

SURGIMIENTO DE LA SEÑAL DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS TEMPERATURAS DE SUDAMÉRICA

Dalia V. Panza^{1,2,3}, Leandro B. Díaz^{1,2,3}, Carolina S. Vera^{1,2,3}
dalia.panza@cima.fcen.uba.ar (Dalia V. Panza)

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

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

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

Palabras clave: Tiempo de surgimiento, CMIP6, datos observacionales

1) INTRODUCCIÓN

El cambio climático antropogénico está modificando las propiedades estadísticas del sistema climático global. En este contexto, uno de los enfoques más utilizados para caracterizar el momento en que las condiciones climáticas comienzan a diferir significativamente de un estado de referencia es el concepto de tiempo de surgimiento o emergencia (ToE, por sus siglas en inglés). El ToE se define como el momento en que una señal se vuelve distinguible respecto de la variabilidad interna de un periodo base, indicando así la aparición de un nuevo estado climático (Doblas-Reyes et al. 2021).

Estimar el ToE resulta fundamental para anticipar y mitigar los impactos del cambio climático, ya que permite identificar cuándo las condiciones actuales dejan de ser compatibles con las que históricamente han moldeado los ecosistemas y las sociedades. Si bien se ha documentado que la señal del calentamiento global ha emergido a escala global, su caracterización a escalas regionales y estacionales sigue siendo objeto de estudio, debido a la influencia de la variabilidad natural y a las incertidumbres asociadas a los distintos métodos de detección, fuentes de información y variable analizada.

En este trabajo se calcula y analiza el ToE de la temperatura anual media sobre Sudamérica. Para ello, se emplean tanto datos provenientes de simulaciones numéricas de 10 modelos climáticos acoplados pertenecientes al conjunto CMIP6, como de bases de datos observacionales.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

El ToE de la temperatura media anual del aire en superficie se estimó a partir de dos fuentes principales de información: datos observacionales y simulaciones numéricas de modelos climáticos. En cuanto a las simulaciones, se utilizaron 10 modelos del conjunto CMIP6, considerando los experimentos históricos y de la proyección ssp585, abarcando el período 1901–2100. Se seleccionaron aquellos modelos que cuentan con al menos 5 miembros en ambos experimentos, para considerar la incertidumbre asociada a la variabilidad interna. Para los datos observacionales, se emplearon las bases Berkeley Earth (BEST) y la Climate Research Unit (versión 4.09, CRU), disponibles para el período 1901–2024. Todos los datos fueron remuestreados a una resolución espacial de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$.

La detección del ToE se basó en la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov

(KS), la cual permite contrastar si dos muestras provienen de la misma distribución, siguiendo la metodología propuesta por King et al. (2015). Se comparó la distribución del período de referencia 1901–1930 con distribuciones correspondientes a ventanas móviles de 20 años, avanzando en pasos de 5 años desde 1931 hasta 2100 para los modelos, o hasta 2024 para las observaciones. El ToE se define como el primer año en el que la diferencia es significativa al nivel del 5% y se mantiene significativa hasta el final del período. En el caso de los modelos, se calculó el ToE individualmente para cada miembro.

3) RESULTADOS

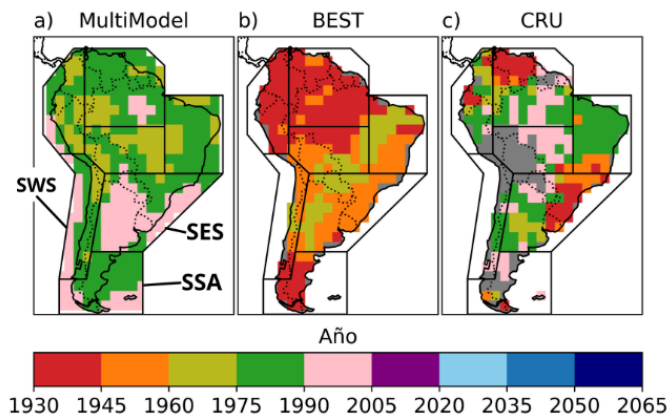


Figura 1: ToE de la señal de cambio climático (año) en la temperatura media anual para (a) mediana multi-modelo de los modelos CMIP6 (b) BEST y (c) CRU. Los polígonos negros delimitan las regiones definidas en el sexto reporte del IPCC. En el panel (a) se indican las regiones SWS, SES y SSA.

La Figura 1 muestra los mapas del ToE de la señal de cambio climático en la temperatura anual sobre Sudamérica para la mediana multi-modelo, BEST y CRU. En el caso de la mediana multi-modelo, el ToE ocurre en gran parte del continente entre 1960 y 1990, salvo en el sudeste de Sudamérica, donde se registran valores más tardíos, entre 1990 y 2005. Los resultados de las bases de datos observacionales difieren significativamente entre sí y con respecto a los de las simulaciones. En BEST, el ToE es detectable en toda Sudamérica antes de 1975, evidenciando un surgimiento más temprano de la señal de cambio climático que la

estimada por los modelos. Por el contrario, en CRU la señal surge entre 1930 y 2005 en el norte y noreste del continente, pero no se detecta durante el período 1931–2024 en gran parte del sur y oeste de Sudamérica. En términos generales, se observan importantes discrepancias entre las tres fuentes de información, aunque puede afirmarse que el ToE es más claro en el norte del continente, mientras que la detección presenta mayor incertidumbre hacia el centro y el sur.

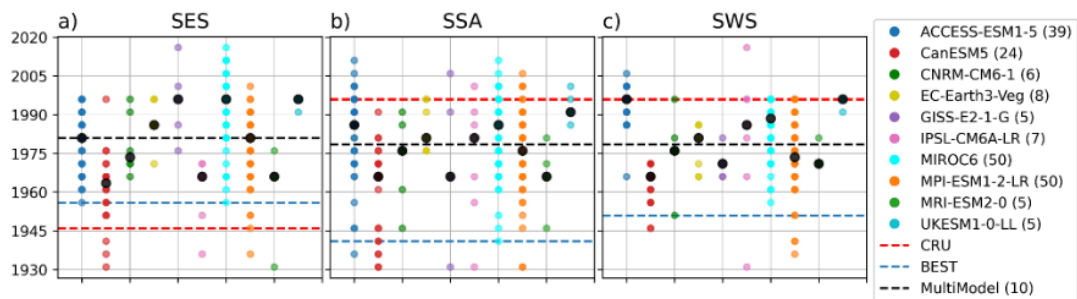


Figura 2: ToE de la señal de cambio climático (año) del promedio regional de temperatura anual para cada simulación de los modelos de CMIP6 en (a) sudeste de Sudamérica (SES), (b) sur de Sudamérica (SSA) y (c) sudoeste de Sudamérica (SWS). Los círculos negros indican la mediana del ToE para cada modelo. Las líneas horizontales discontinuas muestran el ToE para la mediana multi-modelo (negro), para CRU (rojo) y para BEST (azul). En la leyenda, entre paréntesis, se indica la cantidad de miembros de cada modelo.

La Figura 2 muestra el ToE de la señal de cambio climático en la temperatura anual promediada regionalmente en el sudeste de Sudamérica (SES), sur de Sudamérica (SSA) y sudoeste de Sudamérica (SWS), para cada simulación individual de los modelos de CMIP6, la respectiva mediana multi-miembro para cada modelo, la mediana multi-modelo y el ToE según CRU y BEST. En SES y SWS, el ToE mediano de cada modelo se ubica entre 1960 y 2000 aproximadamente, aunque en SES se observa una dispersión mucho mayor entre miembros y modelos que en SWS. En SSA, el ToE mediano se sitúa entre 1960 y 1990, lo que indica una surgencia más temprana respecto a las otras dos regiones, aunque también con una marcada dispersión entre simulaciones. Asimismo, se identifican modelos que presentan sistemáticamente ToEs más tempranos o tardíos. Por ejemplo, ACCESS-ESM1-5, MIROC6 y UKESM1-0-LL muestran ToEs medianos relativamente más tardíos, mientras que CanESM5 presenta surgencias más tempranas en las tres regiones. También se destaca una gran incertidumbre relacionada a los ToEs regionales de las bases de datos observacionales en SSA y SWS.

4) CONCLUSIÓN

La señal del cambio climático en la temperatura anual de Sudamérica es detectable tanto en simulaciones numéricas como en fuentes observacionales. Sin embargo, el ToE muestra una marcada dependencia de la fuente de información utilizada: mientras que las simulaciones y la base de datos BEST evidencian el surgimiento de la señal antes de 1990 en la mayor parte del continente, la base CRU presenta múltiples puntos sin detección de ToE. Las regiones del norte y el extremo sur de Sudamérica muestran los ToE más tempranos, mientras que el sudeste y sudoeste del continente presentan mayor incertidumbre. El análisis regional del ToE a partir de cada simulación individual revela una alta dispersión entre miembros, especialmente en las regiones del sudeste y sudoeste de Sudamérica. Esto resalta la importancia de contar con grandes ensambles que permitan estimar de manera robusta la influencia de la variabilidad interna sobre métricas de detección como el ToE. Si bien para la temperatura anual el surgimiento de la señal de cambio climático es detectable, se vuelve fundamental profundizar el análisis regional desde una perspectiva estacional y en otras variables, como la precipitación, utilizando y comparando distintas metodologías disponibles.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por los proyectos CONICET-PIBAA 28720210100758CO, CONICET-PIP 11220200102038CO, UBACYT 20020220100075BA y PICT-2021-GRF-TI-00498. Se agradece también al Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI).

REFERENCIAS

- Doblas-Reyes FJ, Sorensson AA, Almazroui M, Dosio A, Gutowski WJ, Haarsma R, Hamdi R, Hewitson B, Kwon W-T, Lamptey BL, Maraun D, Stephenson TS, Takayabu I, Terray L, Turner A, Zuo Z (2021):** Linking global to regional climate change. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Pean C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekci O, Yu R, Zhou B (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 1363–1512. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.012>
- King, A. D., Donat, M. G., Fischer, E. M., Hawkins, E., Alexander, L. V., Karoly, D. J., Dittus, A. J., Lewis, S. C., & Perkins, S. E. (2015):** The timing of anthropogenic emergence in simulated climate extremes. *Environmental Research Letters*, 10(9), 094015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/9/094015>