

SSASE: Un Índice Regional para Evaluar los Entornos de Tormentas Severas en Sudamérica Subtropical y su Representación en Modelos Regionales

Victoria A. Oruezabal^{1,2,3,*}, Silvina A. Solman^{1,2,3}

***Autora Correspondiente:** victoria.oruezabal@cima.fcen.uba.ar

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 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: Condiciones del entorno; Modelos Regionales; Sudamérica Subtropical; Tormentas Severas

1. Introducción

Sudamérica subtropical es una de las regiones más afectadas por tormentas severas (granizo, tornados y vientos fuertes no tornádicos), tanto en frecuencia como en intensidad (Zipser et al. 2006). Este tipo de fenómenos puede generar impactos significativos. En Argentina, por ejemplo, donde la viticultura es clave en la economía mendocina, el granizo puede causar pérdidas de hasta un 22 % de las ganancias anuales (Van den Bosch 2022). En este contexto, los modelos climáticos regionales se presentan como herramientas clave para el estudio de estos fenómenos, ya que permiten representar con mayor resolución espacial los procesos que controlan el desarrollo de tormentas severas, especialmente en regiones complejas como Sudamérica subtropical.

Dada la escala horizontal reducida de estos eventos y la escasez de reportes confiables, especialmente en el hemisferio sur, las estadísticas robustas sobre tormentas severas son limitadas. Como alternativa, diversos estudios (Brooks, Lee y Craven 2003, Prein y Holland 2018) han desarrollado índices de condiciones favorables para tormentas severas, en su mayoría aplicados al hemisferio norte. La falta de herramientas adaptadas al sur global motiva el desarrollo de un índice regional robusto. El objetivo central es evaluar si los modelos regionales pueden captar los patrones climáticos de los entornos favorables a tormentas severas, con vistas a proyectar sus cambios en escenarios futuros.

2. Metodología

Desarrollamos (Oruezabal y Solman 2025) un índice regional denominado SSASE (Subtropical South American Severe Environment Index) con el objetivo de identificar entornos potencialmente favorables para el desarrollo de tormentas severas, representativos de Sudamérica subtropical:

$$-1,6 \log_{10}(\text{MUCAPE}) - 1,84 \log_{10}(\text{VIMFD} \times -10^4) - 3,2 \log_{10}(\text{shear}) < -9 \quad (1)$$

Donde MUCAPE es la energía convectiva disponible máxima del perfil, VIMFD es la convergencia del flujo de humedad integrado verticalmente y “shear” es la cortante del viento entre superficie y 500 hPa. Las variables se incorporan al modelo de forma logarítmica, dado que esta transformación mejora la separación entre eventos severos y no severos.

La inclusión de VIMFD es especialmente relevante para captar mejor las condiciones nocturnas sobre el este de Argentina, donde la convergencia de humedad es determinante para la organización de sistemas convectivos. En Oruezabal y Solman 2025 se realizó la calibración y validación con el reanálisis ERA 5 con resolución temporal de 3 horas, mostrando resultados promisorios para capturar la ocurrencia de eventos severos.

Este estudio se centra en evaluar si SSASE puede ser utilizado como una herramienta diagnóstica eficaz aplicado a modelos climáticos regionales. Para ello, se computó el índice utilizando las salidas del modelo

climático regional (MCR) RegCM4.7, anidado en tres modelos globales del experimento CORDEX-CORE (MPI, HadGEM y NorESM1) considerando el período histórico 1979–2005 y las 4 horas principales del día (00:00, 06:00, 12:00 y 18:00 UTC). Esto nos permite investigar si el MCR logra representar adecuadamente la climatología de entornos severos observada en ERA5, evaluando la distribución espacial, los ciclos diurno y estacional, y la variabilidad interanual de ocurrencia de eventos severos en la región subtropical de Sudamérica. Además, este análisis constituye una base fundamental para futuros estudios sobre cambios proyectados en ambientes propensos a tormentas severas bajo escenarios de cambio climático, utilizando modelos regionales como herramienta de diagnóstico.

3. Resultados

3.1. Climatología

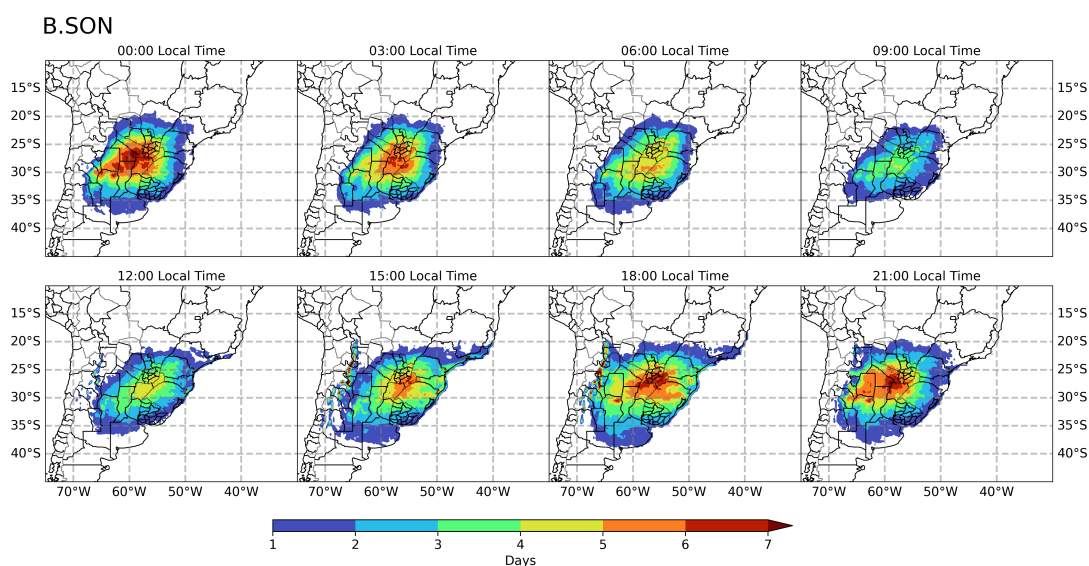


Figura 1: Número de eventos anuales de entornos severos basados en el índice SSASE durante las 8 horas principales para el período 1991–2020, mostrado para primavera.

En la figura 1 se presentan la cantidad de eventos severos capturados a partir del índice SSASE calibrado con ERA 5, para primavera y verano, estaciones de máxima actividad. En ambos casos, el centro-norte de Argentina emerge como la región preferencial para el desarrollo de estos entornos severos, en consonancia con otros estudios (Cecil y Blankenship 2012)

Durante la primavera, los máximos se ubican en el noreste argentino y ocurren mayormente en horario nocturno (00:00 hora local) (da Rocha et al. 2024). En verano, los máximos se desplazan hacia el oeste y ocurren principalmente durante la tarde-noche.

Este resultado destaca la capacidad del índice SSASE para representar adecuadamente el ciclo diurno de ocurrencia de eventos severos en la región, algo que otros índices, dominados por CAPE, no logran representar de manera satisfactoria. La inclusión de VIMFD, cuya máxima intensidad ocurre en horas nocturnas, permite capturar este comportamiento, aportando una mejora sustancial frente a otros enfoques basados únicamente en la inestabilidad.

3.2. Modelos Regionales

Se analizaron los entornos generados por RegCM4.7 anidado en tres modelos globales (MPI, HadGEM, NorESM1) del experimento CORDEX-CORE para Sudamérica. A partir de estas simulaciones se construyó una climatología de frecuencia de eventos severos basada en el índice SSASE.

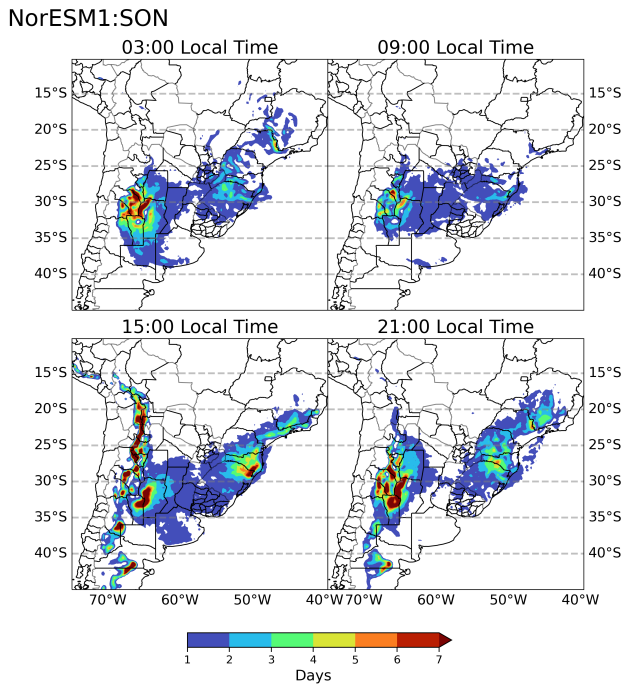


Figura 2: Número de eventos anuales de entornos severos basados en el índice SSASE basado en la simulaciones del REGCM4.7, anidado en NorESM1 durante las 4 horas principales para el período 1970–2005, mostrado para primavera(SON)

Si bien la distribución espacial general es coherente con lo ya obtenido, con máxima actividad en el centro-norte de Argentina durante primavera y verano, los modelos regionales tienden a subestimar la cantidad de eventos severos y muestran una extensión geográfica más limitada, sin alcanzar regiones como Santiago del Estero. Así como se encuentra limitado a la hora de representar el ciclo diurno.

Estas diferencias se explican principalmente por una subestimación de CAPE y VIMFD en los modelos regionales respecto a ERA5. El análisis termodinámico revela que todos los modelos presentan temperaturas mayores en niveles bajos, pero también bajo contenido de humedad en estos mismos niveles. Esta combinación reduce la inestabilidad disponible y la magnitud de la convergencia de la humedad. La magnitud de estos sesgos varía entre modelos: es más acentuada en la simulación anidada en el MCG MPI y menos pronunciada en la de NorESM1(Figura 2), que muestra una mejor correspondencia con ERA5.

4. Conclusiones

A pesar de estas discrepancias, el índice SSASE se presenta así como una herramienta útil para diagnosticar y comparar la representación de estos entornos en modelos regionales, tanto en contextos presentes como para proyecciones futuras de cambio climático.

Referencias

- Brooks, Harold, Lee, James y Craven, Jeffrey (2003). «The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data». En: *Atmospheric Research* 67-68, págs. 73-94. DOI: 10.1016/S0169-8095(03)00045-0.
- Cecil, Daniel J. y Blankenship, Clay B. (2012). «Toward a Global Climatology of Severe Hailstorms as Estimated by Satellite Passive Microwave Imagers». En: *Journal of Climate* 25.2, págs. 687-703. DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00130.1. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/25/2/jcli-d-11-00130.1.xml>.
- da Rocha, Rosmeri Porfírio et al. (2024). «Precipitation Diurnal Cycle Assessment in Convection-Permitting Simulations in Southeastern South America». En: *Earth Systems and Environment* 8, pág. 100135. DOI: 10.1007/s41748-023-00482-8.
- Oruezabal, Victoria A. y Solman, Silvina A. (2025). «Development of a severe storm index based on environmental conditions for Subtropical South America». En: *Earth System and Environment*.
- Prein, Andreas y Holland, Greg (2018). «Global estimates of damaging hail hazard». En: *Weather and Climate Extremes* 22. DOI: 10.1016/j.wace.2018.10.004.
- Van den Bosch, María Eugenia (2022). «EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS PÉRDIDAS POR GRANIZO EN LOS OASIS DE LA PROVINCIA DE MENDOZA E IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS». En: *Revista De Investigación En Modelos Financieros* 1, págs. 63-77.
- Zipser, Edward et al. (2006). «Where Are the Most Intense Thunderstorms on Earth?». En: *Bulletin of The American Meteorological Society - BULL AMER METEOROL SOC* 87. DOI: 10.1175/BAMS-87-8-1057.