

# LA CIUDAD DE BUENOS AIRES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPACTOS POTENCIALES DE LA GEOINGENIERÍA SOLAR COMO ESTRATEGIA DE ACCIÓN CLIMÁTICA

Inés Camilloni<sup>1,2,3</sup>, Gabriela Raggio<sup>1</sup>, Malena Lozada Montanari<sup>1,2,3</sup>,  
Ana Belén Sánchez Schütze<sup>1,2,3</sup>, Rafael Seoane<sup>4</sup>  
[ines@cima.fcen.uba.ar](mailto:ines@cima.fcen.uba.ar). Autor/a correspondiente.

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

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

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

<sup>4</sup>Universidad de Buenos Aires Facultad de Ciencias Veterinarias, Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA). Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** Cambio climático, intervención climática, Buenos Aires

## 1) INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2015, la 21<sup>a</sup> Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) propuso a través del Acuerdo de París que los países implementen acciones con el objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de 2°C respecto al período preindustrial, y apeló a que se realicen esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C. Sin embargo, existe una preocupación creciente acerca de la efectividad del Acuerdo de París para contener las emisiones de gases de efecto invernadero y en consecuencia el calentamiento global por debajo de los límites que establece, ya que las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) actuales no serían suficientes (United Nations Environment Programme, 2024). En este contexto, la geoingeniería solar y en particular la Modificación de la Radiación Solar (MRS) a partir de la inyección de aerosoles en la estratósfera es propuesta como una intervención a corto plazo y en paralelo con la reducción de emisiones que podría limitar el aumento de la temperatura global y, en consecuencia, los efectos negativos de la interferencia antropogénica en el sistema climático (MacMartin et al., 2018). Sin embargo, la MRS plantea, además de cuestiones éticas, morales y de gobernanza, numerosos interrogantes acerca de sus potenciales efectos. En este trabajo se evalúan los riesgos y beneficios que esta tecnología aportaría al clima urbano de Buenos Aires en comparación con los del cambio climático actual y previsto.

## 2) METODOLOGÍA

La MRS a través de la inyección aerosoles en la estratósfera introduce cambios en las condiciones atmosféricas que en este estudio son cuantificados y evaluados para la ciudad de Buenos Aires mediante el *downscaling* estadístico de las simulaciones climáticas del proyecto ARISE-SAI-1.5 (Richter et al. 2022). Estas simulaciones se realizaron con un conjunto de 10 experimentos usando el modelo climático CESM2 con el componente atmosférico WACCM6 y fueron diseñadas para ser relevantes en el contexto del Acuerdo de París, ya que su objetivo es mantener gracias a la MRS la temperatura global en ~1,5°C por encima de los niveles preindustriales bajo el escenario de emisiones intermedio SSP2-4.5. La estrategia de MRS utilizada en el proyecto ARISE-SAI-1.5 consiste en la inyección de dióxido de azufre en cuatro puntos (15°S, 15°N, 30°S, 30°N) a 21,5 km de altura entre los años 2035 y 2069.

La información cuantitativa sobre los efectos en el clima de Buenos Aires bajo escenarios con y sin MRS es estimada a partir de la aplicación de diferentes metodologías estadísticas de

*downscaling* y corrección de sesgo (DQM: *Detrended Quantile Matching*, EQM: *Empirical Quantile Mapping*, QDM: *Quantile Delta Mapping*, Scaling, LOCI: *Local intensity scaling of precipitation* y PTR: *Power transformation of precipitation*) a las simulaciones de ARISE-SAI-1.5. Para cada variable (temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación) se seleccionaron los tres métodos de *downscaling* que proveen los mejores ajustes a los datos observados en la estación Buenos Aires Observatorio Central en el período 1998-2014. La selección fue realizada considerando diferentes métricas (tendencias, promedios, RMSE, etc.) resultando los métodos DQM, EQM y Scaling para las temperaturas mínima y máxima, y DQM, EQM y PTR para la precipitación. A partir de los datos corregidos se computaron los escenarios de clima futuro medio y extremo para Buenos Aires con y sin MRS para dos intervalos de tiempo futuro: 2035-2049 y 2055-2069. Para caracterizar los extremos de temperatura y precipitación se consideraron los índices TNx (máxima temperatura mínima diaria del año), SU (número de días de con temperatura máxima superior a 25°C) y R20mm (número de días con precipitación mayor a 20 mm) propuestos por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI, Zhang et al. 2011).

### 3) RESULTADOS

La implementación de la MRS según la estrategia propuesta por el proyecto ARISE-SAI-1.5 muestra un efecto de enfriamiento o “calentamiento evitado” a nivel regional que alcanza 1°C en el período 2055-2069 tanto para la temperatura mínima como para la temperatura máxima y se reduce a aproximadamente 0,5°C para el corto plazo (Figura 1). Asimismo, el escenario sin MRS está asociado a más precipitación que el que incluye MRS particularmente en 2055-2069 pero este efecto no es significativo estadísticamente en el área donde está emplaza Buenos Aires.

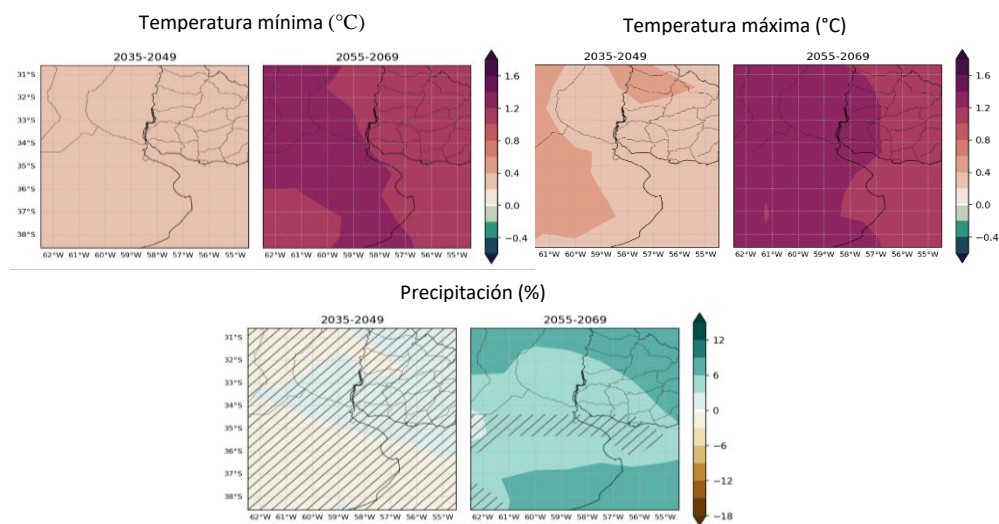


Figura 1. Diferencia en los promedios anuales de la temperatura mínima (°C), la temperatura máxima (°C) y la precipitación (%) entre el escenario de emisiones sin MRS y con MRS a corto plazo (2035-2049) y mediano plazo (2055-2069). Las líneas indican las zonas donde la diferencia no es significativa estadísticamente.

La evolución anual de las temperaturas mínima y máxima, la precipitación y los índices de extremos TNx, SU y R20mm bajo los escenarios con y sin MRS para el período 2035-2069 se presentan en la Figura 2. Para cada variable se indican los valores computados por los tres métodos estadísticos de *downscaling* y corrección de sesgo seleccionados en cada caso encontrándose que la dispersión asociada a éstos es menor para las variables térmicas que para las de precipitación en ambos escenarios. Asimismo, el efecto de enfriamiento o “calentamiento

evitado” de la MRS es significativo en las temperaturas mínima y máxima y en el índice SU, mientras que el efecto sobre la precipitación es menos evidente (Tabla 1).

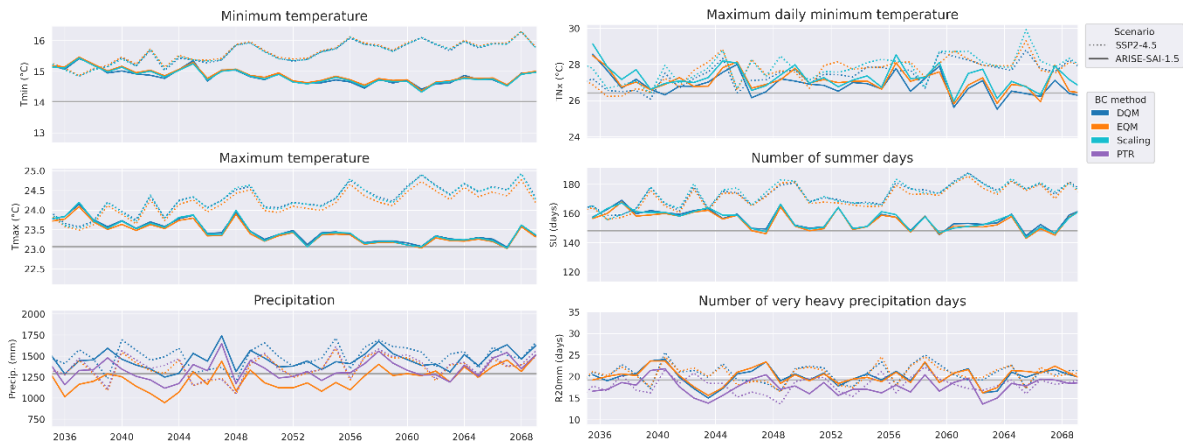


Figura 2: Evolución de los valores anuales de las temperaturas mínima y máxima, la precipitación y los índices de extremos  $TN_x$ ,  $SU$  y  $R20mm$  bajo escenarios con y sin MRS para el período 2035-2069.

Período	Tmín (°C)	Tmáx (°C)	Precip (%)	$TN_x$ (°C)	SU (días)	R20mm (días)
2035-2049	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	1	0	<b>10</b>	2
2055-2069	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	7	<b>1,2</b>	<b>23</b>	5

Tabla 1. Diferencia entre los promedios anuales de las temperaturas mínima y máxima, la precipitación y los índices de extremos  $TN_x$ ,  $SU$  y  $R20mm$  bajo escenarios con y sin MRS para el período 2035-2069 para la ciudad de Buenos Aires. Se indica en negrita las diferencias estadísticamente significativas.

#### 4) CONCLUSIONES

La aplicación de métodos de *downscaling* y corrección del sesgo mejora la representación del clima medio y extremo de Buenos Aires. Los resultados obtenidos permiten estimar que el calentamiento evitado en el escenario con MRS en comparación con el escenario sin MRS es de 0,3°C (0,4°C) para la temperatura mínima (máxima) a corto plazo y de 1,2°C a mediano plazo. También se esperan efectos de enfriamiento significativos si se implementa la MRS a través de la reducción de los días de verano y de la temperatura mínima máxima diaria (sólo a medio plazo). El escenario sin MRS es más húmedo que el escenario con MRS a corto y mediano plazo, y el número de días con precipitaciones intensas (mayores a 20 mm) es mayor en el escenario sin MRS. Sin embargo, estas diferencias no son estadísticamente significativas.

#### REFERENCIAS

- MacMartin, D.G., Ricke, K.L. y Keith, D.W., 2018: Solar geoengineering as part of an overall strategy for meeting the 1.5°C Paris target. *Phil. Trans. R. Soc. A*.37620160454
- Richter, J. H., Vioni, D., MacMartin, D. G., Bailey, D. A., Rosenbloom, N., Dobbins, B., Lee, W. R., Tye, M., y Lamarque, J.-F., 2022: Assessing Responses and Impacts of Solar climate intervention on the Earth system with stratospheric aerosol injection (ARISE-SAI): protocol and initial results from the first simulations, *Geosci. Model Dev.*, 15, 8221–8243, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-8221-2022>.
- United Nations Environment Programme, 2024: Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments. Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/46404>.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P.D., Klein Tank, A., Peterson, T.C., Trewin, B. and Zwiers, F.W., 2011: Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change*, 2, 851-870, doi:10.1002/wcc/147.