

SIMULACIONES DE CAMBIOS DE TEMPERATURA GLOBAL EN LOS ULTIMOS 6.000 AÑOS

Ana Laura Berman, Gabriel Silvestri, Nicolás J. Cosentino

alberman@cima.fcen.uba.ar

Universidad de Buenos Aires (UBA)-CONICET- Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) –
Instituto Franco-Argentino de Estudios sobre el Clima y sus Impactos (IFAECI) /IRL 3351-CNRS-CONICET-IRD-
UBA. Buenos Aires, Argentina

Palabras clave: paleoclima, simulaciones numéricas.

1) INTRODUCCIÓN

Uno de los indicadores clave del cambio climático durante las últimas décadas es la variación de la temperatura del aire cercano a la superficie (TAS) del planeta. A nivel global, los cambios en TAS no son uniformes. En particular, el calentamiento global muestra un patrón con marcada asimetría latitudinal (Anderson y otros, 2013) y calentamiento en el Hemisferio Norte (HN) mucho mayor que en el Hemisferio Sur (HS) (Drost y otros, 2012). Estos desfases, junto con la diferencia de capacidad calorífica entre los océanos y los continentes, juegan un papel fundamental en la dinámica del sistema climático. En este contexto, Berman y otros (2017, 2020) mostraron que el aumento de TAS en Sudamérica desde 1850 se está produciendo con una rapidez que no tiene precedentes en los últimos 20.000 años. En otras palabras, los cambios de temperatura en respuesta al forzante antropogénico se están acelerando de manera muy marcada respecto a los cambios en periodos pre-Industriales producidos por forzantes naturales.

En el marco de simulaciones climáticas, los estudios de escenarios futuros pueden enriquecerse con la inclusión de análisis de climas pasados (paleoclima) dado que éstos proporcionan un contexto histórico más amplio que el descripto sólo por condiciones durante lo que usualmente se considera periodo pre-Industrial (PI) (Berman y otros, 2020). En este sentido, el Paleoclimate Modelling Intercomparison Project (PMIP; <https://pmip.lsce.ipsl.fr>) contiene simulaciones de climas pasados realizadas con los mismos modelos usados en las proyecciones futuras del Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) permitiendo entonces integrar condiciones de climas pasados y futuros. El proyecto PMIP se inició durante la década de 1990 (versión identificada como PMIP1) con modelos globales atmosféricos simples. Luego continuó con simulaciones más complejas realizadas con modelos acoplados atmósfera-océano en las versiones PMIP2 (década de 2000), PMIP3 (década de 2010) y la más reciente PMIP4 (disponible desde 2020). El paso de una versión PMIP a la siguiente consistió en la incorporación de simulaciones con modelos cada vez más complejos y computacionalmente más costosos.

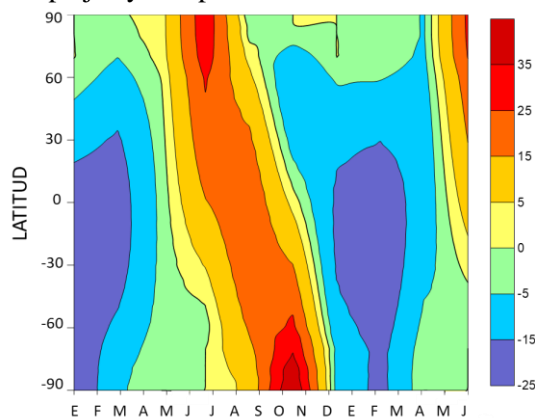


Figura 1: Diferencia de insolación (W/m^2) entre HM y PI (HM menos PI). Las diferencias se repiten en el eje horizontal para mostrar con más claridad el cambio durante el verano austral.

Un periodo del pasado que resulta relevante en PMIP es el conocido como Holoceno Medio (HM) desarrollado 6.000 años antes del presente. El interés en este periodo del pasado se debe a que la topografía del planeta y la composición de la atmósfera fueron similares a las de PI pero la insolación fue diferente debido a cambios en los parámetros orbitales de la Tierra alrededor del Sol (Figura 1). Considerando que el periodo HM fue simulado en todas las versiones PMIP, el objetivo de este trabajo es mostrar el impacto sobre TAS del cambio de insolación durante HM y la relación de ese cambio con el calentamiento antropogénico. También se comparan los resultados obtenidos en cada versión de modelos PMIP.

2) DATOS Y METODOLOGIA

El análisis presentado en este trabajo se basa en todas las simulaciones de modelos PMIP2 (diez modelos), PMIP3 (catorce modelos) y PMIP4 (quince modelos) disponibles. Los datos de cada modelo fueron regrillados a una cuadrícula común de resolución de 2° de latitud y longitud. Se estudia la coincidencia en el signo y magnitud de las diferencias de TAS entre HM y PI (HM menos PI referidas como anomalías HMPI) en PMIP2, PMIP3 y PMIP4 para identificar la robustez de las mismas. Se identifica nivel alto (medio) de coincidencia entre los modelos de cada fase PMIP cuando más del 80% (60%) de los modelos coinciden en el signo de anomalías HMPI estadísticamente significativas. La significancia estadística de las anomalías se obtiene con test t-Student al 90%. Se hace el mismo estudio para las diferencias de TAS entre HM y el presente (PRE) (HM menos PRE referidas como anomalías HMPRE) en los modelos PMIP3 y PMIP4 no pudiéndose hacer en PMIP2 porque PRE no fue simulado en esa fase PMIP.

3) RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Las anomalías HMPI en PMIP2 (Figuras 2a-d) muestran coincidencia entre los modelos en anomalías frías sobre todos los continentes en la banda 40°N – 40°S y los océanos tropicales en DEF que se extienden sobre gran parte del planeta en MAM. Esta coincidencia se pierde sobre los continentes del HS en JJA al tiempo que hay coincidencia en anomalías cálidas sobre los continentes del HN al norte de 30°N . La coincidencia en anomalías cálidas se extiende a regiones continentales y oceánicas de ambos hemisferios en SON, cubriendo especialmente los continentes del HS. Estos patrones de cambios de temperatura estacional entre HM y PI son la consecuencia de los cambios de insolación descritos en Figura 1 con enfriamiento (calentamiento) sobre continentes y océanos producido por disminución (aumento) de insolación. No obstante, la respuesta de TAS a los cambios de insolación puede estar desfasada uno o más meses dependiendo de la inercia térmica del tipo de superficie (tierra, nieve, hielo marino o agua). Además, los campos de anomalías de cada modelo (figuras no mostradas) permiten concluir que la ausencia de coincidencia (las áreas en blanco en cada figura) se debe a la forma particular en la que cada modelo describe la transición entre meses de anomalías frías y cálidas. Por ejemplo, la ausencia de coincidencia en Sudamérica durante JJA se debe a diferencias entre los modelos respecto a la manera en que se produce la transición de las anomalías frías en MAM a las anomalías cálidas en SON. Aun cuando los modelos pueden coincidir en el signo de las anomalías, existen discrepancias respecto a la intensidad de esas anomalías (figuras no mostradas). En otras palabras, la coincidencia entre modelos PMIP2 respecto al signo del cambio de TAS no se replica en coincidencia en la intensidad de ese cambio.

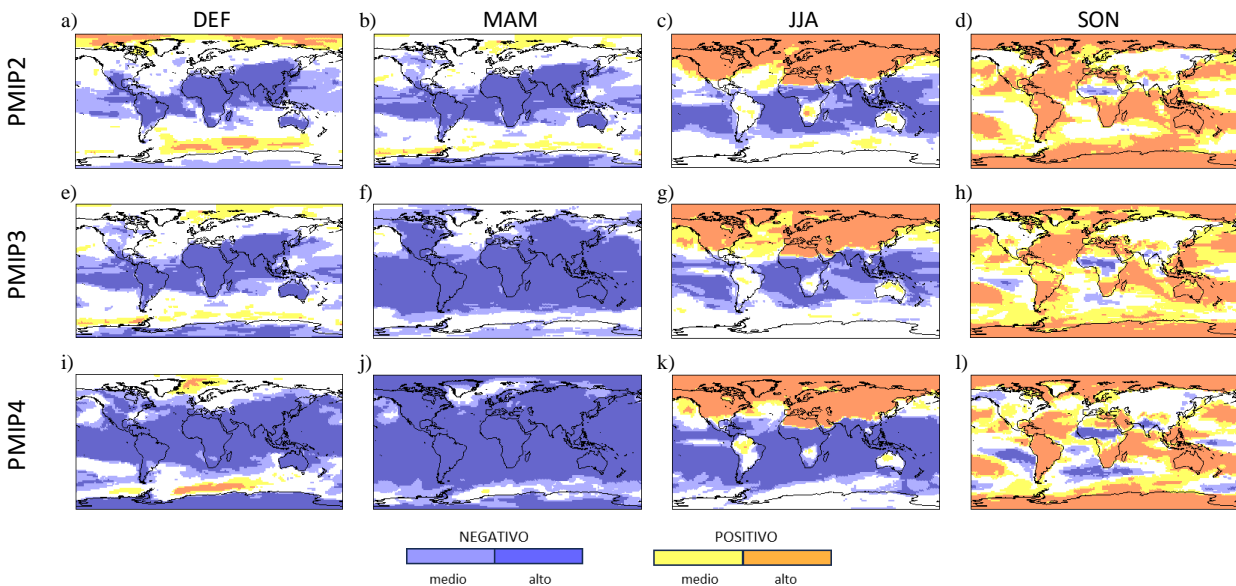


Figura 2: Coincidencia en el signo de anomalías HMPI estadísticamente significativas en cada estación del año. En color se indican las áreas con nivel alto y nivel medio de coincidencia entre modelos de cada fase PMIP en el signo de la anomalía. DEF se refiere al trimestre diciembre-enero-febrero, MAM a marzo-abril-mayo, JJA a junio-julio-agosto y SON a setiembre-octubre-noviembre.

Los campos de anomalías HMPI en modelos PMIP3 (Figuras 2e-h) y PMIP4 (Figuras 2i-l) son esencialmente similares a los de PMIP2 encontrándose también discrepancias respecto a la intensidad de esas anomalías (figuras no mostradas).

Las anomalías HMPRE son la suma de dos componentes: anomalías HMPI por cambios de insolación (descriptas previamente) y el calentamiento generalizado entre PI y PRE por forzante antropogénico (figuras no mostradas). Los campos estacionales de anomalías HMPRE en modelos PMIP3 se muestran en Figura 3a-d y los de modelos PMIP4 en Figura 3e-h. Se observan características esencialmente similares en ambas fases PMIP. En DEF y MAM, el calentamiento desde HM hasta PI por cambio de insolación (Figura 2) es continuado por el calentamiento antropogénico. Como resultado, los modelos coinciden en anomalías HMPRE frías sobre casi todo el planeta en ambas estaciones. Por el contrario, los modelos coinciden en anomalías HMPRE cálidas en los continentes del HN en JJA y en áreas continentales del HS en SON. Estas anomalías cálidas indican que el enfriamiento desde HM hasta PI en respuesta al cambio de insolación (figuras 2h y 2l) aún no ha sido revertido por el calentamiento antropogénico y, en consecuencia, hay regiones en donde las temperaturas del presente son todavía más frías que las de HM. De manera similar a lo que ocurre con las anomalías HMPI, la coincidencia en el signo de anomalías HMPRE no se replica en coincidencia en la magnitud de ese cambio (figuras no mostradas).

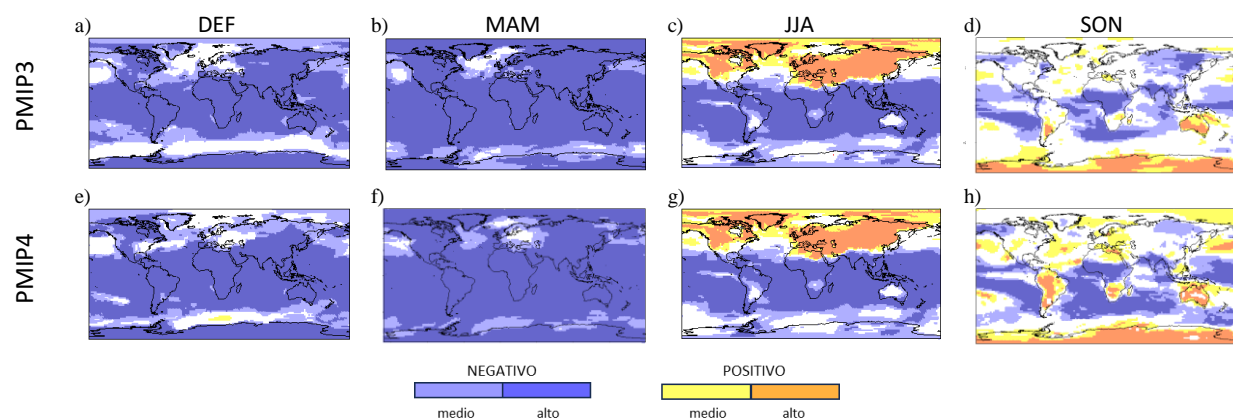


Figura 3: Como Figura 2 pero para anomalías HMPRE.

En conclusión, las anomalías de temperatura HMPI y HMPRE simuladas por los modelos de última generación contenidos en PMIP4 son esencialmente similares a las simuladas por los modelos de las fases previas PMIP2 y PMIP3. Esta conclusión es muy relevante para el desarrollo de nuevas simulaciones de climas pasados porque indica que, al menos para temperatura, los resultados con modelos relativamente simples (como los contenidos en PMIP2 y PMIP3) pueden ser similares a los obtenidos con modelos altamente complejos y computacionalmente más costosos (como los contenidos en PMIP4).

REFERENCIAS

Anderson, D., Mauk, E., Wahl, E., Morrill, C., Wagner, A., Easterling, D. y Rutishauser T., 2013: Global warming in an independent record of the past 130 years. *Geophysical Research Letters*, 40, 189-193.

Berman, A.L., Silvestri, G., Rojas, M. y Tonello, M., 2017: Accelerated greenhouse gases versus slow insolation forcing induced climate changes in southern South America since the Mid-Holocene. *Climate Dynamics*, 48, 387-404.

Berman, A.L., Silvestri, G. y Tonello, M., 2020: Paleoclimatic context of projected future warming in southern South America. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 173-181.

Drost, F., Karoly, D. y Braganza, K., 2012: Communicating global climate change using simple indices: An update. *Climate Dynamics*, 39, 989-999.