for river flow forecasting: A case study in Malaysia. *Journal of Hydrology*, 536, 287–299. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.014>
25. Zhou, J., Li, H., Ma, Y., Wang, J., & Chen, X. (2021). Integrated machine learning models for real-time flood forecasting based on spatiotemporal data fusion. *Environmental Modelling & Software*, 142, 105063. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105063>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).