

EXTREMOS CLIMÁTICOS PROYECTADOS EN SUDAMÉRICA BAJO EL ESCENARIO DE SOBREPASO SSP5-3.4OS DEL CMIP6

Ezequiel Adrián Callegari^{1*}, Carla Natalia Gulizia^{1,2,3}

*ezecallegari@gmail.com Autor correspondiente

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina.

²CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.

³CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina

Palabras clave: extremos climáticos, CMIP6, escenario de sobrepaso, Sudamérica

1) INTRODUCCIÓN

En el contexto de una respuesta internacional demorada frente al calentamiento global, ha crecido el interés científico por explorar escenarios en los que el forzamiento radiativo alcanza un máximo antes de disminuir, conocidos como escenarios de sobrepaso u overshoot en inglés (Reisinger y otros, 2025). Estos escenarios representan trayectorias en las cuales el sistema terrestre excede transitoriamente un determinado umbral de temperatura global, para luego iniciar un descenso impulsado por una reducción drástica de las emisiones (O'Neill y otros, 2016; IPCC, 2023). En el presente trabajo se analiza la respuesta regional del clima medio y extremo en Sudamérica, bajo el escenario de sobrepaso SSP5-3.4OS, incluido en el conjunto de simulaciones de la sexta fase del Programa de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP6).

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Se evaluaron las simulaciones climáticas de temperatura y precipitación bajo el escenario SSP5-3.4OS derivadas de un conjunto de 8 Modelos Climáticos Globales (MCG). Este escenario contempla una fase inicial de altas emisiones (análoga al SSP5-8.5) hasta aproximadamente 2040, seguida por una descarbonización acelerada, y es el único escenario de CMIP6 que alcanza y revierte un pico calentamiento global antes de 2100 (O'Neill y otros, 2016).

El análisis de extremos climáticos se centra en un subconjunto de índices climáticos del Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI, Zhang y otros, 2011). En particular, se evaluaron los extremos cálidos a partir de los índices que representan los días (tx90p) y noches (tn90p) cálidas. Complementariamente, se analizó la temperatura media anual (tas). Para la precipitación, se consideraron los días secos consecutivos (cdd), la precipitación extrema de 5 días consecutivos (rx5day), la precipitación anual de días húmedos superiores al percentil 95 (r95p), y la contribución a la precipitación total de la precipitación en días extremos húmedos (r95ptot). Asimismo, se evaluó la precipitación total anual en días húmedos (prcptot), representativa de las condiciones medias de precipitación.

Con el objetivo de identificar los períodos pre- y post-sobrepaso, se evaluó el año del pico de calentamiento global simulado por cada MCG individualmente. Para ello, se analizaron, en cada caso, los promedios móviles centrados de 21 años de las anomalías de la temperatura media global en superficie, respecto al período preindustrial (1850–1900). Los períodos pre- y post-sobrepaso se consideran como ventanas simétricas en torno al pico identificado, teniendo en cuenta que las simulaciones terminan en 2100.

Finalmente, se calculó el ensamble multi-modelo de los cambios proyectados, en el clima medio y en los extremos climáticos, entre las fases de calentamiento (pre-sobrepaso) y enfriamiento (post-sobrepaso) del escenario SSP5-3.4OS. El análisis del ensamble se calculó a partir de la mediana de los resultados de cada MCG individualmente.

3) RESULTADOS

La Figura 1 muestra los cambios proyectados en los índices de temperatura y precipitación derivados de la mediana del conjunto de modelos bajo el escenario SSP5-3.4OS, junto con el histograma de la distribución del año del pico de calentamiento global. Este último ocurre entre 2060 y 2070 para la mayoría de las simulaciones consideradas, aunque en el rango desde 2050 hasta 2090. Los cambios proyectados para las variables relacionadas con la temperatura exhiben un aumento generalizado en Sudamérica, con patrones espaciales similares entre sí. Las zonas de mayor aumento resultaron en el este de Brasil y el centro de Argentina, con una mayor concordancia entre la mayoría de los modelos en ese signo de cambio. Por otra parte, en menor medida, se proyectan disminuciones en tas y tx90p en el norte de Brasil, y en tn90p para la zona del litoral argentino. Sin embargo, estos cambios son más localizados y los MCGs analizados no presentan un acuerdo en el signo de cambio.

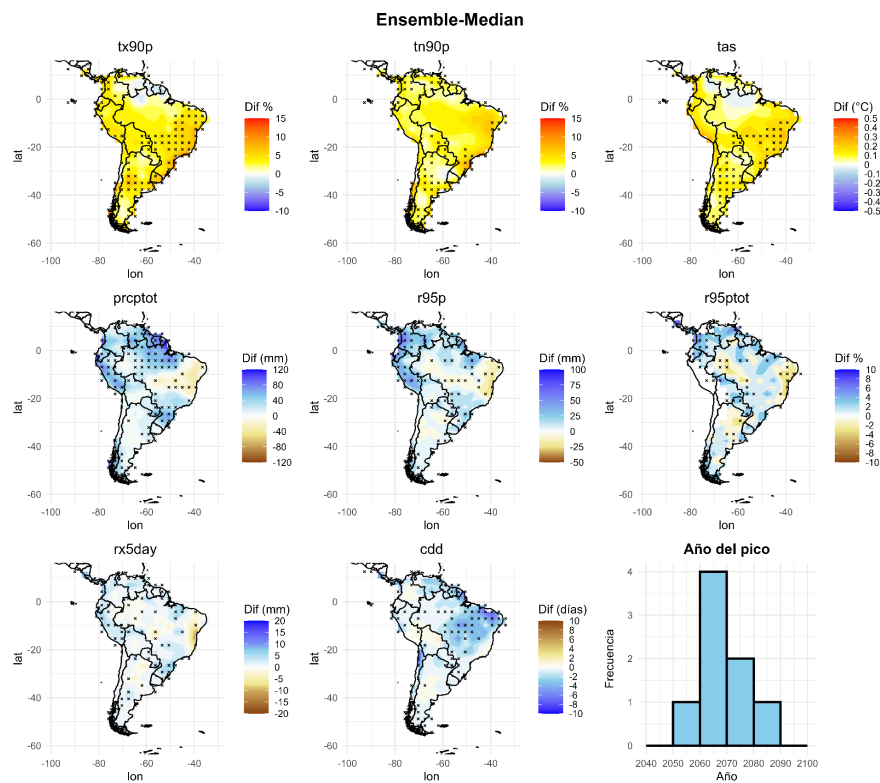


Figura 1: Mediana del ensamble multi-modelo para los cambios proyectados entre los períodos post- y pre- pico de calentamiento global para las variables analizadas: de temperatura (fila superior: tx90p, tn90p, y tas), y de precipitación (fila intermedia: prcptot, r95p, y r95ptot, y fila inferior: rx5day y cdd). Las cruces indican donde el signo de cambio proyectado coincide en al menos 6 de los 8 MCGs analizados. En la esquina inferior derecha, se indica el histograma de frecuencias para el año del pico de calentamiento global según escenario SSP5-3.4OS, calculado a partir de los resultados de cada MCG individual.

Para las variables analizadas relacionadas con la precipitación, los patrones de cambios proyectados son más heterogéneos. Los campos de $r95p$ y $r95ptot$ presentan un patrón espacial similar, con los mayores aumentos en el norte y sur de Brasil, y Perú, mientras que se destacan disminuciones en el noreste de Brasil, consistentes con los máximos aumentos proyectados de temperatura media y extrema. Estas reducciones se proyectan también en el índice $r95ptot$. Por otra parte, los cambios para el índice $rx5day$ son de menor magnitud, aunque con un patrón espacial consistente con los de los otros índices relacionados con la precipitación, ya analizado. Finalmente, los resultados para cdd indican una reducción de los días consecutivos secos en el noreste de Brasil, la cordillera de los Andes y la Patagonia, con un acuerdo en el signo de cambio entre modelos.

4) CONCLUSIONES

El período de sobrepaso conlleva un riesgo elevado de intensificación de fenómenos extremos como olas de calor, lluvias torrenciales y sequías prolongadas. El presente trabajo se focalizó en avanzar en el entendimiento de las respuestas en la temperatura y precipitación medias y extremas, a nivel regional en Sudamérica, bajo el escenario SSP5-3.4OS. Aunque este no sería una trayectoria recomendable por las demoras que implica en la reducción de emisiones, es el único escenario de CMIP6 que permite evaluar, de manera explícita, los efectos de un sobrepaso térmico antes de 2100.

Los resultados obtenidos muestran que los impactos del sistema climático a nivel regional en Sudamérica, persistirían e incluso se intensificarían en algunas regiones. Las simulaciones analizadas mostraron aumentos generalizados en la temperatura media y extrema, incluso en el período de enfriamiento (posterior al pico de calentamiento global). Sin embargo, es relevante destacar la incertidumbre en los resultados dada la gran dispersión en la respuesta de los MCGs analizados (no se muestra). Por otro lado, del análisis de los índices de precipitación se destaca la señal de reducción de condiciones secas durante el período de enfriamiento (post-sobrepaso) en regiones como los Andes centrales y el noreste de Brasil, donde la tendencia observada, y proyectada bajo escenarios de altas emisiones, documenta un aumento y permanencia de condiciones cada vez más secas..

En este sentido, los resultados obtenidos en el presente trabajo son consistentes con estudios previos (Pfleiderer y otros, 2023, Mondal y otros, 2023), que sugieren que, incluso si se lograra revertir la tendencia del calentamiento global, los efectos sobre el sistema climático regional podrían mantenerse durante décadas.

5) REFERENCIAS

IPCC (2023): Summary for Policymakers. En: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34

Mondal, S. K., An, S.-I., Min, S.-K., Kim, S.-K., Shin, J., Paik, S., Im, N., & Liu, C. (2023): Hysteresis and irreversibility of global extreme precipitation to anthropogenic CO₂ emission. *Weather and Climate Extremes*, 40, 100561.

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K. L. y otros (2016): The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482.

Pfleiderer, P., Schleussner, C. F., & Sillmann, J. (2024): Limited reversal of regional climate signals in overshoot scenarios. *Environmental Research: Climate*, 3, 015005.

Reisinger y otros (2025): Overshoot: A conceptual review of exceeding and returning to global warming of 1.5 °C. *Annual Review of Environment and Resources*, 50, 1.1–1.33.