



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v4i4.496>

Recibido: 2025-10-10

Aceptado: 2025-10-29

Publicado: 2025-11-10

Modelado de escorrentías urbanas e impacto en la calidad del agua bajo escenarios de cambio climático

Modeling urban runoff and its impact on water quality under climate change scenarios

Autores

José Fabricio Cabrera Toro¹

<https://orcid.org/0009-0000-2150-3182>

jcabrerat4@unemi.edu.ec

Universidad Estatal de Milagro

Milagro – Ecuador

Walther Israel Benítez Soxo²

<https://orcid.org/0009-0009-8018-0753>

israelbenitezsoxo@gmail.com

Universidad Nacional de Chimborazo

Riobamba – Ecuador

Davis Wilson Torres Torres³

<https://orcid.org/0000-0003-0382-3814>

davis.torres@unach.edu.ec

Universidad Nacional de Chimborazo

Riobamba – Ecuador

Jorge Astudillo Feijoo⁴

<https://orcid.org/0009-0002-4973-2731>

astudillojorge15@gmail.com

Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Manabí

Portoviejo – Ecuador

Cómo citar

Cabrera Toro, J. F., Benítez Soxo, W. I., Torres Torres, D. W., & Astudillo Feijoo, J. (2025). Modelado de escorrentías urbanas e impacto en la calidad del agua bajo escenarios de cambio climático . *ASCE MAGAZINE*, 4(4), 1338–1460.



Resumen

Las ciudades cada vez están más impermeabilizadas y ante el cambio climático, se espera mayor frecuencia de lluvias intensas. Esto intensifica la escorrentía, arrastrando contaminantes a cuerpos de agua receptores. Conocer cómo evolucionarán estos impactos es necesario para planificar infraestructuras verdes y drenajes sostenibles por lo que el uso de modelos permitiría evaluar cómo los eventos extremos previstos por cambio climático modificarán la escorrentía urbana y su carga contaminante (nutrientes, metales, sedimentos) en una cuenca urbana específica en función de cambio volumen de escorrentía, caudales pico, concentraciones de nitrógeno (NO_3^- , NH_4^+), fósforo, sólidos suspendidos (TSS), metales disueltos (Pb, Zn). Variables independientes: intensidad de precipitación (escenarios actual y futuro). En este sentido se hizo una revisión sistemática de 180 artículo en base de datos Scopus, PubMed, SciELO, Latindex, Redalyc y Google Scholar de los cuales se seleccionaron 24 que abordan como modelado puede estimar las escorrentías urbanas y impacto en la calidad del agua bajo escenarios de cambio climático, encontrando los resultados que cada día los modelos de predicción son más efectivos para estimar la escorrentía, cuyo aumento es producto de la degradación ambiental, como consecuencia del cambio climático y cuyo estimación ayudaría a tomar decisiones para prevenir los daños a infraestructura y sobre la integridad de las personas.

Palabras clave: Clima; Escorrentía; Erosión; Hidrología; Modelos; Predicción.



Abstract

Cities are becoming increasingly impermeable, and with climate change, more frequent intense rainfall is expected. This intensifies runoff, carrying pollutants into receiving water bodies. Understanding how these impacts will evolve is necessary for planning green infrastructure and sustainable drainage systems. Therefore, the use of models would allow for evaluation how extreme events predicted by climate change will modify urban runoff and its pollutant load (nutrients, metals, sediments) in a specific urban watershed based on changes in runoff volume, peak flows, and concentrations of nitrogen (NO_3^- , NH_4^+), phosphorus, total suspended solids (TSS), and dissolved metals (Pb, Zn). Independent variables: precipitation intensity (current and future scenarios). In this regard, a systematic review of 180 articles was conducted using the Scopus, PubMed, SciELO, Latindex, Redalyc, and Google Scholar databases. Twenty-four articles were selected that address how modeling can estimate urban runoff and its impact on water quality under climate change scenarios. The results showed that predictive models are becoming increasingly effective in estimating runoff, the increase of which is a product of environmental degradation resulting from climate change. Estimating runoff would help in making decisions to prevent damage to infrastructure and to the safety of people.

Keywords: Climate; Runoff; Erosion; Hydrology; Models; Prediction

Introducción

El análisis de la escorrentía en entornos urbanos es un aspecto crucial para la gestión hídrica en ciudades, donde la impermeabilización y la construcción modifican los flujos naturales de agua (Wang et al., 2024). Este tipo de análisis permite modelar el movimiento del agua de lluvia sobre las superficies urbanas, teniendo en cuenta elementos como la relieve, el tipo de suelo, la vegetación y las infraestructuras existentes, mediante el uso de herramientas de análisis, es posible prever los flujos de escorrentía en distintos escenarios, lo que es vital para la planificación y desarrollo de sistemas de drenaje eficaces en áreas urbanas.

La relevancia de este modelado se encuentra en su capacidad para identificar zonas vulnerables a inundaciones y para determinar cómo las alteraciones urbanas afectan el ciclo del agua, de tal modo que, al entender el comportamiento del agua en un entorno urbano, los planificadores y diseñadores pueden aplicar soluciones que reduzcan los efectos adversos de la escorrentía, tales como la erosión del suelo y la polución de fuentes hídricas. Además, el modelado de la escorrentía urbana permite la incorporación de prácticas sostenibles, como la creación de áreas verdes y sistemas de drenaje ecológico, que contribuyen a una gestión más eficiente del recurso hídrico (Alshammari et al., 2024., Amini et al., 2024)

Actualmente , se emplean diversas técnicas y software específicos para realizar la modelización de escorrentías urbanas (Jawale & Thube, 2025). Estas herramientas posibilitan análisis exhaustivos y simulaciones que ayudan a los profesionales en la toma de decisiones bien fundamentadas, siendo factible analizar distintos escenarios de desarrollo urbano y su impacto en la escorrentía, permitiendo a los planificadores urbanos prever problemas y elaborar soluciones adecuadas, por lo que el análisis de escorrentías urbanas es una actividad esencial que apoya la sostenibilidad y la capacidad de adaptación de las ciudades ante las amenazas del cambio climático producto del crecimiento urbano exponencial.

Una de las consecuencias de la escorrentía es la contaminación del agua, que afecta la salud pública y el bienestar de los ciudadanos (Munzel et al., 2025), dado que con el avance del cambio climático, se están registrando cambios significativos en los patrones de lluvia y temperatura, lo

que afecta la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, con el agravante de que el incremento de las temperaturas puede facilitar el crecimiento de microorganismos dañinos y contaminantes en las fuentes de agua, lo que presenta un gran peligro para la salud humana, además de que los eventos climáticos severos, como sequías e inundaciones, pueden poner en riesgo la infraestructura de tratamiento de agua, dificultando el acceso a agua potable segura (Frincu, 2025).

Asimismo, el calentamiento global también conlleva del agua mediante la emisión de efluentes industriales (Habbu et al., 2025), debido que con el incremento de las lluvias intensas, se facilita el arrastre de contaminantes, como residuos de la industria hacia los cuerpos de agua, con la particularidad de que no solo se perjudica la calidad del agua, sino que también perjudica la afecta la biodiversidad acuática y los servicios ecosistémicos que dependen de la calidad del agua, por lo tanto existe una relación proporcional entre el calentamiento global y la calidad del recursos, hídrico por lo que se deben tomar acciones para reducir sus impactos negativos.

Considerando lo expuesto anteriormente es necesario plantear métodos de adaptación y reducción que aborden simultáneamente el cambio climático y la supervisión de la calidad del agua, lo cual involucra fomentar prácticas sostenibles para mejorar la infraestructura hídrica y adoptar políticas que controlen la contaminación. En este contexto, el propósito de la investigación fue determinar a través de una revisión sistemática de qué manera el uso de modelos predictivos podría evaluar cómo los eventos extremos como escorrentía ocasionados por el cambio climático alterarán el drenaje urbano y su carga contaminante como nutrientes, metales pesados y sedimentos en una cuenca dentro de ls ciudades afectando la calidad del agua.

Material y Métodos

Ubicación de artículos

Para llevar a cabo la presente investigación se empleó el método de revisión bibliográfica mediante la técnica de búsqueda documental, que hace mención a de qué manera el uso de modelos predictivos podría evaluar cómo los eventos extremos ocasionados por el cambio climático alterarán el drenaje urbano y su de carga contaminante afectando la calidad del agua. Para lo cual se contactó la existencia de investigaciones parecidas en sus propósitos, alcances y otros elementos

destacables. La revisión sistemática se llevó a cabo en dos fases; la primera referida a la heurística en la que se constataron las fuentes de proveniencia de los hallazgos para poder desarrollar la investigación y una fase hermenéutica para el análisis de los resultados (Figura 1)

Figura 1

Protocolo metodológico para la búsqueda de artículos científicos sobre el uso de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua.



Fuente: Autores

Técnicas empleadas para selección de artículos

La revisión de literatura y la exploración científica fueron minuciosa y detallada. Posterior a la ubicación de las publicaciones, se analizó cada apartado del artículo y se identificaron los elementos relevantes para categorizar cada uno de los elementos para realizar una evaluación directa y detallada de cada artículo, para posteriormente seleccionar la información más importante y realizar las comparaciones pertinentes, mediante el uso de técnica de pregunta PICO.

P (problema) = que avances existen sobre el uso de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua

I (intervenciones) = empleo de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua

C (comparación) = Entre los valores de escurrimiento y calidad de agua empleando modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua y valores obtenidos por otras metodologías.

O (resultados) = Establecer las bases para el sobre el uso de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua

Criterios de inclusión

Se tomaron en cuenta los artículos que incluyeron texto con una relación al título del contexto a investigar, y estas publicaciones debieron cumplir con los criterios de la investigación, sino que debieron ser desarrollado dentro del periodo de tiempo establecido. Se tuvo en consideración la terminología en la exploración de información, acotando la búsqueda de hallazgos y resultados anteriores a publicaciones relacionadas con el uso de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua ubicados en bases de datos como Scopus, Google Scholar, Latindex y Scielo; de publicaciones referidas a estos artículos corresponden a los años 2021-2025.

Criterio de exclusión

No se tomaron en cuenta los artículos cuyo contenido difiriera al tema central de este estudio o no hubieran sentido lógico. Se eliminaron las publicaciones que no presentaron de una base científica y bases de datos apropiada para justificar los resultados o que los hallazgos presentados provenían de productos que no se podían localizar bases de datos verificables, así mismo se excluyeron resúmenes, comunicaciones a congresos y trabajos de grado en cualquier nivel académico, ni que incluyeran publicaciones relacionadas con sobre el uso de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados factores distintos al cambio climático.

Interpretación de los hallazgos

La etapa de análisis de los resultados denominada hermenéutica, se llevó a cabo sintetizando información y generando comentarios en base a la información sobre la base teórica, este método permite analizar publicaciones de diferentes autores y compararlas en relación a tema de interés,



donde se detallan las diversas fuentes que permitieron la recolección de datos desde diferentes perspectivas y estrategias, así como las similitudes y diferencias de diferentes en relación al tema de investigación.

Resultados

De los 180 artículos revisados con relación a la importancia del uso de modelos predictivos para predecir la ocurrencia de eventos extremos por escorrentía ocasionados por el cambio climático en áreas urbanas y su impacto en la calidad del agua. se seleccionaron 24, de los cuales en los 6 primeros abordan el impacto de la escorrentía en procesos de erosión y desastres naturales en ciudades y cuyos resultados se destacan en la Tabla 1

Tabla 1

Impacto de la escorrentía en procesos de erosión y desastres naturales en ciudades

Titulo	Autores	Año
Nature-based disaster risk reduction of floods in Urban Areas.	Ghos et al.,	2024
Urban development and the loss of natural streams leads to increased flooding.	Baig et al.,	2024
Effect of urbanization on surface runoff and performance of green roofs and permeable pavement for mitigating urban floods	Ozturk et al.,	2024
Challenges and approaches in sediment management in the Philippines: a review of current research, practices, and proposed countermeasures	Gaku et al.,	2025
Evaluating the impact of check dam construction on runoff processes in Al-Dayer watershed using a physically-based hydrologic model. Geomatics	Al-Areeq and Aljund	2025
valuating thresholds: the impact of terrain modifications on landslide susceptibility in a mountainous city	Heo et al.,	2025

Fuente: Autores.

Ghos et al., 2024 señalan que para asegurar el suministro constante de agua en las ciudades, se han construido múltiples represas y reservorios aguas arriba de los ríos que las cruzan, con el agravante de que durante las precipitaciones, la capacidad de estas estructuras se ve sobrepasada, lo que resulta en la liberación de agua al cauce del río, muchas veces se hace de manera descontrolada

pudiendo causar inundaciones en áreas urbanas y fluviales afectando el transporte, la vida diaria y la economía.

Baig et al., (2024) atribuyen este problema a que las ciudades se han desarrollado con diversos obstruyendo o eliminando cursos naturales de agua, que estaban dentro de la zona urbana central, como lo demuestra el modelo de elevación digital (DEM), que reveló que la mayor parte de los terraplenes a lo largo de estos cursos de agua se encontraban en zonas con erosión en la superficie, lo cual explica el crecimiento de áreas urbanizadas a lo largo de los antiguos lechos de los arroyos. Esto ocasionó que las inundaciones se extendieran a esas áreas urbanizadas.

Ante este problema Ozturk et al., (2024) señalan que la adopción de techos verdes y superficies permeables presenta resultados alentadores, disminuyendo los efectos negativos de las inundaciones en entornos urbanos entre un 3 % y un 8 %, evitando por completo las inundaciones, por lo que es necesario complementar estas soluciones con infraestructura convencional, por otro lado Gaku et al., (2025) en Filipinas han promovido prácticas de gestión de sedimentos que equilibran la conservación del medio ambiente con el desarrollo socioeconómico, abordando estos desafíos mediante esfuerzos coordinados y financiamiento adecuado.

Entre las alternativas Al-Areeq and Aljund (2025) afirman que las tres represas de retención disminuyen el volumen de escorrentía, el caudal máximo y el coeficiente de escorrentía en un 3,6 %, un 36,53 % y un 6,9 % para un periodo de retorno de dos años, y en un 2,14 %, un 37,9 % y un 4,2 % para un periodo de retorno de 100 años. El sistema completo, que incluye cinco represas de retención, produjo reducciones de un 3,68 %, un 39,16 % y un 7,1 % para el periodo de retorno de dos años, y de un 1,83 %, un 37,9 % y un 3,59 % para el periodo de retorno de 100 años. Estos resultados destacan la importancia de tener en cuenta tanto la cantidad como la ubicación de las represas de retención para generar un impacto óptimo en los procesos de escorrentía en una cuenca hidrográfica.

Asimismo, la protección de bosque y área protectoras es clave dado que Heo et al., (2025) destacan en sus resultados que las áreas deforestadas muestran una mayor vulnerabilidad en áreas con un alto índice de vegetación ecológica (EVI), terrenos empinados y un desarrollo intensivo. El análisis

de la multicolinealidad asegura la influencia predictiva independiente de factores esenciales, por Los hallazgos enfatizan la necesidad de perfeccionar los criterios para monitorear la cobertura vegetal, ampliar los registros de deslizamientos de tierra e incorporar la teledetección para el monitoreo continuo, proporcionando una metodología escalable para regiones en rápido crecimiento urbano que son propensas a deslizamientos de tierra en todo el mundo.

Los próximos 6 artículos abordan Calidad de agua y actividades antrópicas en el contexto del cambio climático y su impacto en áreas urbanas y cuyos resultados se destacan en la Tabla 2.

Tabla 2

Calidad de agua y actividades antrópicas en el contexto del cambio climático y su impacto en áreas urbanas

Titulo	Autores	Año
Potential impacts of climatic changes and human activity on water quality. In Environmental Processes and Management: Tools and Practices for Groundwater	Shukla et al.	2023
Effect of climate change and human activities on surface and ground water quality in major cities of Pakistan.	Zeb et al.,	2023
A climate-water quality assessment framework for quantifying the contributions of climate change and human activities to water quality variations.	Yuan et al.,	2023
Effects of human activities and climate change on water quality and health risks of typical urban rivers in arid/semi-arid areas: a ten-year historical analysis	Zhu et al.,	2025
The Impact of Anthropogenic Activities on the Catchment's Water Quality Parameters.	Gavrilas et al.,	2025
Urban water stress: climate change implications for water supply in cities.	Borah	2025

Fuente: Autores.

Shukla et al. (2023) Afirman que el aumento de los niveles de CO₂ en la atmósfera puede influir directamente en el sistema de carbono inorgánico durante los procesos de equilibrio químico del recurso hídrico, afectando las aguas subterráneas son un recurso vital que se utiliza en diversas actividades humanas, además de mantener los caudales naturales de los ríos y otros ecosistemas, debido a que diversas actividades humanas están deteriorando rápidamente estos recursos

limitados, y varios problemas naturales relacionados con la calidad del agua limitan su uso en ciertas áreas.

En este orden de ideas Zeb et al., (2023) en la ciudad de Gilgit, encontraron que todos los parámetros fisicoquímicos se encontraban dentro de los límites permitidos, excepto la turbidez, que alcanzó los 10 NTU, se detectó contaminación bacteriana en el agua, las causas de esta contaminación podría tener un origen humano, por la inadecuada gestión de residuos sólidos, aguas residuales y desechos animales, así como el uso excesivo de fertilizantes, afectan la calidad del agua, además las precipitaciones, el aumento de la temperatura y las variaciones estacionales son factores climáticos que impactan la calidad del agua y son responsables de importantes brotes de enfermedades transmitidas por el agua.

Yuan et al., (2023) afirman que el cambio climático explicó entre el 23 % y el 35 % de la variación en la calidad del agua., dado que la respuesta de la calidad del agua al cambio climático es relativamente significativa en relación con las precipitaciones., en particular aguas abajo, donde generalmente están asentadas las ciudades, la cual es más vulnerable al cambio climático que la región aguas arriba, ya que el desplazamiento aguas abajo de los centros de precipitación intensifica el proceso de influencia de los factores climáticos en los cambios de calidad del agua.

Asimismo, Zhu et al., (2025) señalan que la aportación del cambio climático varía entre el 14,1 % y el 21,8 %, dado que los fenómenos climáticos extremos, en particular la duración máxima de las épocas de lluvia y sequía, así como la extensión de la temporada agrícola, tienen un impacto, a pesar de la presión constante por la urbanización y el cambio climático, ríos en regiones áridas y semiáridas podrían mejorar la seguridad y el acceso a los recursos hídricos al gestionar el PIB, el área urbana y agrícola, y la población, de allí la importancia de proteger el recurso hídrico evitando la erosión y el escurrimiento,.

Además de la escorrentía Gavrilas et al., (2025) señalan que la contaminación causada por actividades humanas en las cuencas hidrográficas representa una amenaza considerable para los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y la salud de las personas, dado que la presencia de contaminantes deteriora la calidad del agua, modifica los hábitats acuáticos y produce efectos



negativos como la disminución de la biodiversidad, la eutrofización y la reducción de las poblaciones de peces, por lo que se requieren rigurosas para la gestión de residuos, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, la mejora de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y las campañas de concienciación pública.

Borah (2025) señala que las áreas urbanas, con una alta concentración poblacional y considerable demanda de agua, son especialmente susceptibles a estas transformaciones, por lo que este autor enfatiza la relevancia de la gestión integrada de los recursos hídricos, la implementación de tecnologías de vanguardia y la creación de marcos legales que promuevan la capacidad de adaptación para mitigar los problemas de escorrentía que causan problemas naturales y afectan la calidad del agua

Los siguientes 6 artículos abordan el uso de modelos de simulación para la estimación, impacto y cuantificación de la escorrentía en áreas urbanas y cuyos resultados se destacan en la Tabla 3.

Tabla 3

Modelos de simulación para la estimación, impacto y cuantificación de la escorrentía en áreas urbanas

Titulo	Autores	Año
iRainSnowHydro v1. 0: A distributed integrated rainfall-runoff and snowmelt-runoff simulation model for alpine watersheds	Luo et al.,	2024
Comparison and integration of physical and interpretable AI-driven models for rainfall-runoff simulation	Asadi et al.,	2024
A process-driven deep learning hydrological model for daily rainfall-runoff simulation.	Li et al.,	2024
A Bibliometric Analysis of Trends in Rainfall-Runoff Modeling Techniques for Urban Flood Mitigation (2005-2024).	Mansida y Bancog	2025
Runoff Simulation and Waterlogging Analysis of Rainstorm Scenarios with Different Return Periods on Campus: A Case Study at China University of Geosciences	Zhuo et al.,	2025
Hybridization of Stochastic Hydrological Models and Machine Learning Methods for Improving Rainfall-Runoff Modelling	Houénafa et al.,	2025

Fuente: Autores.

Luo et al., (2024) en la cuenca de Zhimenda, que presenta elevaciones y latitudes elevadas, señala que las metodologías que se han expuesto son fundamentales para modelar y anticipar la escorrentía en cuencas montañosas, brindando información clave acerca de la respuesta de la nieve al cambio climático en la meseta del Tíbet, por su parte Asadi et al., (2024) demostraron que la aplicación de la metodología de Explicaciones Aditivas de Shapley (SHAP) ha permitido entender de manera más eficaz los resultados del modelo ensemble utilizado con aprendizaje automático, iluminando la participación de cada modelo en las proyecciones, que proporciona datos cruciales para el modelado hídrico y resalta el papel esencial de las técnicas ensemble en mejorar la exactitud predictiva en diversas cuencas.

En este mismo orden de ideas Li et al., (2024) señalan que los modelos de aprendizaje profundo (DL), sobre todo aquellos con arquitectura de memoria a corto y largo plazo (LSTM), muestran niveles de precisión más altos en la simulación de la conexión entre lluvia y escorrentía, los pronósticos de los modelos basados en procesos son más físicos que los de DL, esto se debe principalmente a que los modelos DL carecen de la comprensión de los procesos que tienen los modelos basados en procesos, solo cuentan con capacidades de ajuste.

A juicio de Mansida y Bancog (2025)., el desarrollo de modelos para predecir inundaciones es primordial debido al aumento de las mismas en áreas urbanas, lo que presenta retos significativos a nivel global, exacerbados por el cambio climático y el rápido crecimiento urbano centrándose en la modelización de la relación entre lluvia y escorrentía como herramienta para mitigar inundaciones urbanas, donde China con 100 publicaciones, Estados Unidos (81) y el Reino Unido (55) lideran este aspecto destacando el uso de los modelos tradicionales, tales como el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (SWMM) y el Sistema de Modelización Hidrológica (HEC-HMS), así como el aprendizaje automático (ML) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Zhuo et al., (2025) destacan que el uso de modelos para predecir las escorrentías ayudara a elegir las futuras estrategias para mitigar inundaciones, que incluyen la mejora de las superficies permeables, la actualización de la infraestructura de tuberías y la promoción de la reutilización del agua de lluvia, para reducir la presión de las inundaciones y aumentar la sostenibilidad con la ventaja según Houénafa et al (2025) que los estudios indican que la eficacia de los modelos

combinados está influenciada por las características de las simulaciones de flujo que se utilizan como datos de entrada, siendo efectivos para las simulaciones de escorrentía en áreas que experimentan variaciones aleatorias considerables, donde la simulación de flujo puntual es complicada.

Finalmente, los últimos 6 artículos abordan Modelo para predecir el cambio climático y su impacto en la calidad de vida de poblaciones urbanas. Y cuyos resultados se destacan en la Tabla 4.

Tabla 4

Modelos para predecir el cambio climático y su impacto en la calidad de vida de poblaciones urbanas.

Titulo	Autores	Año
AI and machine learning in climate change research: A review of predictive models and environmental impact.	Hamdam et al.,	2024
Experimental evaluation of remote sensing-based climate change prediction using enhanced deep learning strategy.	Madhawi et al.,	2024
A performance comparison study on climate prediction in Weifang City using different deep learning models.	Guo et al.,	2024
How important are climate change risks for predicting clean energy stock prices? Evidence from machine learning predictive modeling and interpretation	Basher & Sadorsky	2025
AI-aided surrogate model for prediction of HVAC optimization strategies in future conditions in the face of climate	Bazazzadeh et al.,	2025
An enhanced CNN with ResNet50 and LSTM deep learning forecasting model for climate change decision making	Elshehewey, et al.,	2025

Fuente: Autores.

Hamdam et al., (2024) señalan que a pesar de los progresos alcanzados, se enfrentan todavía varios obstáculos, como la necesidad de contar con formatos de datos estandarizados, la claridad de los modelos y las implicaciones éticas involucradas, a pesar de las investigaciones demuestran que las aplicaciones de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, han proporcionado información sobre su efectividad, relacionada con el cambio climático y la sostenibilidad ambiental al predecir de manera efectiva las variaciones de temperatura y precipitación,

La importancia de desarrollar modelos, según Madhawi et al., (2024) se debe a que el cambio climático se posiciona como uno de los problemas globales más urgentes de nuestra era, dado que ha impactando de manera significativa a los ecosistemas, las economías y las comunidades humanas, por lo que la habilidad de predecir con precisión las tendencias del cambio climático es fundamental para formular estrategias efectivas de mitigación y adaptación, donde la teledetección, puesto que ofrece observaciones detalladas y continuas del suelo terrestre, tiene un papel crucial en el seguimiento y la proyección de estos cambios.

No obstante, Guo et al., (2024) señalan que estos modelos en especial los basados en técnicas de inteligencia artificial (IA) presenta ciertas carencias y limitaciones, dado que exhiben un comportamiento poco claro, típicamente relacionado con sistemas de "caja negra", llevando a que su mecanismo de toma de decisiones es complicado de descifrar, siendo algunas de sus principales restricciones son las complejas estructuras de red, las representaciones de características muy abstractas y una falta de interpretabilidad en el comportamiento del modelo, por lo que el enfoque utilizado es un modelo de aprendizaje profundo fundamentado en datos que no considera los mecanismos dinámicos asociados al cambio climático, A pesar de ello Basher & Sadorsky (2025) afirman que el uso modelo de predicción de árboles de decisión extra, logró mayores rendimientos ajustados al riesgo del cambio climático en afectar el comportamiento de los precios de las energías limpias.

Bazazzadeh et al., (2025) afirman que los hallazgos encontrados sobre el uso de modelos para predecir el cambio climático pueden servir de fundamento para que los responsables de formular políticas y los administradores urbanos reduzcan el efecto del cambio climático en el funcionamiento de las edificaciones. Al utilizar modelos predictivos que se basan en técnicas de aprendizaje automático, pueden llevar a cabo estrategias más efectivas para optimizar la climatización, lo que mejora tanto la eficiencia en el uso de energía como el confort de los ocupantes, destacando que este método no solo ayuda a combatir el cambio climático, sino que también favorece prácticas sostenibles en la gestión de edificios, adaptables a las condiciones climáticas futuras

Considerando lo expuesto anteriormente Elshewey et al., (2025) señalan que el cambio climático representa un reto significativo no solo para estimar los riesgos de este sino 'para promover el uso

de energías limpias como la generación de energía eólica, dado las alteraciones considerables a largo plazo en factores climáticos como la temperatura, la intensidad del viento y sus patrones, pueden afectar las condiciones para la producción de este tipo de energía que ayuda a mitigar los efectos del calentamiento global.

Discusión

La discusión abordó el papel del modelado para estimar las escorrentías urbanas e impacto en la calidad del agua bajo escenarios de cambio climático, encontrando los resultados que cada día los modelos de predicción son más efectivos para estimar la escorrentía, cuyo aumento es producto de la degradación ambiental, como consecuencia del cambio climático

Los hallazgos demuestran que el uso de modelos son claves en la gestión eficaz de la escorrentía es esencial para reducir sus efectos adversos y promover la adopción de prácticas de conservación del suelo (Kumar et al., 2025., Zhuang et al., 2025), la creación de zonas de retención de agua y la rehabilitación de ecosistemas naturales, tales como humedales y bosques ribereños, que funcionan como filtros naturales, cuya predicción es clave, dado que la escorrentía está asociada a la calidad del agua es un factor esencial para la salud del medio ambiente y de las personas, y se ve afectada de manera considerable por diversas acciones antrópicas.

En relación a la contaminación del agua los resultados destacan que las descargas industriales y un manejo inadecuado de aguas residuales contribuyen a la contaminación de fuentes de agua (Wei et al., 2025., Yang et al., 2025), afectando no solo la calidad del agua, sino también la biodiversidad acuática y la salud de las comunidades que dependen de esos recursos, no obstante el problema de escurrimiento y contaminación de agua las acciones humanas pueden tener un impacto positivo en la calidad del agua si se gestionan de manera adecuada, como el establecimiento de regulaciones rigurosas sobre las descargas industriales, puede ayudar a paliar los efectos negativos de la contaminación.

Basado en los hallazgos que fundamentan el riesgo de escurrimiento, inundaciones y contaminación en áreas urbanas la modelización de la escorrentía es un aspecto clave en la administración del agua y en la planificación urbana (Fathi et al., 2025., Wan et al., 2025), dado que posibilita

anticipar el movimiento del agua lluvia sobre la superficie terrestre, tomando en cuenta elementos como la geografía, el tipo de suelo, la vegetación y los climas, destacando que mediante el uso de modelos matemáticos y tecnológicos, es factible comparar distintos escenarios de lluvias y sus efectos sobre la escorrentía, lo cual es esencial para prevenir inundaciones, conservar el agua y preservar los ecosistemas.

Asimismo los resultados muestran que la modelización del cambio climático es esencial para entender y prever los impactos del aumento de temperaturas en nuestro mundo (Karagiannakis et al.,2025., Liu et al., 2025), destacado que el uso de modelos informáticos sofisticados, los investigadores pueden simular distintos escenarios climáticos, que permiten medir de qué manera las acciones humanas, como la tala de árboles y la industrialización, influyen en el clima a largo plazo y anticipar fenómenos severos, como sequías, inundaciones y tormentas, lo que resulta vital para la planificación y la ejecución de políticas de adaptación y mitigación.

Por lo tanto, la comprensión de los resultados de estas simulaciones es fundamental para informar a quienes toman decisiones y al público en general., dado que la información recabada no solo brinda una perspectiva clara sobre las posibles trayectorias climáticas, sino que también enfatiza la necesidad urgente de implementar acciones sostenibles, que disminuyan la vulnerabilidad de las sociedades frente al cambio climático en especial aquella asentadas en áreas urbanas que pueden ser afectada por las inundaciones y los cambios en la calidad del agua que afecten la salud pública de las áreas urbanas.

Conclusiones

La escorrentía y la calidad del agua son dos factores interconectados que son esenciales para la gestión de los recursos hídricos y la protección del entorno. La escorrentía implica el movimiento del agua sobre la superficie terrestre, que generalmente ocurre debido a la lluvia o al derretimiento de la nieve, y puede transportar varios contaminantes, incluidos sedimentos, nutrientes y sustancias químicas. Esta interacción no solo influye en la cantidad de agua que hay en los cuerpos de agua, sino que también impacta en la calidad del agua, ya que los contaminantes arrastrados pueden dañar los ecosistemas acuáticos y perjudicar la salud de las comunidades urbanas que dependen de esas fuentes.



Los modelos de simulación de escorrentía son herramientas vitales para la gestión de los recursos hídricos y el análisis de los ciclos del agua. Estos modelos facilitan la predicción del comportamiento del agua en diferentes contextos, teniendo en cuenta factores como la topografía, el tipo de suelo, la vegetación y el clima. A través de estas simulaciones, se pueden estudiar los impactos de la lluvia, el derretimiento de la nieve y otras fuentes hídricas en la escorrentía superficial, lo que resulta fundamental para la planificación de infraestructuras, la conservación ambiental y la reducción de riesgos de inundaciones en áreas urbanas, por lo que se debe optimizar la exactitud y fiabilidad de estos modelos mejorando la calidad de los datos utilizados y la calibración apropiada, lo que resalta la necesidad de fomentar la investigación constante en este ámbito.

Los modelos de simulación del cambio climático son esenciales para entender y anticipar los impactos del calentamiento global, dado que estos modelos emplean ecuaciones matemáticas complejas y algoritmos que simulan las interacciones entre la atmósfera, los océanos, la tierra y los ecosistemas, permitiendo a los científicos hacer proyecciones futuras a partir de diferentes variables, como las emisiones de gases de efecto invernadero y los cambios en el uso del suelo. Con estas simulaciones, se puede determinar cómo las alteraciones en la temperatura global pueden afectar fenómenos climáticos extremos, incluyendo huracanes, sequías e inundaciones que ayudan a los tomadores de decisiones en la implementación de estrategias efectivas para mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a sus inevitables repercusiones en las áreas urbanas.



Referencias Bibliográficas

- Al-Areeq, A. M., & Aljundi, I. H. (2025). Evaluating the impact of check dam construction on runoff processes in Al-Dayer watershed using a physically-based hydrologic model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 16(1), 2451737. https://doi.org/10.1080/19475705.2025.2451737?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate
- Alshammari, E., Rahman, A. A., Ranis, R., Seri, N. A., & Ahmad, F. (2024). Investigation of Runoff and Flooding in Urban Areas based on Hydrology Models: A Literature Review. *International Journal of Geoinformatics*, 20(1), 99-119. <https://doi.org/10.52939/ijg.v20i1.3033>
- Amini, A., Dolatshahi, M., & Kerachian, R. (2024). Real-time rainfall and runoff prediction by integrating BC-MODWT and automatically-tuned DNNs: Comparing different deep learning models. *Journal of Hydrology*, 631, 130804. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130804>
- Asadi, S., Jimeno-Sáez, P., López-Ballesteros, A., & Senent-Aparicio, J. (2024). Comparison and integration of physical and interpretable AI-driven models for rainfall-runoff simulation. *Results in Engineering*, 24, 103048. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103048>
- Baig, A., Atif, S., & Tahir, A. (2024). Urban development and the loss of natural streams leads to increased flooding. *Discover Cities*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s44327-024-00010-w>
- Basher, S. A., & Sadorsky, P. (2025). How important are climate change risks for predicting clean energy stock prices? Evidence from machine learning predictive modeling and interpretation. *Journal of Climate Finance*, 10, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.jclimf.2024.100058>
- Bazazzadeh, H., Hoseinzadeh, S., Mohammadi, M. M., & Garcia, D. A. (2025). AI-aided surrogate model for prediction of HVAC optimization strategies in future conditions in the face of climate change. *Energy Reports*, 13, 1834-1845. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.01.033>
- Borah, G. (2025). Urban water stress: climate change implications for water supply in cities. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s41101-025-00344-5>
- Elshewey, A. M., Jamjoom, M. M., & Alkhamash, E. H. (2025). An enhanced CNN with ResNet50 and LSTM deep learning forecasting model for climate change decision making. *Scientific Reports*, 15(1), 14372. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97401-9>



Fathi, M. M., Al Mehedi, M. A., Smith, V., Fernandes, A. M., Hren, M. T., & Terry Jr, D. O. (2025). Evaluation of LSTM vs. conceptual models for hourly rainfall runoff simulations with varied training period lengths. *Scientific Reports*, 15(1), 15820. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96577-4>

Frincu, R. M. (2025). Artificial intelligence in water quality monitoring: A review of water quality assessment applications. *Water Quality Research Journal*, 60(1), 164-176. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2024.049>

Gacu, J. G., Kantoush, S. A., Nguyen, B. Q., Solidum, R. U., & Balderama, O. F. (2025). Challenges and approaches in sediment management in the Philippines: a review of current research, practices, and proposed countermeasures. *Natural Hazards*, 1-37. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07627-z>

Gavrilaş, S., Burescu, F. L., Chereji, B. D., & Munteanu, F. D. (2025). The Impact of Anthropogenic Activities on the Catchment's Water Quality Parameters. *Water*, 17(12), 1791. https://doi.org/10.3390/w17121791?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate

Ghosh, P., Sudarsan, J. S., & Nithiyantham, S. (2024). Nature-based disaster risk reduction of floods in Urban Areas. *Water Resources Management*, 38(6), 1847-1866. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03757-4>

Guo, Q., He, Z., Wang, Z., Qiao, S., Zhu, J., & Chen, J. (2024). A performance comparison study on climate prediction in Weifang City using different deep learning models. *Water*, 16(19), 2870. https://doi.org/10.3390/w16192870?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate

Habibu, S., Idris, M. B., Birniwa, A. H., Abdullahi, S. S. A., Tukur, A. I., & Gumel, S. M. (2025). Environmental impact and management of industrial effluents. In *Biorefinery of Industrial Effluents for a Sustainable Circular Economy* (pp. 11-25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-21801-9.00002-1>

Hamdan, A., Ibekwe, K. I., Etukudoh, E. A., Umoh, A. A., & Ilojiana, V. I. (2024). AI and machine learning in climate change research: A review of predictive models and environmental impact. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(1), 1999-2008. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0257>

Heo, S., Park, S., & Lee, D. K. (2025). Evaluating thresholds: the impact of terrain modifications on landslide susceptibility in a mountainous city. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 16(1), 2493211. https://doi.org/10.1080/19475705.2025.2493211?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate

Houénafa, S. E., Johnson, O., Ronoh, E. K., & Moore, S. E. (2025). Hybridization of Stochastic Hydrological Models and Machine Learning Methods for Improving Rainfall-Runoff Modelling. *Results in Engineering*, 104079. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104079>



Jawale, P. S., & Thube, A. D. (2025). Rainfall-runoff modeling of urban floods using GIS and HEC-HMS. *MethodsX*, 15, 103437. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103437>

Karagiannakis, G., Panteli, M., & Argyroudis, S. (2025). Fragility modeling of power grid infrastructure for addressing climate change risks and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 16(1), e930. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.930?af=R>

Kumar, A., Kumar, M., Sharma, N. K., Dhyani, B. L., & Mandal, U. (2025). Assessment and estimation of runoff and soil loss using novel machine learning techniques for conservation bench terraces. *Science of The Total Environment*, 973, 179093. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179093>

Li, H., Zhang, C., Chu, W., Shen, D., & Li, R. (2024). A process-driven deep learning hydrological model for daily rainfall-runoff simulation. *Journal of Hydrology*, 637, 131434. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131434>

Liu, J., Li, M., Li, R., Shalamzari, M. J., Ren, Y., & Silakhori, E. (2025). Comprehensive assessment of drought susceptibility using predictive modeling, climate change projections, and land use dynamics for sustainable management. *Land*, 14(2), 337. https://doi.org/10.3390/land14020337?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26medium%3Darticle

Luo, Y., Zhang, K., Wang, Y., Wang, S., Wu, N., Li, S., ... & Bao, H. (2024). iRainSnowHydro v1. 0: A distributed integrated rainfall-runoff and snowmelt-runoff simulation model for alpine watersheds. *Journal of Hydrology*, 645, 132220. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132220>

Madhavi, M., Kolikipogu, R., Prabakar, S., Banerjee, S., Maguluri, L. P., Raj, G. B., & Balaram, A. (2024). Experimental evaluation of remote sensing–based climate change prediction using enhanced deep learning strategy. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*, 7(4), 642–656. <https://doi.org/10.1007/s41976-024-00152-w>

Mansida, A., & Bancong, H. (2025). A Bibliometric Analysis of Trends in Rainfall-Runoff Modeling Techniques for Urban Flood Mitigation (2005–2024). *Results in Engineering*, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104927>

Münzel, T., Hahad, O., Lelieveld, J., Aschner, M., Nieuwenhuijsen, M. J., Landrigan, P. J., & Daiber, A. (2025). Soil and water pollution and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 22(2), 71–89. <https://doi.org/10.1038/s41569-024-01068-0>

Öztürk, Ş., Yılmaz, K., Dinçer, A. E., & Kalpakçı, V. (2024). Effect of urbanization on surface runoff and performance of green roofs and permeable pavement for mitigating urban floods. *Natural Hazards*, 120(13), 12375–12399. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06688-w>



Shukla, N., Gupta, S., & Rai, S. (2023). Potential impacts of climatic changes and human activity on water quality. In *Environmental Processes and Management: Tools and Practices for Groundwater* (pp. 103-111). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20208-7_7

Wan Ahmad Tajuddin, W. A. N., Sa'adi, Z., Alias, N. E., Rosli, A. S., Ramzan, M. A., Zainon Noor, Z., & Aris, A. (2025). Integrating climate scenarios, land use projections, and flood modelling into water-sensitive planning framework in Kota Tinggi, Johor: addressing climate uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(7), 380. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05579-9>

Wang, Y., Li, S., Hu, C., Ren, J., Liu, P., Zhao, C., & Zhu, M. (2024). Analysis of Surface Runoff Characteristics in Zhengzhou City under Extreme Rainfall Conditions. *Sustainability*, 16(16), 6980. <https://doi.org/10.3390/su16166980>

Wei, H., Qiu, H., Liu, J., Li, W., Zhao, C., & Xu, H. (2025). Evaluation and source identification of water pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 289, 117499. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.117499>

Yang, W., Schmidt, C., Wu, S., Zhao, Z., Li, R., Wang, Z., ... & Zhang, J. (2025). Exacerbated anthropogenic water pollution under climate change and urbanization. *Water Research*, 280, 123449. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2025.123449>

Yuan, W., Liu, Q., Song, S., Lu, Y., Yang, S., Fang, Z., & Shi, Z. (2023). A climate-water quality assessment framework for quantifying the contributions of climate change and human activities to water quality variations. *Journal of Environmental Management*, 333, 117441. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117441>

Zeb, H., Yaqub, A., Ajab, H., Zeb, I., & Khan, I. (2023). Effect of climate change and human activities on surface and ground water quality in major cities of Pakistan. *Water*, 15(15), 2693. <https://doi.org/10.3390/w15152693>

Zhu, X., Zheng, H., Zuo, D., Pang, Q., Xie, L., Wang, L., ... & Jin, J. (2025). Effects of human activities and climate change on water quality and health risks of typical urban rivers in arid/semi-arid areas: a ten-year historical analysis. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 11(2), 352-364. <https://doi.org/10.1039/D4EW00689E>

Zhuang, W., Ma, J., Mandania, R., & Chen, J. (2025). A Review of Flood Mitigation Performance and Numerical Representation of Leaky Barriers. *Water*, 17(13), 2023. <https://doi.org/10.3390/w17132023>

Zuo, C., Yin, B., Tan, F., Ma, Z., Gong, S., & Qi, X. (2025). Runoff Simulation and Waterlogging Analysis of Rainstorm Scenarios with Different Return Periods on Campus: A Case Study at China University of



Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.