

# OLAS DE CALOR REGIONALES EN EL SUR DE SUDAMÉRICA: CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA Y ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL

Suli Solange<sup>1,2</sup>, Barriopedro David<sup>3</sup>, García-Herrera Ricardo<sup>3,4</sup>, Rusticucci Matilde<sup>1,2</sup>  
[ssuli@at.fcen.uba.ar](mailto:ssuli@at.fcen.uba.ar). Solange Suli.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA), Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Instituto de Geociencias (IGEO, CSIC-UCM), Madrid, España

<sup>4</sup> Universidad Complutense de Madrid (UCM), Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Madrid, España

**Palabras clave:** extremos de temperatura, regionalización, métricas.

## 1) INTRODUCCIÓN

Las olas de calor (OCs) pueden causar grandes impactos socioeconómicos y ambientales (Barriopedro et al., 2011; Anderson & Bell, 2011; Rusticucci et al., 2016) y se han vuelto más intensas y frecuentes en la mayoría de las regiones terrestres desde la década de 1950. Además, seguirán aumentando en el futuro incluso si el calentamiento global se estabiliza en 1,5°C (IPCC, 2021). Estudios previos han demostrado aumentos significativos en la frecuencia de OCs para varias regiones de América del Sur (Barros et al., 2015). En particular, se encontraron aumentos en la intensidad y frecuencia de los extremos cálidos en el suroeste y sureste del sur de Sudamérica (SSA) (Dereczynski et al., 2020; Dunn et al., 2020; Olmo & Bettolli, 2022). Por lo tanto, como los futuros aumentos en la frecuencia de OCs parecen ser inevitables y presentan un desafío considerable para la región, este trabajo propone una mejor comprensión de estos eventos extremos a escala regional, mediante la caracterización de los mismo en distintas subregiones.

## 2) DATOS

Para el siguiente trabajo, se emplearon datos de temperatura máxima diaria (TX) de 137 estaciones meteorológicas del SSA (18° S a 60° S de latitud y 80° W a 40° W de longitud) durante la temporada cálida (TC, octubre - marzo) del período 1977 - 2018. Los datos fueron proporcionados por los Servicios Meteorológicos Nacionales de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay, el Centro de Investigación en Clima y Resiliencia de Chile y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina. Además, se utilizó el software R-Climdex (disponible gratuitamente en: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>) para realizar un control de calidad de cada estación y se descartaron aquellas estaciones con más del 20% de datos faltantes (Fig. 1).

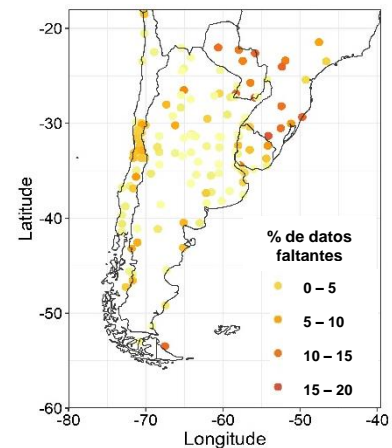


Figura 1: porcentaje de datos faltantes para cada estación meteorológica durante las TCs del período 1977 – 2018.

## 3) METODOLOGÍA

En este estudio, se definió a un evento de OC como un periodo de al menos tres días consecutivos (durante TC) con TX diaria superior al percentil 90 (Pc90) (TX90) del periodo 1981 - 2010, calculado a partir de ventanas móviles de 15 días centradas en cada día calendario. Esta definición se aplicó en todas las estaciones meteorológicas para detectar eventos de OC locales. El conjunto de días que comprendían un evento de OC se denominaron días de OC

locales (d\_OC, en adelante).

Dado que el SSA comprende una gran variedad de climas, se aplicó el método de agrupación jerárquica de Ward (Ward, 1963) a los d\_OC para identificar regiones espacialmente coherentes basadas en la identificación de estaciones con alta co-ocurrencia de OC locales. Para cada región identificada, se definieron como OCs regionales aquellos eventos en que al menos el 40% de las estaciones de la región considerada registraran simultáneamente d\_OC locales y esta condición persistía durante al menos tres días consecutivos. Luego, se obtuvo un catálogo de OCs regionales para cada región. Estos eventos se caracterizaron mediante un conjunto de métricas que describen sus atributos generales, incluyendo la duración (OCD), la extensión (OCE, es decir, el porcentaje medio de estaciones que experimentan condiciones locales de OC durante la duración del evento) y la intensidad regional (OCI). Esta última se define como la anomalía media espacial de TX sobre todas las estaciones de la región, promediada para todos los d\_OC regionales, y mide la gravedad media del evento a escala regional. También se calculó una métrica integrada, denominada magnitud (OCM), como la superación local de TX (es decir, la diferencia de TX y Pc90) acumulada para todas las estaciones meteorológicas con condiciones locales de OC y para todos los días del evento regional, resumiendo así los aspectos previamente mencionados (intensidad local, extensión y duración) en una sola métrica. Esta última métrica se empleó para ordenar los eventos regionales de una misma región.

#### 4) RESULTADOS

Para la regionalización de eventos de OC se consideró la metodología de agrupamiento de estaciones con alta co-ocurrencia de OCs simultáneas, como así también las características regionales y regímenes climáticos de la región (Prohaska, 1976). En consecuencia, se identificaron cinco regiones climatológicamente homogéneas (ver Figura 2). Esta regionalización es coherente, aunque más detallada, con las tres regiones del SSA consideradas por Iturbide et al. (2020) para las regiones de referencia climática actualizadas del IPCC. A diferencia de estudios previos (por ejemplo, Olmo & Bettolli, 2021), nuestra regionalización se centra únicamente en el comportamiento espacio-temporal de la temperatura extrema y, por lo tanto, se espera que genere una mejor caracterización de los eventos regionales de OCs.

En relación al ranking de OCs regionales, se identificaron un total de 169 eventos para las TCs durante el período de análisis y en tres de las cinco regiones consideradas (NS, CNCH y SS), el evento más severo (de mayor magnitud) se registró en el siglo XXI. La Tabla I proporciona las principales características de los eventos regionales para cada región, incluidos los valores medios y desviación estándar de las métricas regionales (OCD, OCE y OCI). El número máximo de eventos (49 OCs, es decir, el 29% del total de eventos) ocurre en SS. Aunque este resultado puede estar parcialmente influenciado por el número relativamente bajo de estaciones que comprenden esta región, no se evidenció esta relación (cantidad de estaciones – cantidad de eventos) en las demás regiones consideradas. Asimismo, todas las regiones presentan características similares (OCD y OCI promedio de  $\sim 4$  días y  $\geq 21$  ° C, respectivamente), excepto la región andina (CNCH), que se destaca por la menor duración ( $\sim 3$  días) e intensidad ( $\sim 10$  °C) de todos los eventos regionales. Esto puede deberse, probablemente, a la compleja

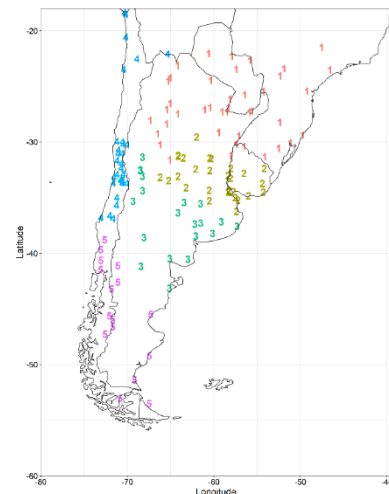


Figura 2: estaciones meteorológicas utilizadas sobre SSA durante TC de 1977–2018, subregionalizadas por colores y numeradas del 1 al 5: C1-norte de SSA (NS), C2-centro-este de SSA (CES), C3-centro de Argentina y norte de la Patagonia argentina (CA), C4-centro y norte de Chile (CNCH), C5-Patagonia argentina y centro y sur de Chile, sur de SSA (SS).

orografía (con presencia de estaciones con gran altitud), lo que hace extremadamente difícil la ocurrencia de una OC regional en esa área.

Además, la intensidad media de OCs está estrechamente relacionada con la extensión media de los eventos, es decir, un mayor porcentaje de estaciones con condición de OC local implica eventos más intensos.

Asimismo, se evaluaron los cambios a largo plazo en eventos extremos, a

partir del cálculo de las tendencias en la frecuencia de d\_OCs tanto a escala local (estaciones meteorológicas) como regional. La significancia se evaluó con un nivel del 5% mediante la prueba de Mann-Kendall. En general, la frecuencia de d\_OCs aumentó en todas las regiones durante 1977 – 2018. Sin embargo, solo se encontraron tendencias positivas significativas sobre CA ( $1,7 d\_OCs\ decada^{-1}$ ) y CNCH ( $0,8 d\_OCs\ decada^{-1}$ ). La tendencia hallada en esta última región (CNCH), está sustancialmente influenciada por las OCs del 2015. A diferencia de CA que muestra una marcada tendencia desde el inicio del período de estudio (no se muestra).

Cluster	Cantidad de estaciones	Cantidad de eventos	OCD promedio [días]	OCI promedio [°C]	OCE promedio [% de estaciones]
NS	42	27	4,63 ± 1,24	23,63 ± 8,55	53,94 ± 8,55
CES	29	42	4,00 ± 1,19	25,6 ± 9,16	62,65 ± 11,6
CA	20	40	3,72 ± 0,88	22,23 ± 6,61	53,87 ± 9,57
CNCH	30	11	3,27 ± 0,47	11,16 ± 3,28	45,96 ± 5,06
SS	16	49	3,84 ± 1,07	24,54 ± 6,96	57,59 ± 9,65

Tabla 1: descripción general de los eventos de OCs regionales en SSA. Se detallan la cantidad de estaciones, la cantidad de eventos, y las métricas medias consideradas (OCD, OCI y OCE).

## 5) CONCLUSIONES

En el presente trabajo se obtuvieron 5 regiones del SSA climáticamente homogéneas basadas en el agrupamiento de estaciones con alta co-ocurrencia de OCs locales. Posteriormente, se logró identificar OCs regionales y luego, obtener el primer catálogo de OCs regionales del SSA. En general, SS registró la mayor cantidad de eventos, CES tendió a mostrar OCs más intensas que las demás regiones y la región Andina (CNCH) se distinguió por la región con menor duración e intensidad de las OCs. Por último, se hallaron tendencias positivas y significativas de d\_OC sobre CA y CNCH.

## Agradecimientos

CONICET PIP0333, UBACyT 2018 20020170100357BA, i-COOP+2020 COOPA20440.

## REFERENCIAS

- Anderson, B. G., & Bell, M. L., 2009:** Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology* (Cambridge, Mass.), 20(2), 205.
- Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M., & García-Herrera, R., 2011:** The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, 332(6026), 220–224. <https://doi.org/10.1126/science.1201224>
- Barros, V. R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I. A., Chidiak, M., Magrín, G. O., & Rusticucci, M., 2015:** Climate change in Argentina: Trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(2), 151–169.
- Dereczynski, C., Chan Chou, S., Lyra, A., et al., 2020:** Downscaling of climate extremes over South America – Part I: Model evaluation in the reference climate. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100273.
- Dunn, R. J. H., Alexander, L. v., Donat, M. G., et al., 2020:** Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(16).
- IPCC, 2021:** Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate
- Olmo, M. E., & Bettolli, M. L., 2021:** Extreme daily precipitation in southern South America: statistical characterization and circulation types using observational datasets and regional climate models. *Climate Dynamics*, 57(3–4), 895–916.
- Olmo, M. E., & Bettolli, M. L., 2022:** Statistical downscaling of daily precipitation over southeastern South America: Assessing the performance in extreme events. *International Journal of Climatology*, 42(2), 1283–1302.
- Prohaska, F., 1976:** The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. *World Surv. Climatol.* 12, 13–73.
- Rusticucci, M., Barrucand, M., & Collazo, S., 2016:** Temperature extremes in the Argentina central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology*, 37(6), 3003–3017.
- Ward, J.H., 1963:** Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58, 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>.