
Artículos

Inteligencia artificial y sensores remotos como guardianes de los humedales: predicción y alerta temprana para la gestión ambiental preventiva



Artificial intelligence and remote sensing as wetland guardians: prediction and early warning for preventive environmental management

 **Daniel Ernesto Denmon**

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
danielalmiron244@gmail.com

 **Ruben Daniel Almiron de Greef**

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina
danielalmiron244@gmail.com

ARQUITECNO

núm. 27, 2026

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

ISSN: 0328-0896

ISSN-E: 2668-3988

Periodicidad: Semestral

revistas@unne.edu.ar

Recepción: 12 junio 2026

Aprobación: 02 julio 2026

DOI: <https://doi.org/10.30972/arq.279552>

URL: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/674/6745710005/>

Resumen: Los humedales constituyen ecosistemas estratégicos para la regulación hídrica, la captura de carbono y el soporte de la biodiversidad. En Argentina representan aproximadamente el 21 % de la superficie nacional y enfrentan una acelerada degradación por presiones antrópicas y climáticas. Este artículo presenta una revisión crítica de la convergencia entre la inteligencia artificial (IA) y la teledetección satelital como herramienta de predicción temprana del estado y la dinámica de los humedales, con especial atención a su potencial aporte a la gestión ambiental preventiva. Se revisan algoritmos de aprendizaje automático —Random Forest, redes neuronales convolucionales y XGBoost— aplicados en la literatura al procesamiento de imágenes Sentinel-1, Sentinel-2 y Landsat, junto con índices espectrales NDWI y NDVI, y se propone un marco metodológico preliminar para el monitoreo continuo, la predicción de cambios y la activación de alertas tempranas, adaptado al contexto del Litoral argentino. La literatura revisada reporta que estos sistemas pueden alcanzar precisiones superiores al 90 % en la detección de variaciones hidrológicas; no obstante, el presente trabajo no incluye una validación empírica propia, por lo que su aporte debe entenderse como una síntesis bibliográfica y una propuesta metodológica a desarrollar y contrastar en el terreno.

Palabras clave: humedales, inteligencia artificial, imágenes satelitales, teledetección, gestión ambiental preventiva.

Abstract: Wetlands are strategic ecosystems for water regulation, carbon capture and biodiversity support. In Argentina they cover approximately 21% of the national territory and face accelerating degradation due to anthropogenic and climatic pressures. This article presents a critical review of the convergence of artificial intelligence (AI) and satellite remote sensing as an early prediction tool for wetland status and dynamics, with particular attention to its potential contribution to preventive environmental

management. Machine learning algorithms reviewed in the literature —Random Forest, convolutional neural networks and XGBoost— applied to Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat imagery are discussed alongside NDWI and NDVI spectral indices, and a preliminary methodological framework for continuous monitoring, change prediction and early warning activation is proposed for the Argentine Litoral region. The literature reviewed reports that these systems can achieve accuracies above 90% in detecting hydrological variations; however, this work does not include an original empirical validation, and its contribution should be understood as a bibliographic synthesis and a methodological proposal still to be developed and tested in the field.

Keywords: wetlands, artificial intelligence, satellite imagery, remote sensing, preventive environmental management.

INTRODUCCIÓN

Los humedales representan uno de los ecosistemas más valiosos y amenazados del planeta. Pese a ocupar apenas el 6 % de la superficie terrestre, albergan el 40 % de las especies animales y vegetales del mundo (Convención de Ramsar, 2023). En Argentina, la superficie cubierta por humedales supera los 600 000 km², equivalente a cerca del 21 % del territorio nacional, incluyendo esteros, bañados, lagunas, mallines y humedales costeros de extraordinaria diversidad ecológica (Gobierno de Argentina – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2022).

Sin embargo, desde la década de 1970, América Latina y el Caribe han experimentado una de las mayores pérdidas y degradaciones de humedales a nivel mundial. A escala global, la Convención de Ramsar estima que desde 1970 se ha perdido alrededor del 35 % de los humedales, con una aceleración de esa tasa de pérdida en la última década (Convención de Ramsar, 2023). Las principales presiones identificadas son la transformación del uso del suelo, la expansión agropecuaria, la urbanización, la contaminación difusa y el cambio climático, que intensifica los ciclos de sequía e inundaciones sobre territorios ya vulnerables (Gobierno de Argentina – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2022).

En ese contexto, el Litoral argentino —y en particular las provincias de Corrientes, Entre Ríos, Chaco, Formosa y Santa Fe— concentra algunos de los macrosistemas de humedales de mayor relevancia hidrológica y ambiental del continente. Estos territorios son monitoreados con cierta regularidad por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), que procesa imágenes satelitales para el seguimiento de inundaciones y emergencias hídricas (CONAE, 2020). No obstante, el análisis manual de grandes series temporales de imágenes resulta insuficiente frente a la velocidad y escala de los cambios ambientales en curso.

La irrupción de la inteligencia artificial (IA) en el análisis de datos de observación terrestre abre una posibilidad relevante: construir sistemas capaces de procesar automáticamente enormes volúmenes de imágenes satelitales, identificar patrones de cambio hidrológico, predecir estados futuros con antelación suficiente y activar alertas tempranas para la toma de decisiones ambientales. El presente artículo se propone como una revisión crítica de ese cruce tecnológico —identificando los algoritmos y plataformas más citados en la literatura reciente— y como una propuesta metodológica preliminar para pensar su posible articulación con la gestión ambiental preventiva de los humedales en el contexto argentino, así como con los instrumentos de planificación territorial propios de la arquitectura y el urbanismo.

METODOLOGÍA

El presente trabajo adopta un enfoque de revisión crítica narrativa de la literatura científica reciente, complementado con un análisis propio sobre la aplicabilidad de los métodos relevados al contexto ambiental del Nordeste argentino. Se aclara que no se trata de una revisión sistemática en sentido estricto: no se siguió un protocolo tipo PRISMA, no se registró el número exacto de trabajos identificados, evaluados e incluidos, ni se aplicaron criterios de inclusión y exclusión formalizados. Esta limitación se explicita para que los rangos de precisión reportados en la Tabla 1 y a lo largo del texto se interpreten como valores informados por los estudios originales —con métricas, tipos de validación y coberturas heterogéneas entre sí— y no como resultados propios de este trabajo ni como una comparación directa y estandarizada entre algoritmos.

Se consultaron artículos publicados entre 2017 y 2026 en revistas indexadas (Nature Scientific Reports, Remote Sensing, Frontiers in Environmental Science, ScienceDirect), documentos técnicos de organismos nacionales —CONICET, CONAE, Ministerio de Ambiente— e informes de agencias internacionales como la Convención de Ramsar, la ESA (Agencia Espacial Europea) y el Portal UN-SPIDER.

La búsqueda bibliográfica se estructuró en torno a tres ejes temáticos: (1) algoritmos de aprendizaje automático para el procesamiento de imágenes satelitales; (2) índices espectrales y plataformas de teledetección para el monitoreo de humedales; y (3) sistemas de predicción y alerta temprana con impacto potencial en la gestión ambiental preventiva. Se incorporaron términos en español e inglés: “machine learning + wetlands”, “deep learning + satellite imagery”, “NDWI + humedales”, “random forest + change detection”, entre otros. Los resultados relevados se sistematizaron en una tabla comparativa de desempeño algorítmico (Tabla 1) y se diseñó un diagrama de flujo (Figura 1) que resume el marco metodológico propuesto.

La propuesta metodológica para un sistema de monitoreo inteligente de humedales integra tres componentes: (a) adquisición y preprocesamiento de imágenes multitemporales de fuentes abiertas (Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat 8/9); (b) extracción de características mediante índices espectrales y entrenamiento de modelos de IA; y (c) generación de mapas predictivos y emisión de alertas ante variaciones significativas en la cobertura hídrica y vegetal. Se trata de un marco preliminar a validar empíricamente, no de un sistema operativo ya implementado.

La adaptación al contexto del Litoral argentino que aquí se propone no es meramente nominal. Los esteros del Iberá, los bañados del Chaco y los humedales fluviales del sistema Paraná-Paraguay presentan patrones de inundación estacional, vegetación flotante y una heterogeneidad espacial considerable, condiciones que exigen ajustar los umbrales de clasificación NDWI/NDVI y los períodos de composición temporal habitualmente calibrados para humedales costeros o de zonas templadas con menor variabilidad estacional. La escala de análisis priorizada es la de parcela o predio rural, por su relevancia directa para los instrumentos de ordenamiento territorial municipal y provincial. En términos institucionales, la operación de un sistema de este tipo requeriría la articulación de la CONAE y el CONICET —como proveedores de infraestructura satelital y capacidad de cómputo— con los organismos provinciales de ambiente y planificación territorial, responsables de traducir las alertas en decisiones normativas concretas. Entre las variables territoriales adicionales a incorporar en etapas futuras se destacan el uso del suelo vigente, la proximidad a áreas naturales protegidas y la localización de infraestructura urbana y productiva expuesta a riesgo hídrico.

DESARROLLO

Teledetección satelital aplicada a humedales

La teledetección satelital ofrece una perspectiva sinóptica, repetitiva y multispectral del territorio que ninguna metodología de campo puede replicar a bajo costo. Los programas Landsat (Servicio Geológico de los Estados Unidos) y Sentinel (Agencia Espacial Europea) constituyen las fuentes de datos más utilizadas en estudios de cobertura y cambios de uso del suelo, y sus imágenes son de acceso abierto y gratuito (Instituto Geográfico Nacional, 2024). Sentinel-2 provee imágenes ópticas multispectrales con resolución de 10 metros y revisita de cinco días; Sentinel-1, en cambio, opera en banda C de radar de apertura sintética (SAR), lo que le permite observar la superficie terrestre en condiciones de nubosidad persistente —una capacidad técnica bien documentada de los sistemas SAR— particularmente relevante en regiones como el Litoral argentino durante periodos de inundación.

El Índice Normalizado de Diferencia de Agua (NDWI, por sus siglas en inglés) permite discriminar eficientemente los cuerpos de agua y zonas inundadas respecto a la vegetación y suelos secos a partir de bandas verde e infrarrojo cercano (McFeeters, 1996). El NDWI y el Índice Normalizado de Diferencia Vegetal (NDVI) han demostrado ser variables de alta importancia en modelos de clasificación probabilística de humedales, superando en influencia a otros índices cuando se combinan con datos topográficos (Mahdianpari et al., 2019). En estudios de series temporales, la combinación de estos índices calculados sobre compósitos medianos anuales en la plataforma Google Earth Engine (GEE) permite construir series robustas para el seguimiento de la cobertura hídrica a lo largo de varias décadas, con una eficiencia computacional muy superior a los métodos tradicionales de procesamiento local (Mahdianpari et al., 2019).

En el contexto nacional, el IGN ha desarrollado metodologías de detección de humedales altoandinos a partir de datos Sentinel, mientras que el CONICET ha publicado investigaciones que vinculan cambios en el uso del suelo —especialmente la expansión de la frontera agrícola— con el aumento de áreas susceptibles de inundación en la llanura pampeana, corroboradas mediante análisis de imágenes satelitales de cuatro décadas (CONICET, 2023). Asimismo, para la cuenca litoral del Paraná-Paraguay-Uruguay, la CONAE registra y procesa imágenes con sensores ópticos y SAR ante cada evento de inundación, sentando las bases de un archivo temporal de valor para el entrenamiento de modelos predictivos (CONAE, 2020).

Algoritmos de inteligencia artificial: del aprendizaje automático al aprendizaje profundo

La IA aplicada al análisis de imágenes satelitales puede dividirse en dos grandes familias: el aprendizaje automático clásico (Machine Learning, ML) y el aprendizaje profundo (Deep Learning, DL). Ambas han demostrado, según la literatura revisada, capacidades superiores a los métodos de clasificación convencionales en la detección y caracterización de humedales (Salas et al., 2024).

Entre los algoritmos de ML, el Random Forest (RF) es el más empleado en estudios de mapeo de cobertura de humedales, con precisiones globales que, según los estudios relevados, oscilan entre el 88 y el 93 % (Nigar et al., 2024). RF construye un conjunto de árboles de decisión entrenados con subconjuntos aleatorios de datos, lo que le confiere robustez ante el sobreajuste y capacidad para manejar variables de diferente naturaleza —bandas espectrales, índices, datos topográficos— de forma simultánea. Las Support Vector Machines (SVM) muestran, en varios de estos estudios, un desempeño comparable en contextos de clasificación binaria agua/no-agua, aunque resultan menos escalables frente a grandes volúmenes de datos.

El algoritmo XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) ha emergido en la literatura reciente como una herramienta especialmente efectiva para la predicción temporal de variables hidrológicas, dada su capacidad para incorporar series temporales satelitales y datos climáticos como predictores, además de manejar relaciones no lineales entre variables con buena eficiencia computacional frente a otros métodos de ensamble. Su aplicación a la predicción de inundaciones en contextos de datos de campo escasos —como buena parte del territorio del Nordeste argentino— resulta especialmente pertinente; no obstante, su validación específica en cuencas del Litoral argentino continúa siendo una tarea pendiente que excede el alcance de la presente revisión.

En la familia del DL, las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) han mostrado buen desempeño en la segmentación semántica de imágenes satelitales. La arquitectura U-Net —originalmente desarrollada para imágenes médicas— ha sido adaptada al mapeo de coberturas acuáticas: el modelo Swamp-AI, entrenado con una base de datos anotada de imágenes Sentinel-2 del año 2019 recopiladas a escala global, alcanzó una precisión global promedio del 93,7 % y una precisión del productor del 79,4 % en la detección de humedales en sitios de prueba independientes (Andros et al., 2026). Las arquitecturas Transformer-based, de aparición más reciente, amplían aún más la capacidad de capturar dependencias espaciales a larga distancia, aunque requieren volúmenes de datos de entrenamiento más elevados.

La plataforma GEE se ha convertido en un ecosistema computacional de referencia para el análisis de imágenes satelitales a gran escala, dado que su arquitectura en la nube permite ejecutar algoritmos de ML —incluyendo RF y SVM— directamente sobre catálogos de imágenes históricas sin necesidad de descargarlas, reduciendo los tiempos de procesamiento y los requisitos de infraestructura local (Mahdianpari et al., 2019). Una revisión sistemática reciente de 121 estudios sobre mapeo de humedales y monitoreo de hábitats de aves, publicados entre 2015 y 2025, encontró que el ML —particularmente RF— es el enfoque predominante, mientras que el DL ofrece mayor precisión para humedales de alta complejidad estructural, en especial cuando se combinan datos SAR y ópticos (Zerrouk et al., 2025).

Algoritmo	Precisión global (%)	Datos requeridos	Aplicación principal
Random Forest (RF)	88 – 93	Moderados	Mapeo de cobertura
Support Vector Machine (SVM)	82 – 89	Moderados	Clasificación multiclase
Redes Neuronales Conv. (CNN)	91 – 97	Elevados	Segmentación semántica
XGBoost	87 – 94	Moderados	Predicción temporal
U-Net / Transformer	93 – 97	Muy elevados	Detección de cambios

Tabla 1

Comparación de algoritmos de IA aplicados al monitoreo de humedales por imágenes satelitales, según rangos informados en la literatura revisada.

elaboración propia a partir de Salas et al. (2024), Zerrouk et al. (2025) y Nigar et al. (2024)

Nota: los valores de precisión corresponden a rangos informados por los estudios originales citados, obtenidos con conjuntos de datos, métricas de validación (exactitud global, coeficiente Kappa, IoU, entre otras) y coberturas de humedales heterogéneas entre sí. Al tratarse de una síntesis de resultados de terceros —y no de una evaluación estandarizada y comparable realizada por los autores—, los rangos deben interpretarse como indicativos y no como una comparación directa de desempeño entre algoritmos.

Marco metodológico propuesto para sistemas de alerta temprana

A partir de la revisión realizada, se propone un marco metodológico preliminar en tres etapas para el diseño de un sistema de monitoreo inteligente de humedales con capacidad predictiva y de alerta temprana, adaptado al contexto del Litoral argentino y sintetizado en la Figura 1.

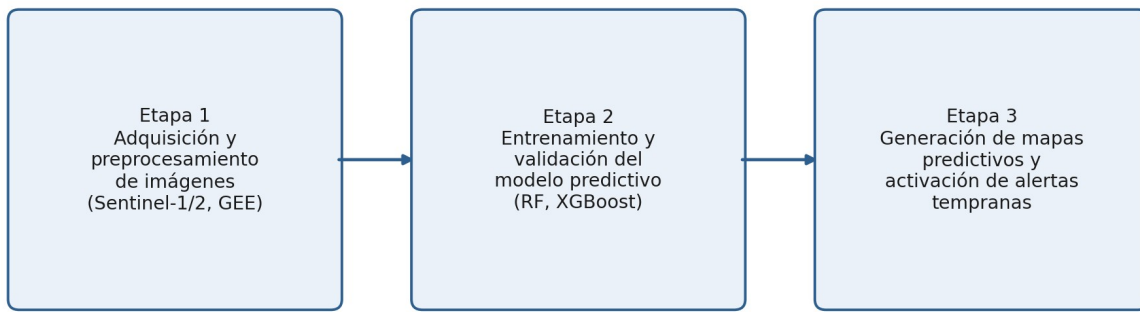


Figura 1
Marco metodológico propuesto en tres etapas
Elaboración propia

La primera etapa comprende la adquisición y preprocesamiento de imágenes multitemporales. Se recomienda utilizar compósitos anuales o estacionales de Sentinel-2 (óptico) y Sentinel-1 (SAR), procesados en GEE mediante funciones de mediana para eliminar píxeles anómalos por nubes, sombras o nieve. Los índices NDWI y NDVI se calculan sobre cada compósito y se almacenan como capas de información adicional. La información topográfica derivada del modelo digital de terreno SRTM —pendiente, índice de humedad topográfica (TWI) y posición topográfica— se integraría como variable contextual de relevancia predictiva, siguiendo el enfoque utilizado por Shahabi et al. (2020) para la predicción de inundaciones mediante Sentinel-1.

La segunda etapa involucra el entrenamiento y validación del modelo predictivo. Se propone un esquema supervisado con muestras de entrenamiento georreferenciadas, obtenidas mediante fotointerpretación de imágenes de alta resolución y datos de campo; en este punto, conjuntos de datos abiertos como Sen1Floods11 —desarrollado específicamente para el entrenamiento y evaluación de algoritmos de detección de inundaciones sobre imágenes Sentinel-1— ofrecen un antecedente útil para abordar la escasez de datos etiquetados en la región (Bonafilia et al., 2020). Los algoritmos RF y XGBoost podrían entrenarse con series históricas de al menos diez años para capturar la variabilidad interanual e identificar tendencias de largo plazo. La validación cruzada y el cálculo del coeficiente Kappa permitirían evaluar la robustez estadística del modelo. Se contempla incorporar variables climáticas de la NASA y del Servicio Meteorológico Nacional como predictores adicionales para la proyección temporal a mediano y largo plazo, complementando así las variables espectrales y topográficas con información hidroclimática de base.

La tercera etapa contempla la generación de mapas predictivos y la activación de alertas. El modelo entrenado se aplicaría sobre imágenes de nuevas fechas para producir mapas de probabilidad de ocurrencia de agua en cada píxel, con resolución de 10 metros. Cuando la variación temporal del NDWI supere umbrales definidos por la propia distribución estadística del sitio, el sistema emitiría una alerta automática dirigida a organismos de gestión territorial y protección civil. Este enfoque se inspira en experiencias como la de Google Flood Hub, que combina un modelo hidrológico de aprendizaje automático con datos públicos para pronosticar crecidas fluviales extremas hasta con cinco días de anticipación en cuencas no aforadas, incluyendo regiones con escasez de datos (Nearing et al., 2024).

DISCUSIÓN

La convergencia de las evidencias revisadas permite sostener que la integración de IA y teledetección satelital constituye, según la literatura analizada, una transformación significativa en las posibilidades de monitoreo y gestión preventiva de los humedales. El salto cualitativo más relevante señalado por esos estudios reside en el pasaje de un diagnóstico retrospectivo —que constata la pérdida una vez ocurrida— a un esquema predictivo que anticiparía los cambios con antelación suficiente para activar respuestas de política pública y planificación territorial.

En términos de desempeño técnico, los estudios relevados reportan que los algoritmos RF y CNN alcanzan precisiones globales del 88 al 97 % en la clasificación de coberturas de humedales, superando de manera consistente a los métodos de clasificación supervisada convencional (Nigar et al., 2024; Zerrouk et al., 2025). La precisión del productor —que mide la capacidad del modelo para no omitir humedales reales— resulta especialmente relevante desde la perspectiva de la gestión preventiva: una omisión implica un humedal no monitoreado y, por ende, sin protección anticipatoria. Swamp-AI registró una precisión del productor del 79,4 %, valor que sugiere margen de mejora pero que representaría, de sostenerse en otros contextos, una capacidad de detección superior a la de inspecciones puntuales de campo (Andros et al., 2026).

La combinación de sensores ópticos y SAR resultaría especialmente adecuada para el Litoral argentino, donde la nubosidad persistente durante las temporadas de mayor riesgo hídrico limita la disponibilidad de imágenes ópticas utilizables. Los datos SAR de Sentinel-1 ofrecen continuidad temporal independiente de las condiciones atmosféricas, lo que garantizaría una cobertura más estable del territorio, una característica especialmente relevante en situaciones de emergencia, donde la información en tiempo real condiciona la calidad y oportunidad de la respuesta institucional.

Desde la perspectiva de la planificación urbana y territorial —campo de acción de la arquitectura y el urbanismo—, los sistemas de alerta temprana basados en IA tendrían el potencial de aportar información a los instrumentos de ordenamiento ambiental. Contar con mapas dinámicos de probabilidad de inundación a escala de parcela, actualizables cada cinco días con nuevas imágenes satelitales, podría ofrecer una base para la definición de franjas de restricción de uso del suelo, el diseño de infraestructuras de amortiguación hídrica y la identificación de zonas prioritarias de restauración ecológica. Conviene subrayar, sin embargo, que monitorear cobertura hídrica mediante NDWI no equivale automáticamente a predecir inundaciones, que clasificar humedales no equivale a diseñar un sistema de alerta operativo, y que disponer de mapas de probabilidad no implica por sí mismo capacidad institucional de respuesta: se trata de componentes complementarios de una cadena que aún debe articularse y validarse en el terreno.

La implementación de estos sistemas enfrenta, además, desafíos no menores. La escasez de datos de campo etiquetados para el entrenamiento supervisado de modelos en regiones de alta heterogeneidad ambiental —como los esteros del Iberá o los bañados del Chaco— representa el principal obstáculo técnico. Las estrategias de aprendizaje semi-supervisado y transferencia de conocimiento desde modelos globales —como el propio Swamp-AI— hacia contextos regionales abren perspectivas exploratorias para atenuar esta limitación (Andros et al., 2026). Por otra parte, la literatura documenta una brecha entre la precisión obtenida en entornos controlados y el desempeño en condiciones operativas reales, del orden de 15 a 25 puntos porcentuales según una revisión sistemática de 89 estudios de clasificación con Sentinel-2 (Jocea et al., 2025), lo que exige procesos de validación y ajuste continuo de los modelos en cada contexto regional.

Finalmente, la dimensión institucional resulta determinante. Los sistemas de predicción son útiles solo si se articulan con estructuras de toma de decisión que puedan responder con celeridad ante las alertas emitidas. En Argentina, la CONAE, el CONICET y el Ministerio de Ambiente disponen de capacidades técnicas y de datos que podrían contribuir a co-construir plataformas de monitoreo inteligente de humedales. La articulación entre ciencia, tecnología y política pública constituye, en definitiva, una condición necesaria — aunque no suficiente— para que estas herramientas contribuyan efectivamente a la protección de los ecosistemas.

CONCLUSIONES

La inteligencia artificial aplicada al análisis de imágenes satelitales representa, de acuerdo con la literatura revisada, una vía prometedora para la gestión ambiental preventiva de los humedales en Argentina. La síntesis realizada permite señalar que: (1) los algoritmos RF, CNN y XGBoost alcanzan, según los estudios relevados, precisiones superiores al 88 % en el mapeo y la predicción de cambios hidrológicos en ecosistemas de humedales; (2) la plataforma GEE y los datos abiertos de Sentinel y Landsat ofrecen una infraestructura técnica accesible para el desarrollo de sistemas de monitoreo continuo a escala regional; y (3) la combinación de índices espectrales NDWI y NDVI con variables topográficas y climáticas aparece, en varios de los trabajos citados, asociada a una mayor capacidad predictiva de los modelos.

Para el contexto del Litoral argentino, se propone un marco metodológico preliminar en tres etapas — preprocesamiento, modelado predictivo y alerta temprana— que podría implementarse de manera progresiva con los recursos técnicos e institucionales disponibles, aunque su validación empírica en el territorio queda pendiente como línea de trabajo futura. La articulación entre organismos como la CONAE, el CONICET y las universidades nacionales resultaría indispensable para escalar estos desarrollos hacia plataformas operacionales de alcance regional.

Desde la arquitectura y el urbanismo, la eventual incorporación de este tipo de información en los instrumentos de planificación territorial podría representar un aporte hacia modelos de gestión ambiental más dinámicos y basados en evidencia. Los humedales, como infraestructura natural de regulación hídrica y climática, requieren herramientas de monitoreo a la altura de la complejidad y la velocidad de los procesos que los amenazan; avanzar en esa dirección con el rigor metodológico adecuado constituye, más que una posibilidad técnica, una responsabilidad compartida entre la ciencia, la gestión pública y la planificación territorial.

BIBLIOGRAFÍA

- Andros, C. S., Conery, I. W., Alvarado, T. R., DeVore, K. R., Calaway, T. D., Rovai, A. S., Ikeda, J., Collins, A. M., & Masue-Slowey, Y. (2026). Swamp-AI: a deep learning model for monitoring wetlands change across the globe. *Scientific Reports*, 16, Article 8830. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-39257-1>
- Boguszewski, A., Grabowski, T., Krzywda, M., Walczak, J., & Kowalski, M. (2022). A deep learning framework based on generative adversarial networks and vision transformer for complex wetland classification using limited training samples. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, Article 103051. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103051>
- Bonafilia, D., Tellman, B., Anderson, T., & Issenberg, E. (2020). Sen1Floods11: A georeferenced dataset to train and test deep learning flood algorithms for Sentinel-1. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 1-8.
- CONAE – Comisión Nacional de Actividades Espaciales. (2020). Imágenes satelitales elaboradas por la CONAE aportan información sobre áreas afectadas por las inundaciones en el Litoral Argentino. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae>
- CONICET – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (2023). Nuevo estudio publicado en Science vincula el aumento de las inundaciones en la llanura argentina con los cambios en el uso de la tierra. <https://www.conicet.gov.ar>
- Convención de Ramsar. (2023). *Global Wetland Outlook: Special Edition 2021*. Ramsar Convention on Wetlands. <https://www.ramsar.org>
- Gobierno de Argentina – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2022). ¿Qué son los humedales y por qué es importante conservarlos? <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/contenidos/humedales>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2024). Datos desde el espacio, información desde la nube: teledetección satelital y procesamiento remoto para la generación de información geoespacial. <https://www.ign.gob.ar>
- Jocea, A. F., Porumb, L., Necula, L., & Raducanu, D. (2025). Sentinel-2 land cover classification: State-of-the-art methods and the reality of operational deployment—A systematic review. *Sustainability*, 17(22), Article 10324. <https://doi.org/10.3390/su172210324>
- Mahdianpari, M., Salehi, B., Mohammadimanesh, F., Brisco, B., Homayouni, S., Gill, E., DeLancey, E. R., & Karami, O. (2019). Google Earth Engine, open-access satellite data, and machine learning in support of large-area probabilistic wetland mapping. *Remote Sensing*, 9(12), 1315. <https://doi.org/10.3390/rs9121315>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Nearing, G., Cohen, D., Dube, V., Gauch, M., Gilon, O., Harrigan, S., Hassidim, A., Klotz, D., Kratzert, F., Metzger, A., Nevo, S., Pappenberger, F., Prudhomme, C., Shalev, G., Shenzi, S., Tekalign, T. Y., Weitzner, D., & Matias, Y. (2024). Global prediction of extreme floods in ungauged watersheds. *Nature*, 627(8004), 559-563. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07145-1>
- Nigar, A., Li, Y., Jat Baloch, M. Y., & Almutairi, M. H. (2024). Comparison of machine and deep learning algorithms using Google Earth Engine and Python for land classifications. *Frontiers in Environmental Science*, 12, Article 1378443. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1378443>

- Salas, E. A. L., Subburayalu Kumaran, S., Bennett, R., Willis, L. P., & Mitchell, K. (2024). Machine learning-based classification of small-sized wetlands using Sentinel-2 images. *AIMS Geosciences*, 10(1), 62-79. <https://doi.org/10.3934/geosci.2024005>
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ghaderi, K., Omidvar, E., Al-Ansari, N., Clague, J. J., Geertsema, M., Khosravi, K., Amini, A., Bahrami, S., Rahmati, O., Habibi, K., Mohammadi, A., Nguyen, H., Melesse, A. M., Bin Ahmad, B., & Ahmad, A. (2020). Flood detection and susceptibility mapping using Sentinel-1 remote sensing data and a machine learning approach: Hybrid intelligence of bagging ensemble based on K-Nearest Neighbor classifier. *Remote Sensing*, 12(2), 266. <https://doi.org/10.3390/rs12020266>
- UN-SPIDER Knowledge Portal. (2022). Aplicación de datos del mes: aprendizaje automático para la detección de inundaciones. Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior. <https://www.un-spider.org>
- Zerrouk, M., Ait El Kadi, K., Sebari, I., & Fellahi, S. (2025). Machine and deep learning for wetland mapping and bird-habitat monitoring: A systematic review of remote-sensing applications (2015–April 2025). *Remote Sensing*, 17(21), Article 3605. <https://doi.org/10.3390/rs17213605>

AmeliCA

Disponible en:

<https://portal.amelica.org/ameli/ameli/journal/674/6745710005/6745710005.pdf>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en portal.amelica.org

AmeliCA

Ciencia Abierta para el Bien Común

Daniel Ernesto Denmon, Ruben Daniel Almiron de Greef
Inteligencia artificial y sensores remotos como guardianes de los humedales: predicción y alerta temprana para la gestión ambiental preventiva

Artificial intelligence and remote sensing as wetland guardians: prediction and early warning for preventive environmental management

ARQUITECNO

núm. 27, 2026

Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

revistas@unne.edu.ar

ISSN: 0328-0896

ISSN-E: 2668-3988

DOI: <https://doi.org/10.30972/arq.279552>