

# ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN EXTREMA DIARIA: ESTIMACIÓN DE PERCENTILES Y REGIONALIZACIÓN DE ÍNDICES EN ARGENTINA SUBTROPICAL

Lorenzo Ricetti<sup>1,2</sup>, Santiago I. Hurtado<sup>2</sup>, Eduardo Agosta Scarel<sup>3,4</sup>, Pablo G. Zaninelli<sup>5</sup>  
[lricetti@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:lricetti@fcaglp.unlp.edu.ar) Autor/a correspondiente.

1 Grupo de investigación en Clima, Variabilidad y Extremos (CLAVE), Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP), La Plata, Buenos Aires, Argentina

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

3 Climate Change Research and Advice. Laudato Si' Movement, Roma, Italia

4 Climate Change and Sustainability Section, Carmelite NGO, New Orleans, USA

5 Instituto de Geociencias (IGEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

**Palabras clave:** Índices extremos, Agrupamiento, Aprendizaje no supervisado

## 1) INTRODUCCIÓN

La caracterización de la precipitación extrema es esencial en el contexto del cambio climático, especialmente en países en desarrollo donde las consecuencias de estos eventos son mayores. En estas regiones, la infraestructura suele ser más vulnerable, los sistemas de alerta temprana son limitados y la capacidad de respuesta ante desastres naturales es reducida, lo que incrementa significativamente el riesgo de impactos socioeconómicos graves. Una adecuada caracterización de la precipitación extrema permite no solo mejorar la planificación y gestión del riesgo, sino también desarrollar políticas de adaptación más eficaces y equitativas.

Estos eventos suelen ser estudiados a partir de índices derivados de registros diarios, los cuales pueden clasificarse en dos grandes grupos: índices basados en el marco teórico *block maxima*, y aquellos construidos en base a registros superando un umbral específico. Este umbral suele corresponder con percentiles altos de la distribución de precipitación, como el 90, 95 y 99. A pesar de la frecuencia con que se encuentran estos índices en la literatura, no existe un consenso acerca del método más exacto para la estimación de estos percentiles poblacionales desconocidos (Ricetti et al., 2025a). Más aún, a menudo este aspecto no es especificado en los trabajos.

Otro aspecto de gran relevancia en la caracterización de los eventos extremos de precipitación es su regionalización. La misma busca definir regiones o grupos con comportamiento coherente en términos espacio-temporales. Esta tarea suele realizarse a través de métodos de reducción de dimensionalidad como PCA y métodos de aprendizaje automático no supervisado como K-means o Ward (Ricetti et al., 2025b). Estos algoritmos parten de la premisa que todos los elementos pueden ser regionalizados, lo cual podría no cumplirse en el caso de la precipitación extrema dada su naturaleza local.

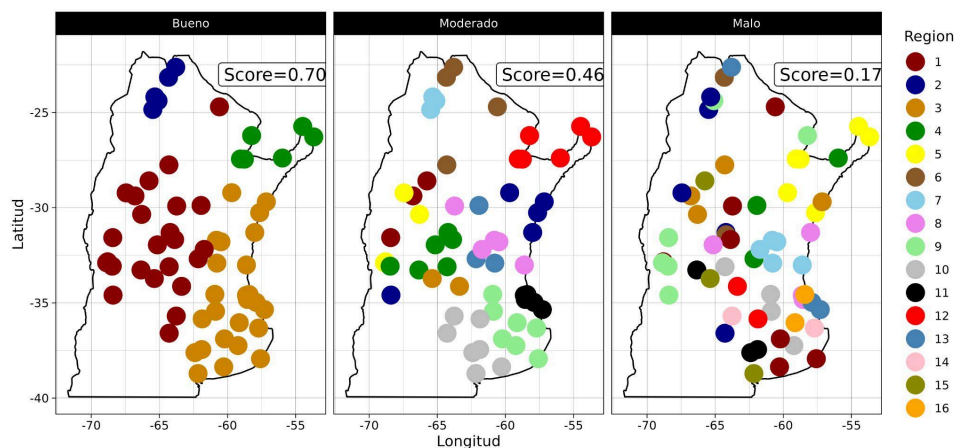
Este trabajo aborda dos aspectos centrales en el estudio de la precipitación extrema diaria i) la determinación óptima de los percentiles utilizados como umbrales para definir estos eventos, y ii) La viabilidad de la regionalización de la precipitación extrema y los métodos más adecuados para tal fin. Para abordar el último punto se utilizó el caso de estudio de Argentina

Subtropical (ArST), un *hotspot* de precipitación extrema a nivel global.

## 2) DATOS Y METODOLOGÍA

Para evaluar la estimación de los percentiles, se simularon 1000 series de precipitación diaria de 30 años de longitud de 5 climas distintos. Luego, se estimaron los percentiles considerando diferentes aspectos y métodos, para luego evaluar su desempeño a partir de métricas conocidas de error. Se estimaron tres percentiles distintos (90, 95 y 99) considerando distribuciones de días húmedos y de todos los días. También se evaluaron métodos considerando solo la distribución del día a estimar o tomando ventanas móviles centradas. Por último, se consideró un post-proceso con varios métodos de suavizado temporal.

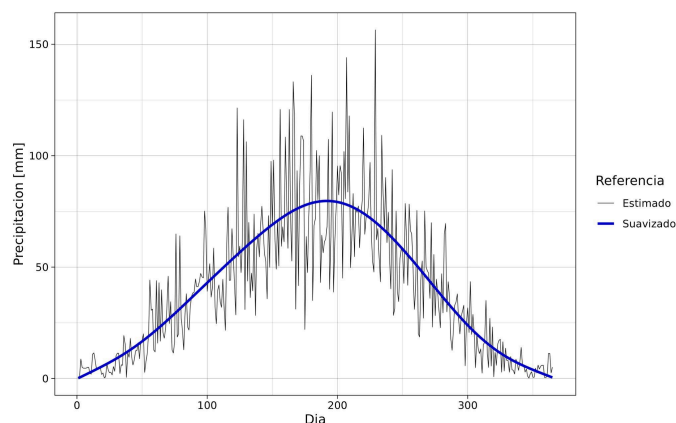
Para el análisis de la regionalización de la precipitación extrema, se estimaron tres índices trimestrales basados en percentiles –Acumulado, Frecuencia y DIER– considerando tres percentiles distintos –P90, P95 y P99– y dos usando el marco *Block maxima*: BM1 y BM5. Estos índices fueron regionalizados utilizando los dos métodos más utilizados en la literatura – k-means y Ward– junto con un método stepwise basado en la correlación de las series (HAZ, en adelante), propuesto por Hurtado et al. (2023). Luego se evaluó la coherencia temporal de los clusters definidos a partir de la correlación de Pearson y la coherencia espacial con una métrica construida ad hoc (Figura 1).



**Figura 1.** Ejemplos de regionalizaciones con coherencia espacial buena (panel izquierdo), moderada (panel central) y mala (panel derecho). Valor del score espacial en el interior de cada panel.

## 3) RESULTADOS

En la estimación de percentiles, la inclusión de ventanas móviles superó sistemáticamente los métodos que consideran solo el día a estimar. Asimismo, la inclusión de un método de suavizado temporal mejoró considerablemente la estimación del percentil real, sin importar el desempeño del método (Figura 2). En particular, el suavizado con modelos aditivos generalizados (GAM) mostró el mejor desempeño entre los considerados. Asimismo, cuanto más restrictiva sea la definición de extremo (mayor el percentil considerado), mayores fueron los errores que se cometieron al estimar el percentil real. Por último, no existieron grandes diferencias en los errores entre considerar distribuciones de días húmedos o no hacerlo.



**Figura 2.** Estimación del ciclo anual del percentil 90 en una simulación de ArST considerando la distribución empírica de días húmedos del día a estimar y su suavizado temporal usando GAM (línea azul).

Respecto a la regionalización, en general los algoritmos de aprendizaje automático no supervisados mostraron una pobre coherencia espacio-temporal. En ese sentido, aquellas con buena coherencia espacial mostraron baja coherencia temporal y viceversa. El método HAZ, superó considerablemente a los métodos convencionales, alcanzando sistemáticamente regiones con buena coherencia espacio-temporal. Asimismo, los índices de intensidad de la precipitación extrema DIER y BM1 mostraron no poder ser regionalizados en ninguna temporada, indicando así un comportamiento local de la intensidad de estos eventos en ArST.

#### 4) CONCLUSIONES

Este trabajo abordó dos aspectos metodológicos en la caracterización de la precipitación extrema: la correcta estimación de los percentiles utilizados como umbrales para definirla, y la metodología más adecuada para regionalizar los índices de precipitación extrema en ArST. Para el cálculo de los percentiles se encontró que la estimación más óptima consiste en dos etapas. Primero, la estimación del percentil utilizando la distribución empírica usando ventanas móviles centradas en el día a estimar. Luego, la aplicación de un método de suavizado temporal, siendo GAM el que mostró mejores resultados. Por otro lado, para regionalizar los distintos índices de precipitación extrema, el método HAZ superó considerablemente los algoritmos no supervisados, generando regiones con buena coherencia espacio-temporal. Estos resultados enfatizan la importancia que tiene el posprocesamiento de las regiones obtenidas con algoritmos de inteligencia artificial.

#### REFERENCIAS

Hurtado, S. I., Agosta, E. A., & Zaninelli, P. G. (2023). Monthly variations of forcing mechanisms of austral summer precipitation in subtropical Argentina. *Atmospheric Research*, 285, 106609.

Ricetti, L., Hurtado, S. I., Zaninelli, P. G., & Agosta, E. A. (2025a). Determining the percentile threshold of daily extreme precipitation, methods evaluation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-16.

Ricetti, L., Hurtado, S. I., & Scarel, E. A. (2025b). On the spatio-temporal coherence of extreme precipitation indices in subtropical Argentina. *Atmospheric Research*, 320, 108082.