

TENDENCIAS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO EN ARGENTINA, 1993-2022

María Mercedes Poggi¹, César Azorín-Molina², María Laura Bettolli³, María de los Milagros Skansi¹, Tim R. McVicar⁴, Shalenys Bedoya-Valest²

mpoggi@smn.gob.ar

¹Dirección Central del Monitoreo del Clima, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

²Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Climate, Atmosphere and Ocean Laboratory (Climatoc-Lab), Moncada, Valencia, España.

³Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

⁴CSIRO Environment, GPO Box 1700, Canberra, ACT 2601, Australia.

Palabras clave: Observaciones, variabilidad, fenómenos *stilling*-reversal.

1) INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se han observado cambios en la velocidad del viento cercano a superficie (SWS, 10-m). Se han identificado tendencias decrecientes, un fenómeno denominado *stilling* por Roderick et al. (2007), tanto en las regiones tropicales como en las latitudes medias de ambos hemisferios y sobre superficies continentales, en el período que comienza aproximadamente en los años 1960-1970 y termina en los años 2000-2010 (McVicar et al., 2012). Desde 2011, sin embargo, varios estudios indicaron que la tasa del *stilling* ha disminuido (Guo et al., 2011), informando de una recuperación de la SWS, fenómeno referido como *reversal* (Zeng et al., 2019). Gran parte de estos estudios son de naturaleza regional, ubicándose exclusivamente en el hemisferio norte (Azorín-Molina et al., 2014), y aquellos globales utilizan principalmente observaciones de dicho hemisferio. En el hemisferio sur, por el contrario, existe poca evidencia, pero tanto las observaciones como las proyecciones indican tendencias positivas de la SWS, lo que resalta una asimetría interhemisférica. Para complementar estos análisis, es importante abordar estudios allí y, en especial, en América Central y Sudamérica, donde aún faltan investigaciones exhaustivas (McVicar et al., 2012).

En Argentina, los estudios sobre las tendencias de la SWS son escasos, a pesar de los avances logrados por Merino y Gassman (2021). Los estudios suelen centrarse en una única estación o región, principalmente en la Patagonia, debido a sus vientos intensos y persistentes. Frente a este contexto, el objetivo general del trabajo es analizar las tendencias de la SWS en la red de estaciones convencionales del país entre 1993 y 2022, para evaluar si se observan los fenómenos de *stilling* y *reversal* en estas latitudes. Los objetivos principales son:

a) obtener series mensuales de la SWS de calidad y homogeneizadas, con una compilación detallada del instrumental de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN);

b) evaluar las tendencias y variabilidad decadal de las series anuales y estacionales de las anomalías de la SWS, junto con su distribución espacial, en el período 1993-2022 y en los subperíodos 1993-2012 y 2013-2022, considerando las estaciones australes estándar;

c) investigar la posible relación entre las tendencias observadas y ciertos forzantes de escala global y regional que tienen influencia en el clima de Argentina, así como con la circulación de la Celda de Hadley y la frecuencia de tipos de circulación sinóptica o *weather types*.

2) DATOS

Se trabajó con series mensuales de SWS de 86 estaciones del SMN en el período 1993-2022, equipadas con distintos tipos de instrumental: anemómetros ultrasónicos, electromecánicos y anemoveletas pendulares. Se utilizó el paquete Climatol v4.1.0 (Guijarro, 2024) para realizar el control de calidad, el relleno de datos faltantes y la homogeneización de estas series.

Para investigar la influencia de ciertos fenómenos y de la circulación atmosférica en las tendencias observadas, se consideraron índices de aquellos forzantes globales que son impulsores importantes de la variabilidad climática sobre Sudamérica. También se incluyeron índices de forzantes de escala regional y de cambios en la intensidad y posición de los anticiclones subtropicales del Pacífico Sur y del Atlántico Sur. Por último, se emplearon series de frecuencias de *weather types*, obtenidas a partir del esquema de Jenkinson y Collison (1977).

3) METODOLOGÍAS

Se realizó una clusterización de las series de la SWS, lo que permitió definir dos regiones: el centro y norte argentino, y la Patagonia. Se analizaron series de anomalías mensuales medias de la SWS, tanto en los puntos de estación como en los promedios regionales. Se trabajó con series a escala anual y estacional, a las que se aplicó un filtro de media móvil centrada con una ventana de 10 años, con el objetivo de resaltar la variabilidad de baja frecuencia. En las series observadas y filtradas se identificaron *breakpoints*, los cuales pueden indicar cambios en las tendencias. Se realizó un análisis de tendencias para el período completo 1993-2022 y los subperíodos 1993-2012 y 2013-2022. Para ello, se utilizó el método no paramétrico de Sen y el test de Mann-Kendall modificado. Asimismo, para identificar el inicio y la persistencia de las tendencias observadas, se aplicó un análisis de tendencias móviles.

Se calculó el coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre las series de anomalías de la SWS y los índices considerados, así como con la frecuencia de los *weather types*.

La significancia de la identificación de los *breakpoints*, de las tendencias y de la correlación se clasificó en 3 categorías: significativa a $p < 0,05$ y a $p < 0,10$ y no significativa a $p > 0,10$.

4) RESULTADOS

Entre 1993 y 2022, en ambas regiones, se observa una disminución de la SWS anual y en verano y primavera, lo que evidencia la presencia del *stilling*. Esta disminución resulta significativa en verano en la Patagonia y en primavera en el centro y norte argentino.

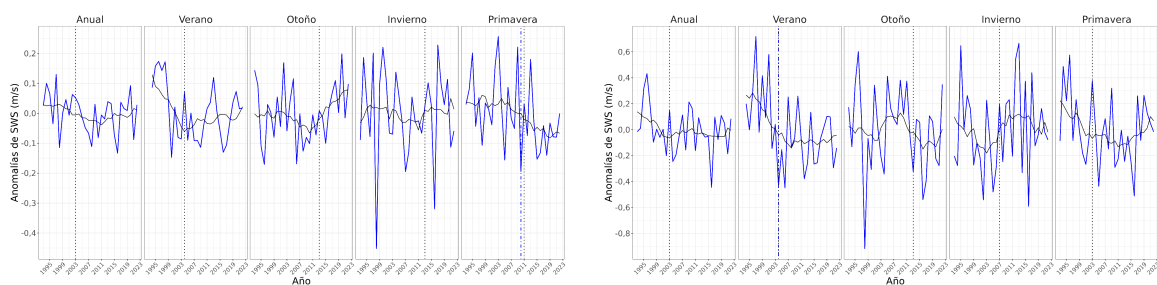


Figura 1: Series de anomalías de la SWS (en m/s) para el centro y norte argentino (izq.), y la Patagonia (der.), en el período 1993-2022. La línea negra representa un filtro de media móvil centrada con una ventana de 10 años.

Sin embargo, el análisis por subperíodos reveló que, en gran parte de los casos, hay un cambio de signo en las tendencias. A escala anual, en el subperíodo 1993-2012, el 69% (31%) de las estaciones muestran tendencias negativas (positivas), mientras que el 20% (5%), tendencias significativas negativas (positivas). Por el contrario, en el subperíodo 2013-2022, el 45% (55%) de las estaciones exhibe tendencias negativas (positivas), mientras que el 7% (7%), tendencias significativas negativas (positivas).

5) DISCUSIÓN

A partir de series regionales, se confirmó una disminución significativa de la *SWS* anualmente y durante el verano y la primavera desde 1993 hasta 2022. Esta disminución no fue constante en el tiempo, observándose un comportamiento variable a lo largo del período. El análisis de tendencias en los subperíodos 1993-2012 y 2013-2022, así como en ventanas móviles, permitió confirmar que existe un cambio en las tendencias en el inicio y hacia el final del período, con una transición de tendencias negativas a tendencias menos negativas o incluso positivas. Este cambio se advierte en todas las estaciones del año, con la excepción del invierno en Patagonia. Lo hallado pone en evidencia el fenómeno *stilling*, el cese del mismo e, inclusive, la presencia del *reversal*.

Las correlaciones significativas encontradas con los índices y los *weather types* resaltan el papel de la circulación atmosférica en la variabilidad multidecadal de la *SWS*.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolló en el marco del proyecto RED-CLIMA 2 (programa LINGGLOBAL - CSIC, Ref. LINGG24042).

REFERENCIAS

- Azorín-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M., McVicar, T. R., Jerez, S., Sanchez-Lorenzo, A., López-Moreno, J. I., ... y Espírito-Santo, F., 2014:** Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961–2011. *Journal of Climate*, 27(10), 3692-3712.
- Guijarro, J. A., 2024:** *climatol: Climate Tools (Series Homogenization and Derived Products)*. R package version 4.1.0, <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>.
- Guo, H., Xu, M., y Hu, Q., 2011:** Changes in near-surface wind speed in China: 1969-2005. *International Journal of Climatology*, 31, 349-358.
- Jenkinson, A. F., y Collison, F. P., 1977:** An initial climatology of gales over the North Sea. Synoptic climatology branch memorandum, 62, 18.
- McVicar, T. R., Roderick, M. L., Donohue, R. J., Li, L. T., Van Niel, T. G., Thomas, A., ... y Dinpashoh, Y., 2012:** Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. *Journal of Hydrology*, 416, 182-205.
- Merino, R. A., y Gassmann, M. I., 2022:** Wind trends analysis in southern South America from weather station and reanalysis data. *International Journal of Climatology*, 42(4), 2117-2134.
- Zeng, Z., Ziegler, A. D., Searchinger, T., Yang, L., Chen, A., Ju, K., ... y Wood, E. F., 2019:** A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nature Climate Change*, 9(12), 979-985.