

Automatización y Detección Temprana de Amenazas Meteorológicas



Colaboración

Omar Álvarez Cárdenas; Gilles Arfeuille; Leonid Alberto Ramos Nando, Universidad de Colima; Fernando Pech May Tecnológico Nacional de México / Campus de los Ríos; Margarita Glenda Mayoral Baldivia, Universidad de Colima

Fecha de recepción: 04 de septiembre de 2025

Fecha de aceptación: 04 de diciembre de 2025

RESUMEN: Se presenta el desarrollo de una Aplicación Web Progresiva (PWA) destinada a fortalecer la capacidad de alerta y respuesta temprana del Centro Operativo de Emergencias (COE) de la Universidad de Colima. La plataforma integra imágenes satelitales geoestacionarias (GOES-18 y GOES-19) y salidas del modelo numérico GFS (Global Forecast System) para generar productos meteorológicos clave como composiciones RGB, análisis sinópticos y trayectorias de masas de aire. Los productos se procesan mediante scripts en Python y se gestionan mediante un backend desarrollado con Django. La interfaz dinámica, desarrollada en React.js, permite a los usuarios del COE visualizar información crítica de forma clara y oportuna. Los resultados iniciales demostrarán la eficiencia del sistema para generar alertas basadas en criterios climatológicos predefinidos, lo cual puede mejorar significativamente la toma de decisiones institucionales ante amenazas meteorológicas.

PALABRAS CLAVE: Alerta temprana, imágenes satelitales, Python, modelación meteorológica, PWA.

ABSTRACT: The development of a progressive web application (PWA) designed to enhance the early warning capabilities of the University of Colima's Emergency Operations Center (COE) is presented. The platform integrates geostationary satellite imagery (GOES-18 and GOES-19) and outputs from the Global Forecast System (GFS) numerical weather model to generate key meteorological products, including RGB compositions, synoptic analysis, and air mass trajectories. These products are processed using Python scripts and managed through a Django-based backend. The dynamic interface, built with React.js, allows COE personnel to visualize critical information in a timely and interpretable manner. Initial results will indicate the system's effectiveness in generating alerts based on climatological thresholds, thereby supporting informed decision-making during meteorological threats.

KEYWORDS: Early warning, satellite imagery, Python, weather modeling, PWA.

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos meteorológicos extremos se han incrementado en los últimos años, tanto en su periodicidad como en su intensidad, generando graves afectaciones en las poblaciones más vulnerables del planeta [1]. Para enfrentar esta situación, se han desarrollado los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) como instrumentos clave para contribuir a la gestión del riesgo en las instituciones de protección civil [2],[3]. Los SAT son considerados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como una herramienta eficaz para contribuir a la reducción de pérdidas humanas, ya que proporcionan información oportuna y confiable para ofrecer una respuesta oportuna ante eventos climáticos adversos.

Los Sistemas de Alerta Temprana se están comenzando a implementar en centros universitarios con alta población estudiantil. Por ello, la Universidad de Colima ha creado un Centro Operativo de Emergencias (COE) con el fin de mejorar sus capacidades de seguimiento y respuesta ante este tipo de eventos hidrometeorológicos que afectan a su comunidad estudiantil. El estado de Colima se encuentra ubicado en una región anualmente afectada por ciclones, lluvias extremas y actividad sísmica persistente [4],[5]. Por tal motivo, es importante que la universidad cuente con un sistema de vigilancia permanente para responder a estos posibles riesgos y activar los protocolos de protección civil, basándose en datos precisos y en tiempo real.

Considerando los beneficios de implementar un SAT por parte del COE en la Universidad de Colima, se propone un sistema automatizado de detección temprana para monitorear amenazas hidrometeorológicas. Su diseño se basa en la obtención y el procesamiento de la información generada por satélites geoestacionarios dedicados al monitoreo ambiental [6],[7],[8]. Los datos satelitales se analizan y transforman en información visual utilizando principalmente el lenguaje de programación Python, la cual es interpretada por el personal del COE para la toma de decisiones cuando la comunidad universitaria pueda verse afectada por eventos climáticos que pongan en riesgo su seguridad [9],[10]. La propuesta del SAT en la Universidad de Colima se convertirá, a corto plazo, en una solución tecnológica eficiente para la gestión de riesgos en una institución que concentra la mayor matrícula de estudiantes del estado (31,476) [11].

Revisión de la literatura

Estudios realizados en años recientes sobre los desastres y los daños que producen, han incrementado la producción de diversas investigaciones centradas en la automatización y la eficiencia de los Sistemas de Alerta Temprana [12],[13],[14]. La vigilancia y el pronóstico de los fenómenos meteorológicos actualmente se basan en el uso de información satelital debido a su cobertura global y a un factor muy importante: la disponibilidad prácticamente en tiempo real con un grado de resolución espacial suficiente para la generación de productos hidrometeorológicos.

La constelación de satélites geoestacionarios es fundamental para proporcionar información sobre el estado del tiempo, éstos satélites forma parte del programa GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) operado por la Oficina Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Los satélites GOES son un pilar tecnológico para la detección de ciclones tropicales, tormentas eléctricas, distintos tipos de nubosidad y cambios de temperatura [6].

Ellos proporcionan datos que permiten generar imágenes multispectrales con alta frecuencia temporal, prácticamente en tiempo real, para mantenerse al día de la evolución de las amenazas meteorológicas [15].

Debido a la accesibilidad de la información proporcionada por los satélites GOES, se han realizado diversos estudios enfocados en la sistematización de datos para generar imágenes meteorológicas. Uno de ellos es el propuesto en [5], basado en una arquitectura de aprendizaje automático de imágenes meteorológicas generadas para predecir eventos de alta precipitación en zonas vulnerables. Algo similar se propone en [10], que consiste en una plataforma web que integra datos satelitales y genera modelos meteorológicos con la finalidad de producir alertas en tiempo real sobre zonas regionales de interés, mostrando resultados positivos en cuanto a la precisión y la eficiencia de los datos obtenidos.

La generación de herramientas de teledetección ambiental, pronóstico de lluvias y detección de ciclones tropicales debe ser una solución de bajo costo para que las universidades puedan implementar un SAT. Como se indica en [8], el lenguaje de programación Python tiene gran reconocimiento particularmente en el procesamiento de imágenes. Esto ha motivado a la comunidad científica a utilizarlo en la generación de este tipo de herramientas tecnológicas debido a su gran ecosistema de librerías especializadas como son Satpy, Pyresample, Rasterio y Matplotlib entre las más importantes [16].

Pero no solo es considerar las librerías y lenguajes de programación más adecuados para este tipo de herramientas tecnológicas; también se debe tener en cuenta que todo este trabajo está enfocado en un usuario final. Por ello, lo complejo de todos los procesos realizados debe ser transparente a través de una interfaz de visualización que facilite a los miembros del COE la toma de decisiones, mediante una solución que ofrezca usabilidad y claridad en la generación de alertas climáticas. Se muestra esto en [17], donde se resalta la importancia de crear sistemas que integren capacidades técnicas y mecanismos de comunicación eficaces para los responsables de la toma de decisiones, sin complicaciones ni condiciones de incertidumbre derivadas de la complejidad del SAT.

En el contexto institucional de la Universidad de Colima, el uso y la infraestructura de tecnologías satelitales para el monitoreo meteorológico están limitados por consideraciones técnicas y por el presupuesto disponible. Sin embargo, existen posibles soluciones de bajo costo para el desarrollo de estaciones terrenas satelitales utilizando los SDR (Radios Definidos por Software) y computadoras de

propósito general como la Raspberry Pi. Estas soluciones han permitido a universidades y centros de investigación implementar estaciones satelitales alternativas capaces de recibir transmisiones en la banda L (1.7 GHz) de los satélites GOES [18].

Considerando estas soluciones, se refuerza la viabilidad técnica para acceder no solo a los datos de los sitios oficiales de NOAA, sino también a la información de estaciones terrenas propias. Esto constituye un área de oportunidad para implementar una estación terrenal satelital alterna universitaria para la disponibilidad de datos climáticos para un SAT universitario.

MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto de automatización y detección temprana de amenazas meteorológicas es una investigación aplicada, cuyo objetivo principal es desarrollar una aplicación web progresiva orientada a la automatización y a la presentación dinámica de productos meteorológicos, que permita al COE de la Universidad de Colima contar con herramientas de alerta temprana eficaces. Su aplicación es la detección de amenazas meteorológicas a nivel local y regional, más precisas y relevantes para el usuario que las existentes, las cuales se enfocan en regiones más amplias o presentan proyecciones inadecuadas. El enfoque metodológico es de tipo tecnológico y funcional, integrando técnicas de programación, modelado climático y diseño web con base en los requerimientos del usuario final.

Los datos meteorológicos utilizados para alimentar el sistema se obtienen de fuentes confiables y oficiales, principalmente:

- Imágenes satelitales NOAA GOES-R Geostationary Operational Environmental Satellites) en AWS (Amazon Web Services): Proporciona imágenes satelitales multispectrales de los satélites GOES.
- NOMADS (NOAA Operational Model Archive and Distribution System): Portal de modelos operativos y sistema de distribución que incluye las salidas del Global Forecast System (GFS) utilizadas en el pronóstico numérico.
- Sistemas de visualización del National Weather Service y del GDAS: para verificación.

La Figura 1 muestra un diagrama de despliegue UML que representa la arquitectura tecnológica del sistema propuesto. El servidor de datos externo integra las principales fuentes de información meteorológica, como las imágenes satelitales GOES a través de AWS y los productos del modelo numérico GFS proporcionados por NOMADS. Estos datos son consultados por el backend desarrollado en Django, el cual ejecuta scripts en Python para el procesamien-

to de imágenes y modelado meteorológico, y almacena los resultados en una base de datos.

La capa de presentación del sistema está compuesta por un frontend desarrollado en React.js que interactúa con el backend mediante una API para mostrar los productos meteorológicos generados. Finalmente, el usuario final (personal del COE) accede a la plataforma a través de una Aplicación Web Progresiva, utilizando un navegador convencional desde computadoras o dispositivos móviles. Las líneas de conexión entre nodos indican los flujos de datos y los protocolos (API, HTTP) necesarios para garantizar la interoperabilidad entre componentes distribuidos.

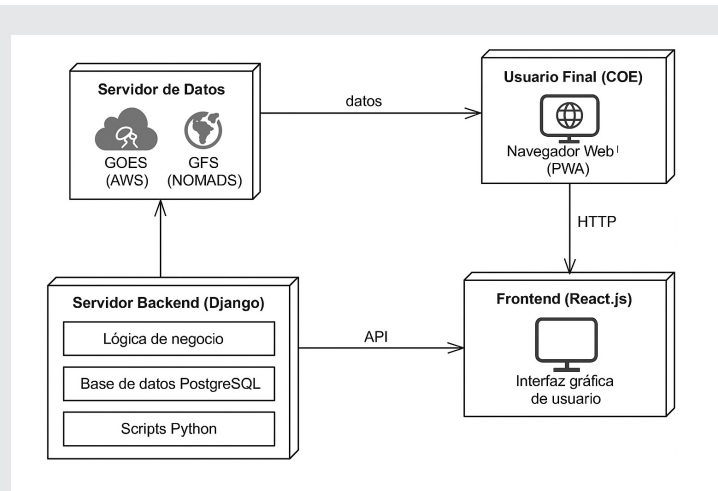


Figura 1: Diagrama de despliegue UML del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño metodológico

El desarrollo e implementación de un SAT se basa fundamentalmente en una solución de software. Para lograr la automatización y la detección temprana de amenazas meteorológicas, es necesario establecer las fases de planificación, análisis, diseño, implementación, pruebas, despliegue y mantenimiento, que conforman la metodología del ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC).

Para desarrollar la automatización y la detección temprana de amenazas meteorológicas para el COE de la Universidad de Colima, se adoptó el modelo incremental evolutivo como metodología de ciclo de vida. Este enfoque permite crear la solución de software en fases sucesivas, lo que facilita la validación de cada una por parte de COE antes de continuar con la siguiente. Se inicia con los módulos de descarga y visualización de imágenes; posteriormente, con la integración de modelos numéricos y mecanismos de alerta automatizada, hasta la interfaz ajustada a los requerimientos del usuario final. La elección del modelo incremental evolutivo facilita la incorporación de pruebas y mejoras iterativas en

cada fase, asegurando la adaptabilidad del proyecto ante cambios operativos o tecnológicos.

La finalidad de la metodología es clara: minimizar los riesgos y garantizar la adaptabilidad de la solución de software ante futuras mejoras. Una descripción general de los procesos a implementar es la siguiente:

a) Procesamiento meteorológico en Python:

- Desarrollo de scripts para descargar imágenes satelitales GOES y salidas de GFS.
- Aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes, interpolación y análisis estadístico.
- Generación de productos como imágenes corregidas, mapas de nubosidad, campos vectoriales de viento, mapas de precipitación acumulada, entre otros.

b) Tipos de análisis meteorológico considerados:

- Escala global: Circulaciones planetarias y ondas de gran escala.
- Escala sinóptica: Ciclones extratropicales y ríos atmosféricos.
- Escala mesoescalar: Sistemas convectivos de mesoescala y tormentas locales.
- Escala convectiva: Evolución de las celdas de tormenta y de la actividad eléctrica.
- Análisis marino: Oleaje, presión superficial y vientos sobre el océano.
- Análisis de la trayectoria del aire: Estimación de las rutas de las masas de aire mediante modelos como HYSPLIT.

c) Diseño del sistema informático:

- Backend en Django (Python): Gestión de usuarios, autenticación, almacenamiento de datos meteorológicos en la base de datos y lógica de negocio.
- Frontend en React.js: Interfaz dinámica y responsiva que permite a los integrantes del COE consultar visualizaciones meteorológicas, imágenes satelitales procesadas, campos vectoriales, animaciones y alertas.

d) Diseño del sistema informático:

- Basado en condiciones específicas identificadas en los productos generados.
- Incorporación de reglas y umbrales climatológicos definidos para la región del occidente de México.
- Visualización mediante un sistema de notificaciones en la PWA y alertas visuales codificadas por colores.

Reproducibilidad

Toda la lógica de programación, las estructuras de base de datos, los esquemas de API y los scripts

meteorológicos se documentan en un repositorio controlado con Git (Tabla 1). La solución está diseñada con tecnologías de código abierto, lo que facilita su adopción por otras instituciones interesadas en replicar el sistema con ligeros ajustes regionales, una vez que el COE determine el tipo de protección legal.

Tabla 1. Fuentes de datos y herramientas utilizadas.

Fuente	Descripción	Propósito
NOAA GOES-R	Imágenes satelitales multispectrales	Vigilancia atmosférica y oceánica
NOMADS	Modelos numéricos GFS	Análisis sinóptico y predicciones
Python + Satpy y Metpy	Procesamiento de imágenes satelitales	Generación de productos visuales
Django	Framework web backend	Interfaz de visualización PWA
React.js	Framework frontend	Interfaz de visualización de la PWA
PosgreSQL	Base de datos relacional	Almacenamiento de productos

Fuente: Elaboración propia.

Validación y pruebas

Se realizan pruebas funcionales y de desempeño, incluyendo:

- Verificación de la precisión de los productos meteorológicos mediante la comparación con plataformas oficiales como NOAA View y el Servicio Meteorológico Nacional.
- Pruebas de carga para garantizar la disponibilidad en condiciones de consulta intensiva.
- Evaluación de la experiencia de usuario mediante pruebas con integrantes del COE, aplicando criterios de usabilidad y de pertinencia de la información presentada. Se aplicará una vez que termine el ciclo actual de tormentas tropicales y huracanes.

RESULTADOS

Durante la fase inicial del desarrollo del sistema se tiene diseñado un entorno funcional que integra las siguientes capacidades:

- Automatización de la descarga y el procesamiento de imágenes satelitales, mediante scripts en Python, desde los servidores de NOAA y Tropical Tidbits.
- Generación de productos meteorológicos derivados, como composiciones RGB, mapas de nubosidad, campos de viento y trayectorias de masas de aire, interpretables por el personal del COE Figura 2.

- Construcción de un backend robusto en Django capaz de almacenar los productos generados, gestionar la autenticación de usuarios e interactuar con la base de datos para realizar consultas eficientes.
- Diseño de una interfaz PWA con React.js, con navegación responsiva y visualización clara de los productos generados, accesible tanto en computadoras como en dispositivos móviles.

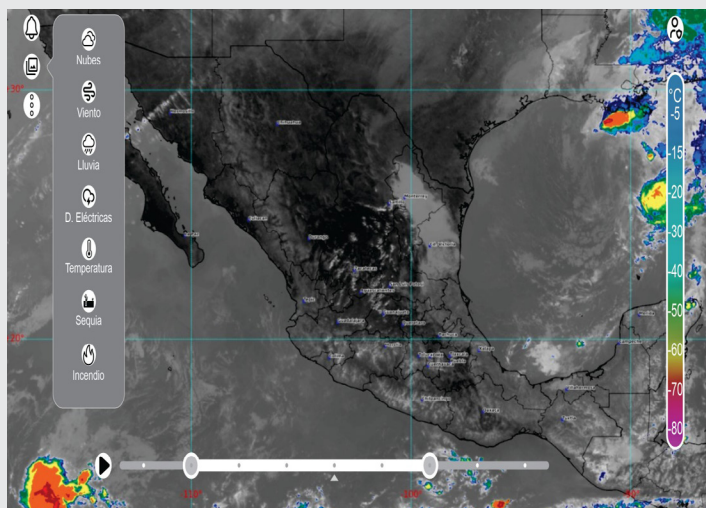


Figura 2: Gestión de productos meteorológicos.

Fuente: Elaboración propia.

Entre los productos a generar por el sistema para su proceso de validación funcional durante la actual temporada de huracanes y tormentas tropicales del 2025, se encuentran los siguientes:

- Mapa de nubosidad IR durante la formación de un sistema convectivo en el Pacífico.
- Trayectoria de las masas de aire sobre la región de Colima, analizada con base en los datos de GFS y visualizada en un mapa dinámico.
- Composición atmosférica RGB, generada con librerías de Python, utilizada para identificar la intrusión de aire seco en las capas de la atmósfera.

La PWA incluye mecanismos de activación de alertas visuales cuando se detectan condiciones de riesgo, como precipitaciones acumuladas cada 24 horas, presión atmosférica descendente continua o vientos fuertes. Estas alertas se visualizan como notificaciones codificadas por colores directamente en el panel de usuario del COE (Figura 3).

CONCLUSIONES

La implementación del sistema propuesto representa un avance significativo en la capacidad institucional de la Universidad de Colima para anticipar y responder a amenazas meteorológicas. La combinación de herramientas de código abierto, el procesamiento satelital en tiempo casi real y la visualización web progresiva ha permitido construir una solución funcional, flexible y escalable.

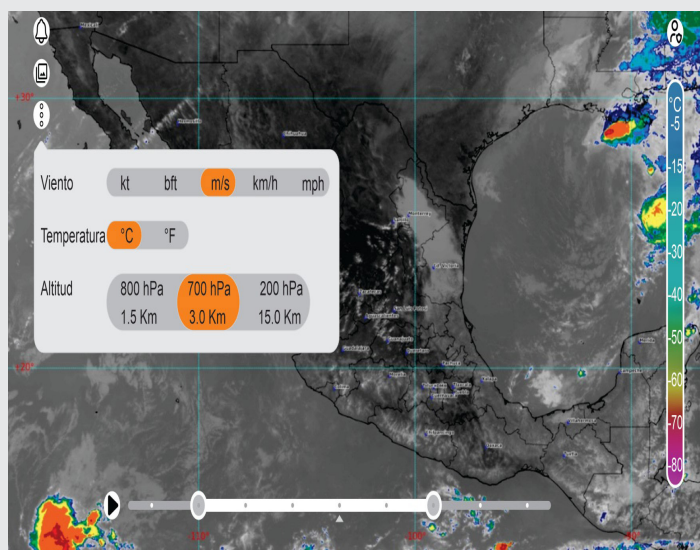


Figura 3: Configuración de parámetros.

Fuente: Elaboración propia.

Entre los principales logros del proyecto se destacan:

- El uso exitoso de imágenes satelitales y del modelo GFS como fuentes de datos confiables para la generación de productos meteorológicos relevantes.
- La integración efectiva de tecnologías modernas como Django y React.js, permitiendo una arquitectura modular y mantenible.
- La capacidad de personalizar los productos generados según los criterios operativos del COE, lo que facilita la toma de decisiones en entornos de riesgo.

Este sistema no solo puede replicarse en otros campus de la misma Universidad, sino que también puede adaptarse a otras instituciones públicas con necesidades similares, promoviendo así una gestión del riesgo basada en la ciencia y la tecnología. La Universidad de Colima tiene una estrecha relación con la Dirección de Protección Civil Estatal, que ha mostrado interés en acceder a la información generada por el sistema de automatización y detección temprana de amenazas meteorológicas del COE, como instrumento adicional para la toma de decisiones. De concretarse la colaboración, la propuesta presentada tendrá un impacto positivo en la prevención y gestión de riesgos en todo el estado de Colima.

Los trabajos futuros incluirán la incorporación de algoritmos de aprendizaje automático para la detección de patrones críticos, así como la integración de sensores terrestres para complementar el análisis satelital.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección General de Protección Civil y Gestión de Riesgos de la Universidad de Coli-

ma por su interés en implementar estas herramientas como parte del COE institucional.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2 de mayo de 2025), "Sixth Assessment Report: Climate Change 2021," 2021. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- [2] R. Basher, "Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centred," *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 364, no. 1845, pp. 2167–2182, 2006, doi: 10.1098/rsta.2006.1819.
- [3] J. M. Pérez and C. R. Torres, "Diseño de un sistema de visualización meteorológica basado en imágenes satelitales y modelos GFS para la gestión del riesgo en instituciones públicas," *Memorias del Congreso Nacional de Ingeniería Aplicada*, vol. 8, no. 1, pp. 55–61, 2020.
- [4] P. E. Vargas and A. M. G. Tlaxcalteco, "México ante las migraciones climáticas y sus desafíos rumbo al 2030," *Revista Iberoamericana de Derecho, Cultura y Ambiente*, no. 5, p. 43, 2024.
- [5] S. Sánchez and J. G. Ramírez, "Sistema de monitoreo y generación de alertas de prevención contra inundaciones con IOT," 2024. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11349/93372>
- [6] T. J. Schmit, P. Griffith, M. M. Gunshor, J. M. Daniels, S. J. Goodman, and W. J. Lebar, "A closer look at the ABI on the GOES-R series," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 98, no. 4, pp. 681–698, 2017.
- [8] J. De Boer, J. A. Wardekker, and J. P. Van der Sluijs, "Frame-based guide to situated decision-making on climate change," *Global Environmental Change*, vol. 20, no. 3, pp. 502–510, 2010.
- [9] R. I. V. Rodríguez, *Software para el análisis de la verificación de la predicción climática de variables meteorológicas*, Doctoral dissertation, Universidad de La Habana, 2020.
- [10] M. Rivero, *Desarrollo e implementación de una estación meteorológica basada en protocolos de IoT*, Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2020.
- [11] Universidad de Colima, "Suma UdeC 31 mil 476 estudiantes para el presente ciclo escolar," nota web, 20-Ago-2025. [En línea]. Disponible: https://www.ucol.mx/noticias/nota_14329.htm.
- [12] R. U. R. Flores, R. T. A. Santos, I. A. Valdovinos y V. R. Licea, "Diseño electrónico del sistema de alerta temprana para monitoreo y detección de inundaciones," *Difu100ci@, Revista de difusión científica, ingeniería y tecnologías*, vol. 16, no. 3, pp. 50–57, 2022.
- [13] E. Christian, C. Cerrudo, E. Viljoen, N. Cooper, R. Jackson, V. Gray y A. Robertson-Quimby, "Comunicar para salvar vidas: cómo mejorar los avisos de los sistemas de alerta temprana," 2022.
- [14] T. L. C. Miranda, H. J. R. Herrera, J. B. M. Coaquira, W. E. S. Villanueva y M. A. M. Aguilar, "Sistema de alerta temprana de deslizamiento de tierra por lluvias basado en red inalámbrica de sensores en la ciudad de Tacna," *Ingeniería Investiga*, vol. 5, 2023, doi: 10.47796/ing.v5i0.855.
- [15] P. B. Corrales, "Utilización de datos satelitales para la evaluación y mejora de los pronósticos numéricos en alta resolución a muy corto plazo," tesis doctoral, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, Univ. de Buenos Aires, 2023. [En línea]. Disponible en: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n7410_Corrales.
- [16] A. J. Stewart, C. Robinson, I. A. Corley, A. Ortiz, J. M. Lavista Ferres y A. Banerjee, "Torchgeo: deep learning with geospatial data," *ACM Transactions on Spatial Algorithms and Systems*, vol. 11, no. 4, pp. 1–28, 2025, doi: 10.1145/3707459.
- [17] J. Gutiérrez, J. F. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay, and M. Á. Porta-Gándara, "Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 63, no. 1, pp. 166–176, 2014.
- [18] M. Sugadev, M. Kaushik, V. Vijaykumar, and T. Ravi, "Implementation of NOAA Weather Satellite Receiver using HackRF-One SDR," in *Proc. 2022 Int. Conf. Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, 2022, pp. 1–4.

