

Predecir el futuro ahora: cómo el proyecto ANDeL promueve las alertas tempranas con aprendizaje profundo

Por Jeffrey N. A. Aryee, Samuel K. Afful y el equipo de ANDeL, Universidad de Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah (Ghana)

“Se acerca una tormenta.”

En muchas partes del mundo, estas palabras están respaldadas por sofisticados barridos de radar, modelos predictivos y medidas inmediatas. Sin embargo, en gran parte del Sur Global, como África Occidental, el mensaje llega demasiado tarde o no llega en absoluto.

La velocidad a la que se suceden los peligros meteorológicos actuales (tormentas de rápida evolución, crecidas repentinas y relámpagos intensos) exige pronósticos que se prevean con apenas unas horas de antelación, lo que se conoce como predicción inmediata, con exactitud y pertinencia. No obstante, muchas de las regiones más afectadas por los fenómenos climáticos extremos son también las que menos acceso tienen a los datos y sistemas de alta resolución

necesarios para realizar esas predicciones a corto plazo. El proyecto ANDeL (avances en la predicción inmediata con técnicas de aprendizaje profundo) tiene la misión de cambiar progresivamente esta descripción.

ANDeL, desarrollado teniendo en cuenta las necesidades de los organismos de predicción con recursos limitados y las comunidades vulnerables, aprovecha los datos satelitales y la inteligencia artificial (IA) para generar pronósticos rápidos y fiables para las próximas horas. Más importante aún, el proyecto de investigación ANDeL tiene como objetivo cerrar la brecha entre la ciencia de vanguardia y las comunidades que más la necesitan. Cabe destacar que sus creadores son científicos africanos que entienden de primera mano la urgencia y el valor de contar con esas herramientas adaptadas a las realidades de la región.



Familias vadean las aguas de la inundación para acceder a un punto de agua en un campamento para desplazados internos en Dikwa, en el estado de Borno, en el noreste de Nigeria (foto: ACNUR).



Un aguacero en Accra (Ghana) expone la vulnerabilidad de la ciudad a las crecidas (foto: Graphic Online).

Los proyectos patrocinados por el Programa Mundial de Investigación Meteorológica (WWRP) de la OMM, como ANDeL, representan un cambio crucial en la forma de impartir la meteorología, que es inclusiva, adaptable y está diseñada para actuar en consonancia con los objetivos de la iniciativa Alertas Tempranas para Todos.

La brecha de las alertas: un desafío mundial

A pesar de los enormes avances logrados en la predicción meteorológica y climática en las últimas décadas, miles de millones de personas siguen sin tener acceso a alertas oportunas y precisas de peligros inminentes. Los fenómenos meteorológicos de corto plazo y de fuerte impacto, como las tormentas de lluvia localizadas o los relámpagos intensos, a menudo se forman con demasiada rapidez como para que los modelos de predicción tradicionales puedan capturarlos. En muchos países en desarrollo, donde la cobertura de radar es limitada o inexistente, este desafío es aún más pronunciado.

Estas deficiencias en materia de datos e infraestructura se traducen en vulnerabilidad. Las crecidas urbanas destruyen mercados y viviendas. Sin previo aviso, las tormentas golpean a agricultores y niños en edad escolar. Las redes eléctricas y los servicios de salud se ven interrumpidos y no hay tiempo para prepararse. No es solo un asunto técnico, es una cuestión de equidad. Las comunidades que menos contribuyen al cambio climático suelen ser las que más sufren sus efectos inmediatos y las que carecen de las herramientas necesarias para adoptar medidas de respuesta. Este es el contexto en el que nació el proyecto ANDeL.

De los modelos tradicionales a la predicción inteligente

Durante años, la predicción meteorológica en países como Ghana se ha basado en modelos físicos. El modelo de investigación y predicción meteorológicas (WRF) y WAVEWATCH III siguen siendo herramientas esenciales utilizadas por el Servicio Meteorológico de Ghana (GMet) [1], pero la velocidad y la complejidad de los fenómenos meteorológicos extremos provocados por el clima exigen sistemas de predicción más adaptables y con mayor capacidad de respuesta, más rápidos, con formación local y más adecuados para aplicaciones en tiempo real. Aquí es donde entra en escena el aprendizaje profundo.

A diferencia de los modelos tradicionales que se basan en gran medida en la física y las condiciones de contorno, los algoritmos de aprendizaje profundo pueden procesar volúmenes masivos de datos para descubrir patrones sutiles y no lineales en la atmósfera. Funcionan con rapidez y mejoran continuamente con más datos, lo que los hace ideales para la predicción inmediata.

Creación del modelo ANDeL que entiende África Occidental

En el marco del proyecto ANDeL, un equipo de científicos africanos trabaja para diseñar un modelo de aprendizaje profundo específicamente entrenado para la predicción de precipitaciones a corto plazo en África Occidental. El modelo utiliza el conjunto de datos [IMERG](#) (recuperaciones integradas de múltiples satélites para la medición de la precipitación mundial) como entrada principal, basándose en patrones de precipitación históricos y en tiempo real.

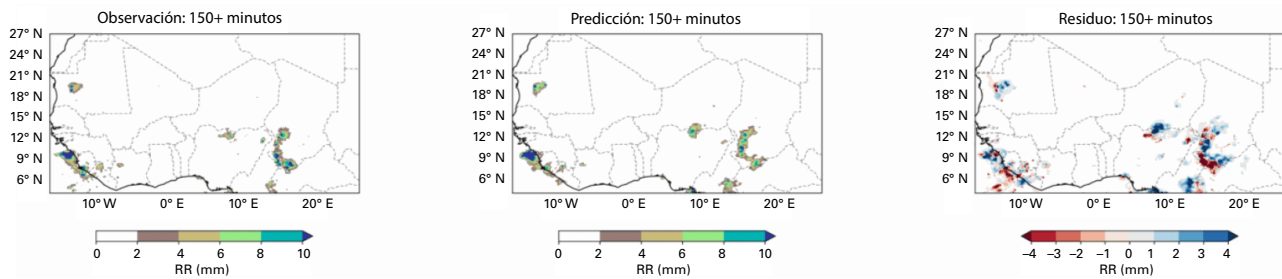


Figura 1. Mejora de la predicción inmediata de ANDeL con un período de anticipación de hasta T+150 minutos. Los gráficos muestran (de izquierda a derecha) el campo de precipitación observado, la predicción del modelo y el residuo (predicción menos observación).

En el corazón de la arquitectura del modelo de ANDeL se encuentra una arquitectura de memoria convolucional larga a corto plazo (ConvLSTM) [2] integrada con una capa convolucional 3D [3]. La ConvLSTM refleja cómo evolucionan los sistemas meteorológicos a lo largo del tiempo, mientras que la capa convolucional 3D extrae características espaciales que ayudan al modelo a “ver” cómo se forman, se mueven y se intensifican las células de tormenta. Juntas, forman un sistema que está en sintonía con la compleja dinámica de las precipitaciones de la región, capaz de generar predicciones rápidas que son útiles tanto a nivel de ciudad como de distrito.

Medición de lo que importa:
exactitud y utilidad de las predicciones

Para probar el desempeño del modelo, ANDeL se evaluó utilizando parámetros determinísticos y probabilísticos, que incluyen comparaciones punto por punto de las precipitaciones previstas con las reales, así como estimaciones de la probabilidad de lluvias por encima de umbrales

claves (por ejemplo, precipitaciones moderadas o intensas).

El modelo es capaz de reproducir las principales características espaciales de los episodios de precipitación (figura 1), con inclusión de la ubicación, la intensidad y el movimiento, en diversas zonas ecológicas de África Occidental. Si bien hay distorsiones ocasionales en las células localizadas, los campos de precipitación generales se ajustan bien a las pautas observadas. Los parámetros de desempeño, como la probabilidad de detección y el índice de éxito crítico, generalmente disminuyen durante periodos de anticipación sucesivos hasta 150 minutos (figura 2). De manera similar, el coeficiente de determinación (R^2) muestra características decrecientes, junto con un aumento del error cuadrático medio.

Con una mayor confianza en dónde y cuándo pueden ocurrir lluvias intensas, los planificadores urbanos pueden preparar las áreas propensas a crecidas, los servicios de emergencia pueden preposicionar los recursos de socorro y las

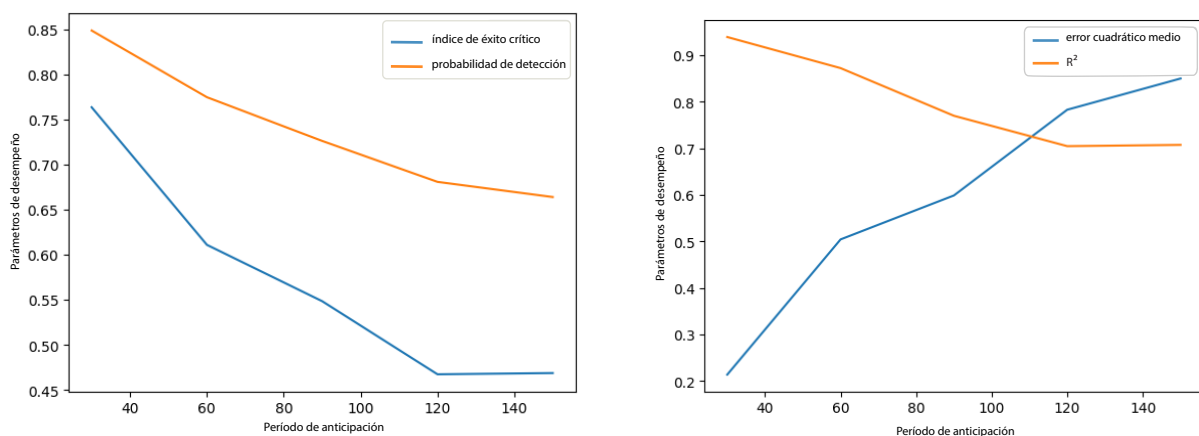


Figura 2. Evaluación de desempeño del modelo de ANDeL en comparación con las observaciones. Los parámetros de evaluación incluyen el índice de éxito crítico y la probabilidad de detección en el gráfico izquierdo y el error cuadrático medio y el coeficiente de determinación (R^2) en el gráfico derecho.

escuelas pueden tomar decisiones fundamentadas sobre el cierre. En resumen, las personas pueden actuar.

Desarrollar talento, crear resiliencia

Igualmente importante para la misión de ANDeL es la creación de capacidad. A través de talleres de formación práctica, mentorías y apoyo a la investigación, el proyecto ha creado oportunidades para que los estudiantes de posgrado y los científicos noveles africanos aprendan habilidades de vanguardia en inteligencia artificial e informática climática. Varios estudiantes de posgrado ya están contribuyendo al desarrollo y análisis del modelo de ANDeL, y una creciente comunidad de expertos formados localmente se está equipando de manera progresiva para contribuir a la agenda de resiliencia climática de África. El énfasis del proyecto en la implicación local y la sostenibilidad garantiza que los conocimientos especializados permanezcan donde más se necesitan.

En camino de Alertas Tempranas para Todos

Para ANDeL, el valor de una predicción reside en su exactitud y utilidad. Por ese motivo, desde sus inicios, ANDeL se ha centrado en la operacionalización del proyecto. Se prevé que el rápido crecimiento de la propiedad de teléfonos inteligentes y la conectividad a Internet en África pondrán las predicciones inmediatas de ANDeL en manos de la mayoría de la población del continente a corto y mediano plazo. Esta accesibilidad significa que los mapas meteorológicos en tiempo real y los análisis predictivos se pueden entregar directamente a los usuarios, lo que contribuye a la adopción oportuna de decisiones. Por lo tanto, ANDeL ofrece una vista previa del futuro africano en el que las herramientas meteorológicas basadas en IA están hechas para satisfacer necesidades reales en tiempo real.

La ambición detrás de ANDeL se alinea directamente con la iniciativa global de las Naciones Unidas de Alertas Tempranas para Todos, un llamamiento a velar por que todas las personas de la Tierra estén protegidas mediante alertas oportunas y precisas de aquí a 2027. La consecución de esa meta requiere algo más que mejorar la infraestructura. Significa reinventar

los sistemas de predicción de modo que sean más rápidos, más justos y más cercanos a las personas a las que prestan servicios.

ANDeL muestra cómo se puede hacer esto: adoptando los datos abiertos y la ciencia abierta, integrando la IA para superar las limitaciones tradicionales y poniendo en el centro a las comunidades en cada paso del proceso de diseño. El futuro de la predicción es global y se construye a partir de la innovación mundial basada en las realidades locales.

De cara al futuro

Durante el próximo año, el proyecto ANDeL pretende expandirse por toda África Occidental, incorporando datos más localizados, mejorando sus capacidades probabilísticas y vinculando sus resultados con herramientas de apoyo a la toma de decisiones utilizadas en la gestión socioeconómica. Se ha previsto que el sistema sea de código abierto, a fin de fomentar la adaptación de otras regiones vulnerables a los peligros de rápida irrupción.

En el marco del proyecto también se analiza la manera de integrar la ciencia ciudadana y las observaciones comunitarias de modo que las comunidades no solo reciban alertas tempranas, sino que participen en su generación.

Referencias

- Ghana Meteorological Agency, "Numerical Weather Prediction." Accessed Sep. 2, 2025. [Online]. Available: <https://www.meteo.gov.gh/Services/numerical-weather-prediction/>.
- X. Shi, Z. Chen, H. Wang, D.-Y. Yeung, W.-K. Wong, and W. Woo, "Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting," in *Advances in Neural Information Processing Systems 28 (NeurIPS 2015)*, Montreal, QC, Canada, 2015. [Online] Available: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2015/hash/07563a3fe3bbe7e3ba84431ad9d055af-Abstract.html>.
- Ji, S., Xu, W., Yang, M., & Yu, K. (2013). 3D Convolutional Neural Networks for Human Action Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(1), 221–231. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2012.59>.