

INFLUENCIA ANTROPOGÉNICA DE LOS CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN OBSERVADOS EN EL HEMISFERIO SUR A PARTIR DE SIMULACIONES CLIMÁTICAS

Leandro B. Díaz^{1,2,3}

ldiaz@cima.fcen.uba.ar. Leandro B. Díaz

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: gases de efecto invernadero, ozono, aerosoles, grandes ensambles, LESFMIP

1) INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han detectado diversos cambios en la circulación atmosférica del hemisferio sur (HS). Entre ellos se destacan el desplazamiento hacia el polo de la celda de Hadley y de la corriente en chorro de niveles altos o la intensificación de los storm tracks (Shaw et al. 2024). Estas alteraciones han generado, a su vez, tendencias en las precipitaciones de regiones continentales, incluyendo amplios sectores de Sudamérica.

Las tendencias de la circulación atmosférica del HS están siendo moduladas por la combinación de factores como el incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), la disminución del ozono estratosférico debido a las sustancias que debilitan la capa de ozono (ODS), o las emisiones antropogénicas de aerosoles troposféricos. La magnitud en que cada uno de estos forzantes influye en el clima superficial sigue siendo una pregunta abierta, particularmente en vista del aumento de los niveles de gases de efecto invernadero, la recuperación gradual del ozono estratosférico tras el Protocolo de Montreal y la disminución de las emisiones de aerosoles debido a las regulaciones de calidad del aire.

Este estudio tiene como objetivo analizar la atribución de las tendencias de la precipitación del SH durante el periodo histórico (1850-2014) a forzantes antropogénicos utilizando simulaciones climáticas del Large Ensemble Single Forcing Model Intercomparison Project (LESFMIP, Smith et al. 2022).

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Para este análisis se utilizaron simulaciones climáticas de modelos globales de circulación acoplados del conjunto LESFMIP. Las simulaciones de este conjunto utilizan el protocolo del CMIP6, pero consideran una gran cantidad de miembros por cada modelo y experimento. El gran tamaño del conjunto permite una mejor cuantificación de la variabilidad interna, mientras que la disponibilidad de múltiples modelos, permite cuantificar la incertidumbre del modelo. Por otro lado, como considera experimentos de un solo forzante, permite aislar la respuesta del clima a los distintos forzantes.

En particular, se analizaron los siguientes experimentos: simulaciones históricas (*historical*, 10 modelos), simulaciones históricas con solo forzante de gases de efecto invernadero

(*hist-GHG*, 10 modelos), simulaciones históricas con solo forzante de aerosoles (*hist-aer*, 10 modelos), y simulaciones históricas con solo forzante de ozono total (*hist-totalO3*, 6 modelos). Se consideraron para cada modelo y experimento todos los miembros disponibles. Todas las simulaciones comienzan en 1850 y finalizan entre 2014 y 2020. Todos los modelos fueron interpolados a una retícula común de 2,5° de resolución horizontal. Se muestran los resultados para las estaciones de verano (DEF, Diciembre-Enero-Febrero) e invierno (JJA, Junio-Julio-Agosto)

Se calculó la respuesta climática en cada uno de los forzantes como el cambio promedio en la variable calculada entre los períodos 1980-2014 (presente) y 1850-1884 (preindustrial). Para calcular la media multi-modelo, primero se realizó la media multi-miembro para cada modelo y luego se promediaron todos los modelos dándole a cada uno la misma ponderación.

3) RESULTADOS

En la Figura 1 se muestra la respuesta para la precipitación del multi-modelo para cada uno de los experimentos. Si observamos en primer lugar la respuesta de las simulaciones históricas, se puede notar que la respuesta para el verano muestra un mayor acuerdo entre modelos que la respuesta del invierno. Esto se puede relacionar con que lo mismo se observa para la respuesta de variables de circulación de gran escala (no se muestra). En segundo lugar, se observa un patrón heterogéneo para el verano, con incrementos en la zona antártica, disminución alrededor en latitudes medias, como por ejemplo en la región del sur de los Andes (SAn) y un aumento de la precipitación en algunas zonas continentales como el Sudeste de Sudamérica (SESA).

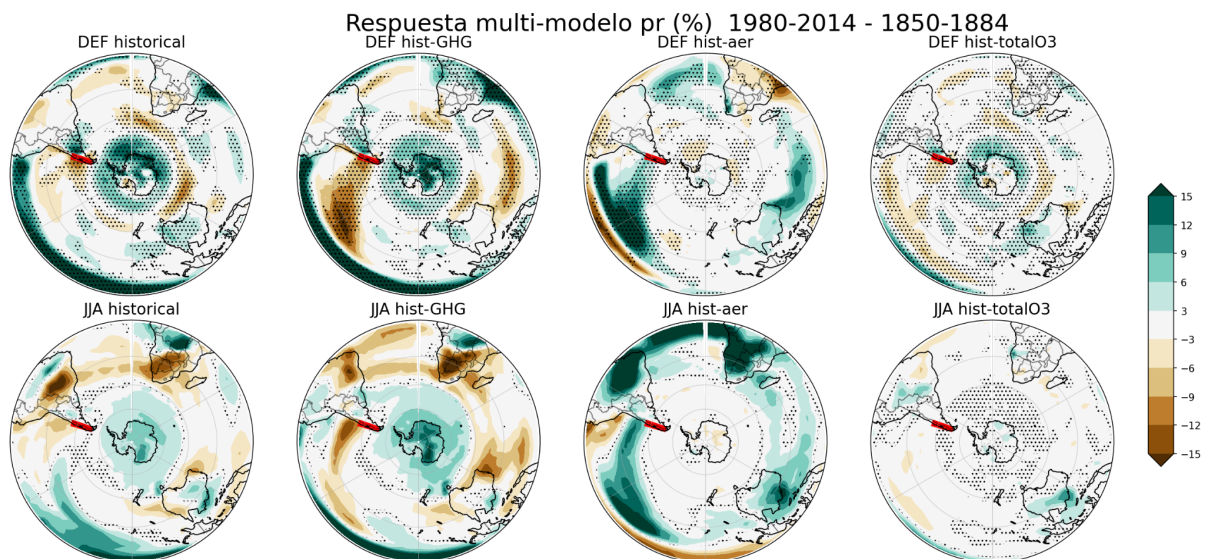


Figura 1: Cambios porcentuales simulados en la precipitación entre 1980-2014 y 1850-1884. Se muestra el promedio multi-modelo para los meses de DEF (fila superior) y JJA (fila inferior) en los experimentos historical (columna 1), hist-GHG (columna 2), hist-aer (columna 3) y hist-totalO3 (columna 4). Los puntos indican que al menos el 80% de los modelos coinciden en el signo del cambio. La caja roja indica la ubicación de la región SAn.

Al comparar los resultados para los distintos experimentos, los cambios históricos en las precipitaciones de SH del verano se explican sobre todo por el efecto de los GEI (Fig. 1). Por otro lado, en las regiones tropicales y subtropicales, el forzante de los aerosoles atenúa o anula los efectos del forzante de los GEI. Por último, en latitudes medias y altas, el forzante del ozono tiene un papel menor, aunque de mismo signo que el de los GEI.

Cambios Región SAn pr VS ua700 DEF 1980-2014 - 1850-1884

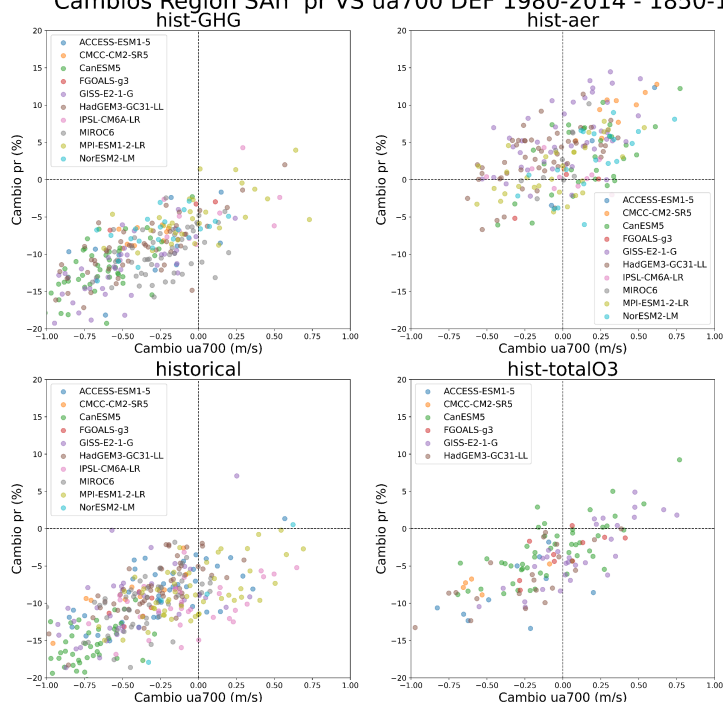


Figura 2: Cambios simulados en la región SAn para DEF del viento zonal en 700 hPa (eje x, m/s) y la precipitación (eje y, %) entre 1980-2014 y 1850-1884. Los paneles presentan los resultados para los experimentos: hist-GHG (arriba izquierda), hist-aer (arriba derecha), historical (abajo izquierda) y hist-totalO3 (abajo derecha). Cada punto individual representa un miembro del conjunto, y los colores distinguen los modelos.

influencia antropogénica significativa en los cambios de la precipitación en el hemisferio sur en el verano, mayormente asociada a la respuesta del aumento de la concentración de gases de efecto invernadero. Estos cambios podrían explicarse, en parte, por modificaciones lineales en la circulación atmosférica a gran escala. Sin embargo, aún se requiere mayor investigación para cuantificar el papel de la variabilidad natural en las tendencias a largo plazo de la circulación atmosférica, lo que permitiría una mejor atribución de los forzantes climáticos y reducir incertidumbres en proyecciones futuras.

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

Shaw, T. A., Arblaster, J. M., Birner, T., Butler, A. H., Domeisen, D. I. V., Garfinkel, C. I., et al., 2024: Emerging climate change signals in atmospheric circulation. *AGU Advances*, 5, e2024AV001297.

Smith, D. M., Gillett, N. P., Simpson, I. R., Athanasiadis, P. J., Baehr, J., Bethke, I., et al., 2022: Attribution of multi-annual to decadal changes in the climate system: The Large Ensemble Single Forcing Model Intercomparison Project (LESFMI). *Frontiers in Climate*, 4, 955414.

Para analizar con más detalle los cambios en la precipitación sobre la región SAn, en la Figura 2 se muestran gráficos de dispersión para cada experimento, comparando la respuesta para el verano de la precipitación promedio en la región y en el cambio del viento zonal en niveles bajos (700 hPa). Se puede observar que la respuesta en la precipitación es casi lineal con los cambios en el viento zonal. Por lo tanto, se puede asociar la disminución de precipitación en la región (Fig. 1) al debilitamiento del flujo del oeste (Fig. 2), que es más pronunciado en las simulaciones con el forzante de GEI y, en menor medida, a las del forzante del ozono.

4) CONCLUSIONES

A partir del análisis de las simulaciones del Proyecto LESFMI, se pudo identificar una