

# CARACTERIZACIÓN DE EXTREMOS COMPUESTOS DE VIENTO Y PRECIPITACIÓN EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA

Carla Viazzo<sup>1</sup>, María Laura Bettolli<sup>1,2</sup>  
[cviazzo@at.fcen.uba.ar](mailto:cviazzo@at.fcen.uba.ar). Autora correspondiente.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO)

<sup>2</sup>Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IFAECI)

**Palabras clave:** concurrencia de extremos, regresión logística, bases reticuladas, estacionalidad

## 1) INTRODUCCIÓN

Los eventos extremos climáticos representan grandes amenazas para diversos sectores socioeconómicos. En ocasiones, los eventos extremos individuales pueden interactuar y ocurrir asociados a un mismo sistema meteorológico; a tales eventos se los denomina extremos compuestos y sus impactos asociados pueden aumentar considerablemente respecto a los extremos individuales.

Dentro de los eventos compuestos, la ocurrencia conjunta de extremos de viento y precipitación cerca de superficie es de especial interés debido a sus potenciales impactos, tales como crecidas repentinas y mayores daños estructurales, entre otros. Este tipo de eventos ha sido estudiado, principalmente en el hemisferio norte (e.g., Martius et al., 2016; Chen et al., 2025; Zscheischler et al., 2021). En Argentina, y en particular en el Sudeste de Sudamérica (SESA), estos extremos compuestos no han sido explorados en la literatura. Más aún, no tenemos conocimiento de estudios de extremos individuales de viento en la región.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es caracterizar los eventos extremos compuestos de viento y precipitación en SESA, utilizando distintas bases de datos. Dado el vacío de información sobre extremos de viento, se incluye, además, una caracterización de los extremos individuales, como paso necesario para entender su contribución a los extremos compuestos y también aportar a su entendimiento.

## 2) DATOS

Se usaron las variables precipitación acumulada diaria (PP) y velocidad del viento máxima diaria a 10 m (WS10\_MAX) provenientes de cuatro bases de datos: ERA5, MSWX, WFDE5 y NASA Power. En ERA5, MSWX y WFDE5, ambas variables fueron calculadas a partir de datos subdiarios, mientras que en NASA Power se descargaron directamente PP y WS10M\_MAX, dado que los datos horarios sólo están disponibles a partir del año 2000. En la Tabla I se resumen las principales características de las fuentes de datos utilizadas.

Fuente de datos	Resolución temporal	Resolución horizontal	Periodo temporal	Referencia
ERA5	Horaria	0.25°x0.25°	1979-2024	<a href="https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview</a>
WFDE5	Horaria	0.5°x0.5°	1979-2019	<a href="https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/derived-near-surface-meteorological-variables?tab=overview">https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/derived-near-surface-meteorological-variables?tab=overview</a>
NASA Power	Diaria	0.5°x0.625°	1981-2024	<a href="https://power.larc.nasa.gov/">power.larc.nasa.gov/</a>
MSWX	3-horaria	0.1°x0.1°	1979-2024	<a href="https://gloh2o.org/mswx/">gloh2o.org/mswx/</a>

Tabla I: Principales características de las fuentes de datos empleadas en el presente trabajo. Para más información consultar los links de referencia.

En particular, WFDE5 aplica una corrección de bias a los datos horarios de ERA5. De forma similar, MSWX incluye a ERA5 entre sus fuentes de datos. NASA Power, por el contrario, está basada en MERRA2 y resulta independiente de las otras fuentes utilizadas en el presente trabajo.

Todas las bases fueron interpoladas, mediante interpolación bilineal, a la resolución más fina, correspondiente a MSWX. Dada la naturaleza poco frecuente de los eventos extremos, y más aún de extremos compuestos, se usó la mayor cantidad de datos disponibles hasta 2024 en cada fuente de información, sin limitar el análisis a un período coincidente entre todas.

La región de estudio es SESA (20°S-40°S y 65°O-45°O).

### 3) METODOLOGÍA

Los extremos de viento y precipitación se definieron como los días en que se superó el percentil 95, calculado sobre todo el período disponible para cada base de datos de manera individual. Luego se realizó un estudio de la estacionalidad de los mismos, calculando la frecuencia relativa de ocurrencia en cada estación del año.

La ocurrencia de eventos compuestos se identificó como los casos en que, habiéndose registrado un evento extremo de precipitación, también se observó un evento extremo de viento el mismo día, el día anterior o el día posterior, ya sea en el mismo punto de retícula o a una distancia máxima de  $0.1^\circ$  en latitud o longitud. Esta flexibilización espacio-temporal permite capturar eventos en los que ambos extremos están asociados a un mismo sistema meteorológico aunque no se produzcan exactamente al mismo tiempo o en el mismo lugar. Enfoques similares fueron adoptados en otros estudios de eventos compuestos (e.g., Martius et al., 2016; Zscheischler et al., 2021).

Para cuantificar la ocurrencia de extremos se usaron dos enfoques. El primero consiste en contar el número de eventos compuestos y calcular su frecuencia relativa respecto a los extremos individuales de precipitación. En este caso se estudió, al igual que con los extremos individuales, su estacionalidad.

En el segundo enfoque utilizó una regresión logística para cuantificar la razón de momios (OR, por sus siglas en inglés) de que ocurra un evento extremo de precipitación dado que ocurrió un extremo de viento:

$$\text{Logit}(p(t)) = \beta_0 + \beta_1 \text{WS10M\_EXT}(t) \quad (1)$$

donde  $\text{WS10M\_EXT}(t)$  es la serie temporal binaria que indica la ocurrencia (1) o no ocurrencia (0) de eventos extremos de viento el día anterior o el día posterior, ya sea en el mismo punto de retícula o a una distancia máxima de  $0.1^\circ$  en latitud o longitud.  $\text{Logit}(p(t))$  equivale a:

$$\text{Logit}(p(t)) = \log(p(t) / (1 - p(t))) \quad (2)$$

donde  $p(t) = P(\text{PP\_EXT}(t) = 1 | \text{WS10M\_EXT}(t))$  representa la probabilidad condicional de observar un evento extremo de precipitación dado un valor  $\text{WS10M\_EXT}(t)$ .  $\text{PP\_EXT}(t)$  es la serie temporal análoga a  $\text{WS10M\_EXT}(t)$ , pero para los extremos de precipitación.

De esta forma, de las ecuaciones 1 y 2, se desprende que OR, dada por  $\exp(\beta_1)$ , cuantifica la relación entre ocurrencia de extremos de viento y la probabilidad de observar un extremo de precipitación. En particular, valores de  $\text{OR} > 1$  indican que la ocurrencia de un extremo de viento aumenta la probabilidad de ocurrencia de extremos de precipitación, mientras que valores de  $\text{OR} < 1$  señalan lo contrario.

### 4) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1a,f,k,p presenta la frecuencia relativa de ocurrencia extremos compuestos en relación con la ocurrencia de extremos individuales de precipitación, para las bases de datos ERA5, MSWX, WFDE5 y NASA Power, respectivamente. En general, los extremos compuestos son más frecuentes sobre el océano y en las zonas costeras, con valores que superan el 30%. En Uruguay, Paraguay, el centro de Argentina y el sur de Brasil, la frecuencia de ocurrencia de compuestos oscila entre 20% y 40% según la base de datos analizada. Por otro lado, en el norte de SESA y el noroeste argentino (NOA), la frecuencia de compuestos resulta relativamente baja (inferior al 12%). Esta menor frecuencia podría deberse a la fuerte estacionalidad, desfasada, de los extremos individuales en la región: los eventos de precipitación son más frecuentes en verano (DEF), mientras que los de viento predominan en primavera (SON) (no mostrado).

En la mayor parte de la región continental, la ocurrencia de compuestos es mayor el SON (Figura 1e,j,o,t), abarcando alrededor del 40% del total de extremos compuestos identificados. En el sur de Brasil y en la zona precordillerana, principalmente al norte de  $30^\circ\text{S}$ , sin embargo, más del 50% de los extremos compuestos ocurren en DEF (Figura 1b,g,l,q). En general, sobre el océano y en las zonas costeras se observa que la ocurrencia de compuestos es mínima en DEF y máxima en JJA (Figura 1d,i,n,s). Sobre el océano, no obstante, las frecuencias presentan valores similares en MAM, JJA y SON, de entre 25% y 30%.

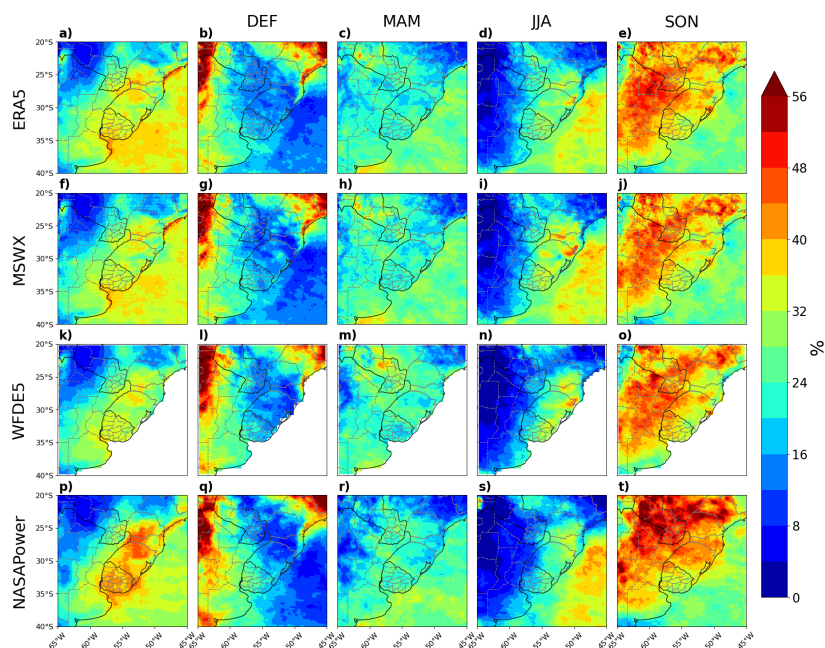


Figura 1: Primera columna (a,f,k,p): frecuencia relativa (%) de ocurrencia de eventos extremos compuestos de viento y precipitación, en relación con la ocurrencia de eventos extremos individuales de precipitación. Columnas siguientes: distribución estacional (%) de los eventos compuestos respecto del total de eventos compuestos identificados, para DEF (segunda columna; b,g,l,q), MAM (tercera columna; c,h,m,r), JJA (cuarta columna; d,i, n,s) y SON (quinta columna; e,j,o,t). Cada fila corresponde a una base de datos distinta: ERA5 (primera fila; a-d), MSWX (segunda fila; f-j), WFDE5 (tercera fila; k-o) y NASA Power (cuarta fila; p-t).

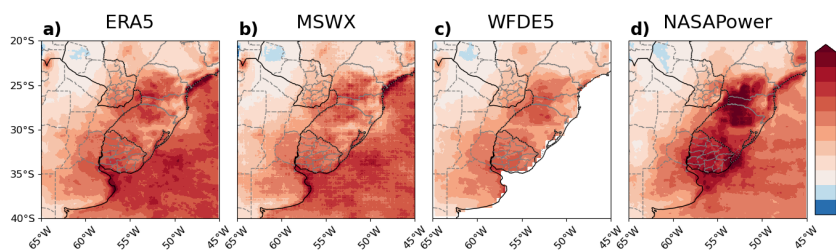


Figura 2: OR para ERA5 (a), MSWX (b), WFDE5 (c) y NASA Power (d).

Las distribuciones espaciales de frecuencia de extremos compuestos, y su distribución estacional, resultan, en general, consistentes entre las distintas bases de datos, aunque se observan diferencias en la intensidad de los valores. En particular, las mayores diferencias se observan para NASA Power, que presenta frecuencia de ocurrencia de compuestos sistemáticamente más altas en Uruguay, Paraguay, el centro de Argentina y el sur de Brasil (Figura 1p). Además, el porcentaje de compuestos que ocurren en SON (Figura 1t) en gran parte de la región continental es más intenso para esta base de datos. Estas diferencias pueden atribuirse a que NASA Power es la única fuente de datos estudiada que es independiente de ERA5.

Los resultados de la regresión logística (Figura 2) son consistentes con los observados en los campos de frecuencia relativa de ocurrencia de compuestos (Figura 1a,f,k,p). Al igual que en el análisis de frecuencias, NASA Power presenta diferencias respecto a las demás bases de datos, con valores de OR más altos en Uruguay, Paraguay, el centro de Argentina y el sur de Brasil (Figura 2d). En general, los OR son mayores a 1, lo que indica que en SESA la ocurrencia de un extremo de viento aumenta la probabilidad de que ocurra un extremo de precipitación.

## REFERENCIAS

- Chen, T.-C. y Di Luca, A., 2025:** Characteristics of precipitation and wind extremes induced by extratropical cyclones in Northeastern North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130, 6, e2024JD042079. doi: <https://doi.org/10.1029/2024JD042079>.
- Martius, O., Pfahl, S. y Chevalier C., 2016:** A global quantification of compound precipitation and wind extremes. *Geophysical Research Letters*, 43, 14, 7709–7717. doi: <https://doi.org/10.1002/2016GL070017>.
- Zscheischler, J., Naveau, P., Martius, O., Engelke, S. y Raible, C.C., 2021:** Evaluating the dependence structure of compound precipitation and wind speed extremes. *Earth System Dynamics*, 12, 1, 1–16. doi: <https://doi.org/10.5194/esd-12-1-2021>.