

Evaluación y desafíos en el pronóstico de olas de calor como precursoras de Sequías de Rápido Desarrollo en el sur de Sudamérica

Spennemann, Pablo^{1,2}, Lucia Castro³, Lucas Kucheruck¹, Juan Rivera⁴, Alejandro Godoy⁵, Mercedes Salvia⁶, Peretti, Mercedes⁷, Emilia Figueiras^{1,7}, Felix Carrasco Galleguillos⁸, Marisol Osman⁹ y Maria de los Milagros Skansi⁵

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Dorrego 4019, CABA, Argentina.

²Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF), Mosconi 2736, Sáenz Peña, Buenos Aires, Argentina.

³Investigadora independiente

⁴Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET), Mendoza, Argentina

⁵Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Dorrego 4019, CABA, Argentina.

⁶Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) - Grupo de Teledetección Cuantitativa, Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, UBA/CONICET), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

⁷Facultad de Agronomía, Departamento de Recursos Naturales y Ambiente, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, C1417DSE Buenos Aires, Argentina.

⁸Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA), SAGyP, Av. Paseo Colón 982, CABA Argentina

⁹Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). CNRS-IRD-CONICET-UBA, Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL3351 IFAECI), Buenos Aires, Argentina.

p.spennemann@gmail.com

Resumen. Las sequías de rápido desarrollo (SRD) son un tipo particular de sequía que se desarrolla repentinamente, pudiendo generar impactos significativos en el sector agrícola. Si bien las sequías en general son desastres de evolución lenta, con efectos de gran extensión espacial y larga duración, las SRD se caracterizan por un rápido agotamiento de la humedad del suelo, provocado por una combinación de déficit de precipitación, olas de calor y baja humedad atmosférica. A pesar de su importancia, el conocimiento sobre las SRD sigue siendo limitado, desde su detección y caracterización hasta el desarrollo de indicadores de monitoreo y herramientas de pronóstico. Aunque el Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA) ha avanzado en el monitoreo, el pronóstico de las SRD y de las olas de calor, siguen siendo un gran desafío debido a la escala temporal en la que se

desarrollan y su baja frecuencia de ocurrencia, dificultando ciertos enfoques de machine learning. Este estudio busca evaluar la predictibilidad de eventos de ola de calor y SRD mediante el uso del Extreme Forecast Index (EFI) del modelo por ensambles del ECMWF y del Artificial Intelligence Forecast System (AIFS). Por otro lado, se analizará la utilización de regresiones logísticas univariada/multivariada a variables atmosféricas y del suelo de los reanálisis del ERA5-Land para estimar la probabilidad de ocurrencia de SRD.

Palabras clave: Pronóstico, Olas de calor, Sequías de Rápido Desarrollo, Machine Learning, Extreme Forecast Index

Assessment and challenges in Forecasting heatwaves as a precursor of Flash Droughts in Southern South America

Abstract. Flash droughts (FDs) are a particular type of drought that develops rapidly and causes significant impacts, especially in the agricultural sector. While droughts in general are slow-evolving disasters with broad spatial extent and long duration, FDs are characterized by a fast depletion of soil moisture, triggered by a combination of precipitation deficits, heatwaves, and low atmospheric humidity. Despite their importance, knowledge about FDs remains limited—from their detection and characterization to the development of monitoring indicators and forecasting tools. Although the South American Drought Information System (SISSA) has made progress in monitoring, forecasting FDs and heat waves remains a major challenge due to the temporal scale at which they develop and their low frequency of occurrence, making certain machine learning approaches difficult to apply. This study aims to assess the predictability of heat wave and FD events through the use of the Extreme Forecast Index (EFI) from the ECMWF ensemble model and the Artificial Intelligence Forecast System (AIFS). Additionally, the study will analyze the application of univariate and multivariate logistic regressions to atmospheric and soil variables from the ERA5-Land reanalysis to estimate the probability of FD occurrence.

Keywords: Forecast, Heatwave, Flash Drought, Machine Learning, Extreme Forecast Index

1 Introducción

Las sequías de rápido desarrollo (SRD) se caracterizan por un marcado agotamiento de la humedad del suelo, y pueden estar vinculadas a olas de calor previas y/o posteriores

(Kucheruk et al., 2024). En un contexto de aumento en la frecuencia de eventos de olas de calor en Argentina (Herrera, 2024), una mejora en los pronósticos de las SRD y sus forzantes revisten gran importancia para mitigar sus impactos. Pero debido a la escala temporal en la que se desarrollan las SRD (1 a 4 semanas), en la cual la predictibilidad de los modelos dinámicos disminuye considerablemente, y a que son fenómenos infrecuentes, presenta grandes desafíos metodológicos. Por ejemplo, el desbalance muestral para poder asociar predictores a estos eventos. Sin embargo, la combinación de metodologías estadísticas con modelos dinámicos y por otro lado el Artificial Intelligence Forecasting System (AIFS) del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) (Lang et al., 2024) muestran resultados prometedores en el pronósticos de los precursores de las SRD.

2 Datos y Metodología

Se utilizarán los pronósticos dinámicos del ECMWF medium y extended, pronósticos del AIFS, registros de olas de calor del Servicio Meteorológico Nacional, y humedad del suelo del reanálisis ERA-5 Land para identificar las SRD. En una primera instancia se aplicará el Extreme Forecast Index (EFI) de temperatura a 2m que permite. El EFI pronosticar eventos meteorológicos potencialmente extremos a distintas escalas temporales, mediante la comparación entre el ensamble de pronósticos y la climatología histórica del mismo modelo de pronóstico para un mismo lugar y época del año. Luego se analizará el posible desarrollo de SRD en base al criterio de Otkin et al (2018). Este criterio utiliza como variable los percentiles de humedad del suelo (0-100cm) y supone que debe haber una disminución de al menos 15 percentiles en un periodo de 10 pétandas (5 días) previo al inicio de la sequía (humedad del suelo < percentil 20) y una duración mínima de al menos 4 pétandas. Y también si las condiciones pronosticadas por el EFI se condicen con la definición de ola de calor: temperatura máxima y mínima de un lugar superior al percentil 90 por al menos 3 días consecutivos (Herrera, 2024). Por último, se discutirá el potencial del AIFS que se basa en un codificador y decodificador de redes neuronales gráficas (GNN) entrenado con el reanálisis y análisis operativos de predicción numérica del tiempo del ECMWF.

3 Resultados preliminares y trabajo futuro

Entre el 21 de enero y el 12 de febrero de 2024 se desarrolló una intensa ola de calor sobre el centro de Argentina. Varias localidades superaron su récord previo de temperatura máxima diaria durante este prolongado período de ola de calor. La Fig. 1a muestra el EFI de la temperatura media semanal a 2 metros para la primera semana del evento de ola de calor, del 23 al 29 de enero de 2024. Una semana antes del evento, los valores pronosticados de EFI eran superiores a 0.5 en el centro y noroeste de Argentina, mientras que eran negativos en el noreste. La mayoría de las estaciones que alcanzaron condiciones de ola de calor (Fig. 1b) durante la semana analizada se encuentran dentro del área con EFI medio semanal de temperatura a 2 metros superior a 0.5. Dos semanas antes del evento, los valores de EFI también fueron positivos, por encima de 0.3 en el

centro y noroeste de Argentina. En términos generales, el EFI del ECMWF mostró buena predictibilidad de este evento de ola de calor. En base a estudios previos, resaltando el rol de las olas de calor en el desarrollo de SRD en Argentina (Kucheruk et al., 2024), se analizará en detalle el desarrollo o no de SRD para este evento de ola de calor. Por otro lado, dado que el AIFS está disponible desde febrero de 2025, se evaluarán eventos de olas de calor más recientes para comparar con los pronósticos del EFI basado en el modelo dinámico. El AIFS muestra buenos resultados comparado con el modelo dinámico del ECMWF. Por último, se comenzarán a analizar las variables predictoras de estos eventos, ya sea índices de circulación atmosférica, como el rol de las condiciones locales en amplificar estos eventos extremos.

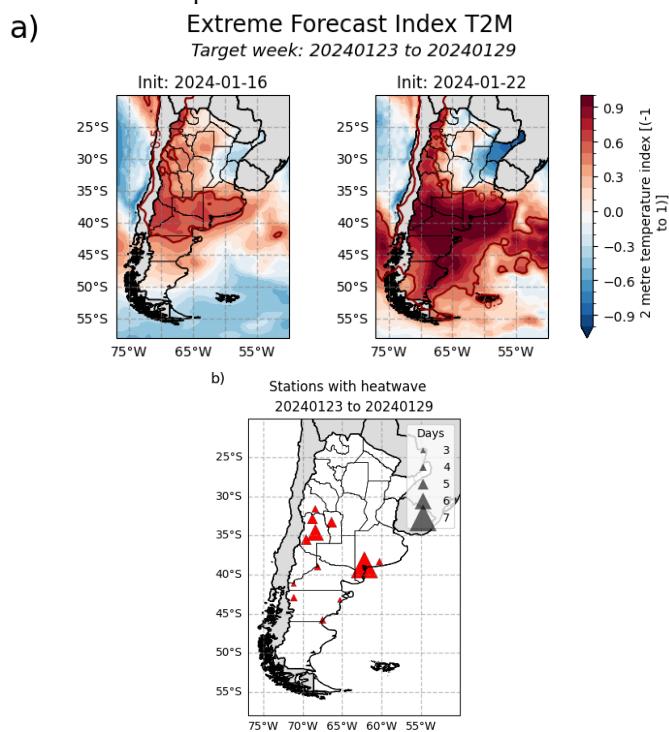


Fig 1. a) Índice de Pronóstico Extremo (EFI) de la temperatura media a 2 metros para la semana objetivo, inicializado un día (panel derecho) u ocho días (panel izquierdo) antes del comienzo del evento. La línea de contorno roja indica las áreas con valores superiores a 0.5. b) Estaciones observadas que cumplen con los criterios de evento de ola de calor durante esa semana.

Referencias

Herrera, N (2024). Climatología de las Olas de Calor en Argentina en el período 1961/62-2022/23. Nota Técnica SMN 2024-165

- Kucheruk L., Spennemann P. C. , Rivera J., Naumann G., y Otkin, J. (2024). Olas de calor récord del verano 2023 y su rol en el desarrollo de Sequías de Rápido Desarrollo en la Pampa Húmeda Argentina. Reporte especial SISSA: <https://sissa.crc-sas.org/wp-content/uploads/2024/05/IT-Olas-de-calor.pdf>
- Lang, S., Alexe, M., Clare, M. C. A., Martin, M., Leutbecher, M., Roberts, C., Magnusson, L., Chantry, M., Adewoyin, R., Prieto-Nemesio, A., Dramsch, J., Pinault, F., & Raoult, B. (2024). Data-driven ensemble forecasting with the AIFS. *ECMWF Newsletter*, (181), 32–37. <https://doi.org/10.21957/ma3p95hxe2>
- Otkin, J. A., Zhong, Y., Hunt, E. D., Christian, J. I., Basara, J. B., Nguyen, H., Wheeler, M. C., Ford, T. W., Hoell, A., Svoboda, M., & Anderson, M. C. (2021). Development of a Flash Drought Intensity Index. *Atmosphere*, 12(6), 741. <https://doi.org/10.3390/atmos12060741>