

PLATAFORMA ACCESIBLE PARA ALERTAS TEMPRANAS HIDROMETEOROLÓGICAS BASADA EN PRONÓSTICOS CLIMÁTICOS Y UMBRALES LOCALES DE PRECIPITACIÓN

ACCESSIBLE PLATFORM FOR HYDROMETEOROLOGICAL EARLY WARNINGS BASED ON CLIMATE FORECASTS AND LOCAL PRECIPITATION THRESHOLDS

Camila A. CARDONA-ALZATE¹ y David Alejandro CAJIAO-LAZT²

¹ *Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia*

✉ camila_and.cardona@uao.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0003-3201-9187>

² *Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia*

✉ david.cajiao@uao.edu.co

 <https://orcid.org/0009-0000-5992-7079>

RESUMEN: La información climática sigue siendo inaccesible para las comunidades vulnerables en Latinoamérica, a pesar de la existencia de sistemas abiertos de pronóstico. Este artículo presenta una plataforma que aprovecha los principios de la predicción basada en impactos al traducir los pronósticos de precipitación en alertas tempranas para desastres naturales inducidos por lluvias en zonas rurales de Colombia. El objetivo es aportar una plataforma colaborativa para usuarios con baja alfabetización. El proyecto busca alertar aprovechando los umbrales de precipitación en combinación con pronósticos climáticos para anticipar condiciones de lluvia riesgosas. Utilizando una metodología *data thinking*, se desarrolló un prototipo alpha. Aprovechando herramientas climáticas y la evaluación de riesgos, la plataforma muestra cómo las soluciones accesibles e inclusivas pueden cerrar la brecha entre los servicios climáticos globales y la preparación local para desastres, promoviendo los ODS 11 y 13.

Palabras clave: resiliencia climática; IBF; Impact-Based Forecasting; comunidades vulnerables, Open-Meteo.

ABSTRACT: Climate information remains inaccessible to vulnerable communities in Latin America, despite the existence of open forecasting systems. This article presents a platform that leverages the principles of impact-based prediction by translating precipitation forecasts

into early warnings for rain-induced natural disasters in rural areas of Colombia. The goal is to provide a collaborative platform for users with low literacy levels. The project seeks to provide alerts by using precipitation thresholds in combination with climate forecasts to anticipate risky rainfall conditions. Using a data thinking methodology, an alpha prototype was developed. Leveraging climate tools and risk assessment, the platform shows how accessible and inclusive solutions can bridge the gap between global climate services and local disaster preparedness, promoting SDGs 11 and 13.

Keywords: climate resilience; IBF; impact-based forecasting; vulnerable communities, open-meteo.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia enfrenta un incremento dramático en la frecuencia y la intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos: entre 2001 y 2021 se registraron 23.722 eventos (58 % inundaciones, 34,3 % movimientos en masa) [1], y actualmente 308 municipios están bajo alerta por deslizamientos, 68 en nivel rojo [2]. Las comunidades más vulnerables carecen de acceso a información climática en tiempo real, enfrentan barreras de alfabetización digital y conectividad limitada. La OMM ha promovido IBFWS (Servicios de Pronóstico y Alerta Basados en Impactos) para transformar pronósticos en información accionable [3], pero su operacionalización en contextos de bajos recursos permanece como un desafío no resuelto. A pesar de sistemas abiertos disponibles (Open-Meteo, CHIRPS, NOAA), existe desconexión crítica entre servicios climáticos globales y comunidades locales vulnerables. Este trabajo contribuye con: (i) arquitectura IBFWS accesible de bajo costo basada en API abiertas; (ii) prototipo de alta fidelidad integrando umbrales de precipitación con pronósticos en tiempo real e interfaces inclusivas; (iii) metodología de diseño *data-driven* con retroalimentación comunitaria; (iv) integración de ciencia climática rigurosa con datos históricos oficiales y conocimiento local; (v) contribución conceptual a ODS 11 y 13 demostrando cómo IBFWS con accesibilidad fortalecen anticipación comunitaria ante desastres climáticos.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. SERVICIOS DE PRONÓSTICO Y ALERTA BASADOS EN IMPACTOS (IBFWS)

Los IBFWS (Impact-Based Forecast and Warning Services) son promovidos por la OMM como un enfoque que integra pronóstico del peligro con información de vulnerabilidad/exposición y evaluación de riesgo con el fin de convertir pronósticos complejos en información accionable para decisiones preventivas [3]. En aplicaciones humanitarias, la Cruz Roja/Media Luna Roja ha mostrado que la anticipación basada en pronósticos puede habilitar acciones tempranas (p. ej., distribución de ayuda antes del evento usando disparadores) y reducir pérdidas, como se ha documentado en Bangladesh [4]. A escala

regional, el SAHF resalta la urgencia de pasar de servicios meteorológicos tradicionales a IBFWS en múltiples horizontes de anticipación (de horas a décadas), apoyándose en capacitación, codesarrollo con sectores (agricultura, agua, salud, gestión del riesgo) y uso de pronósticos por conjuntos [5]. En una investigación reciente, Kooshki Forooshani *et al.* proponen un modelo de ML (XGBoost) para predecir impactos de ciclones tropicales (porcentaje de viviendas totalmente dañadas) a escala municipal, mostrando que el uso de datos globales abiertos puede mantener un desempeño comparable, aunque se requiere validación en otros países para confirmar transferibilidad [6].

2.2. UMBRALES DE PRECIPITACIÓN

En umbrales de precipitación para alerta temprana, la literatura enfatiza que la lluvia actúa como disparador crítico de desastres en regiones montañosas tropicales y que los umbrales deben distinguir entre lluvia desencadenante (1-6 h de alta intensidad) y lluvia preparatoria (24-72 h acumulada que aumenta la humedad del suelo y reduce la resistencia) [7]. La revisión sistemática de González *et al.* también identifica enfoques físicos y estadísticos, proponiendo su integración como práctica deseable para robustecer la definición de umbrales [7]. Dou *et al.* plantean un *framework* de umbrales con índice de lluvia dinámico e integración con susceptibilidad espacial, permitiendo que los umbrales se adapten a condiciones hidrometeorológicas variables y articulen explícitamente la dimensión espacial (dónde) y temporal (cuándo) del peligro [8]. En Colombia, Marín y Marín-Sánchez presentan LandScient_EWS, *software open-source* que compara lluvia medida en tiempo real con umbrales intensidad-duración tipo *power-law*, calcula el Intensity Ratio (IR) y genera niveles de alerta operacionales en diferentes escalas. Su validación incluye un caso de estudio en Medellín (deslizamiento de Villatina, 2008) [9].

3. METODOLOGÍA

Se implementó un enfoque de investigación conceptual centrado en datos integrando análisis de requisitos, diseño inclusivo y prototipado de mediana fidelidad. Se caracterizó el problema en contexto colombiano (alta exposición a eventos extremos, baja conectividad y alfabetización digital) y se definieron objetivos estratégicos con OKR cuantificables. Se levantaron requisitos funcionales (interfaz intuitiva, multicanalidad app/SMS, confiabilidad, multilingüismo) y especificaciones técnicas (API climáticas, nube escalable, bajo consumo de datos). Mediante ideación se generaron dos propuestas (A: integración multicanal con retroalimentación comunitaria; B: acción rápida con interfaz mínima), ambas prototipadas en mediana fidelidad. Se aplicó análisis jerárquico de procesos (AHP) con criterios ponderados (precisión 0,51, acciones comunitarias 0,24, rapidez 0,17, usabilidad 0,08), seleccionando Propuesta A (0,63 vs. 0,37). La arquitectura final comprende cuatro capas: datos (Open-Meteo), procesamiento (navegador del usuario, sin servidor), aplicación (interfaz web con

integración futura SMS) y accesibilidad (lenguaje simplificado, iconografía, audio, bajo consumo de datos).

4. RESULTADOS

El pipeline de datos opera en el navegador del usuario con arquitectura de cuatro capas: adquisición (Open-Meteo API, resolución $0,1^\circ \times 0,1^\circ$, actualización cada 6 horas; geolocalización del dispositivo), procesamiento (clasificación de códigos WMO a español; sistema de alertas contra umbrales predefinidos: Peligro >10 mm precipitación/ >50 km/h viento/WMO ≥ 95 , Alerta >5 mm/ >30 km/h/WMO ≥ 80 , Advertencia >0 mm/ >20 km/h/WMO ≥ 60 , calibrados según lluvia desencadenante [4]), aplicación (visualización geoespacial con Google Maps, módulo de preparación con guías narradas en audio y *checklist* de emergencia, funcionalidad de reporte ciudadano geolocalizados) y accesibilidad (lenguaje simplificado, iconografía, audio, bajo consumo de datos).

La implementación utiliza React con Vite, componentes accesibles (shadcn/ui, Radix UI, Lucide React), Tailwind CSS para diseño responsivo y TypeScript para tipado estático. El sistema consume cuatro servicios externos: Open-Meteo (pronósticos), Nominatim OSM (geocodificación inversa), Geolocation API (coordenadas, *fallback*: Cali $3,4516^\circ\text{N}$ $76,5320^\circ\text{W}$) y FormSubmit.co (envío de reportes). La Figura 1 ilustra la conexión de API externas, herramientas de procesamiento local de umbrales y servicios de infraestructura (Docker, Google Cloud, Nginx). El despliegue utiliza Docker en dos etapas: compilación con Node.js/Vite y producción con Nginx Alpine sirviendo *assets* estáticos, permitiendo despliegue escalable sin *backend* dedicado. Las métricas de rendimiento registraron tiempo de construcción de 80 segundos y tiempo de respuesta inicial (TTFB) de 618 milisegundos, asegurando carga rápida incluso con conectividad limitada.

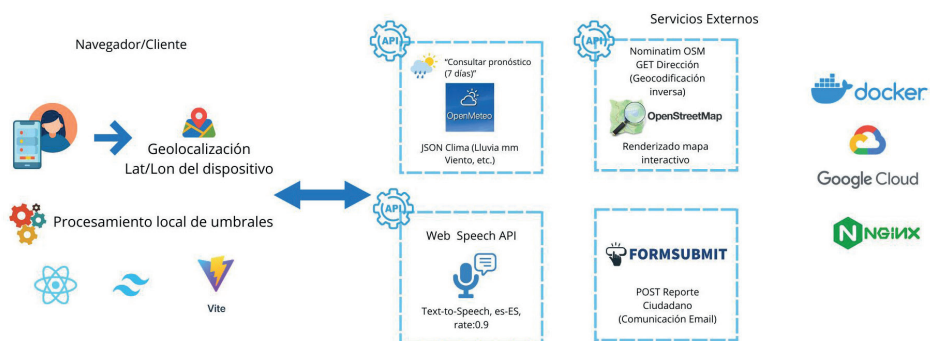


Figura 1. Pipeline de datos y experiencia de usuario

5. CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra la viabilidad conceptual de un servicio IBFWS accesible para contextos vulnerables latinoamericanos, integrando pronósticos climáticos abiertos, umbrales de precipitación calibrados localmente y diseño inclusivo. Las limitaciones actuales incluyen ausencia de validación con usuarios finales, umbrales calibrados solo para análisis general requiriendo validación regional específica y proyecciones de impacto teóricas sin comportamiento real documentado. Las próximas fases contemplan despliegue piloto en municipios rurales colombianos, calibración regional de umbrales y evaluación rigurosa de impacto.

6. DOCUMENTACIÓN

Este proyecto se podrá encontrar con su documentación en este link de Github: <https://github.com/DCajiao/kani-weather-app-alert>

7. REFERENCIAS

1. Fondo de Población de las Naciones Unidas - Colombia. (2023). Riesgo de desastres y cambio climático. En *ASP Colombia 2023* (Cap. 3.9). UNFPA. https://colombia.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/3.9_riesgo_de_desastres.pdf
2. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2025). *Pronóstico de la amenaza por deslizamientos de tierra* (Boletín de Alerta por Pronóstico de la Amenaza N.º 210). IDEAM. https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2025-07-29/210_badt_julio_29_2025.pdf
3. World Meteorological Organization. (2021). *Guidelines on multi-hazard impact-based forecast and warning services. Part II: Putting multi-hazard IBFWS into practice* (WMO-No. 1150). WMO. <https://library.wmo.int/records/item/57739-wmo-guidelines-on-multi-hazard-impact-based-forecast-and-warning-services>
4. Red Cross Red Crescent Climate Centre, & UK Met Office. (2021). *The future of forecasts: Impact-based forecasting for early action* (3rd ed.). Anticipation Hub. https://www.anticipation-hub.org/Documents/Manuals_and_Guidelines/RCCC_Impact_based_forecasting_Guide_2021-3.pdf
5. Regional Integrated Multi-hazard Early Warning System. (2023). *Impact based forecasting* (South Asia Hydromet Forum, SAHF Working Paper 3). RIMES. https://www.sahf.info/wp-content/uploads/2023/03/SAHF_Working-Paper_3_Impact-based-Forecasting.pdf
6. Kooshki Forooshani, M., van den Homberg, M. J. C., Kalimeri, K., Kaltenbrunner, A., Mejova, Y., Milano, L., Ndirangu, P., Paolotti, D., Teklesadik, A., & Turner, M. L. (2024). Towards a global impact-based forecasting model for tropical cyclones. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 24(1), 309-329. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-309-2024>
7. Gonçalves Gonzalez, F. C., do C. Reis Cavalcanti, M., Nahas Ribeiro, W., Barreto de Mendonça, M., & Naked Haddad, A. (2023). A systematic review on rainfall thresholds for landslides occurrence. *Heliyon*, 10(1), Artículo e23247. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23247>

8. Dou, H., Chang, J., Zhao, B., Wang, G., Wang, Y., & Liu, S. (2023). Rainfall early warning threshold and its spatial distribution under dynamic rainfall index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 116, Artículo 103195. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103195>
9. Marín, R. J., & Marín-Sánchez, J. C. (2024). LandScient_EWS: Real-time monitoring of rainfall thresholds for landslide early warning - A case study in the Colombian Andes. *Journal of Engineering Geology*, 34(2), 173-191. <https://doi.org/10.9720/kseg.2024.2.173>