

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 y Shalenys BEDOYA-VALESTT²

¹*Dirección Central del Monitoreo del Clima, Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, Servicio Meteorológico Nacional (DCMC-DNCIPS-SMN), Argentina.*

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

³*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturas, Universidad de Buenos Aires (DCAO-FCEyN-UBA), Argentina.*

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

mpoggi@smn.gob.ar, cesar.azorin@csic.es

RESUMEN

Este estudio analiza series homogeneizadas de velocidad del viento cercano a la superficie (*SWS*, 10-m) en 86 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de Argentina para el período 1993-2022. Se centra en las cuatro estaciones del año y en dos grandes regiones: el centro-norte argentino y la Patagonia. Los análisis de tendencia y variabilidad confirman la ocurrencia de los fenómenos de *stilling* y *reversal* en estas latitudes, si bien la señal varía en función de la región y la época del año, ocurriendo el cese del *stilling* primeramente en verano. El estudio también revela que ciertos tipos de circulación sinóptica y forzantes globales y regionales, como la Baja del Noroeste Argentino, están asociados con los cambios observados en *SWS*. Estos hallazgos amplían nuestro conocimiento sobre las tendencias de *SWS* en el hemisferio sur, donde existen pocos estudios en comparación con el hemisferio norte, y proporcionan una base sólida para investigaciones futuras sobre el potencial de energía eólica de Argentina.

Palabras clave: viento, tendencias, fenómenos *stilling-reversal*, Argentina.

ABSTRACT

This study analyzes homogenized near-surface wind speed (*SWS*, 10-m) series at 86 meteorological stations distributed across Argentina for 1993-2022. It focuses on the four seasons of the year and on two large regions: central-northern Argentina and Patagonia. The analyses of the trends and variability confirm the occurrence of *stilling* and *reversal* phenomena at these latitudes, although the signal varies depending on the region and time of year, with the cessation of *stilling* occurring earlier in summer. The study also reveals that certain types of synoptic circulations and global and regional forcings, such as the Argentine Northwest Low, are associated with the

observed changes in *SWS*. These results expand our knowledge of *SWS* trends in the Southern Hemisphere, where few studies exist compared to the Northern Hemisphere, and provide a solid basis for future research on the wind energy potential of Argentina.

Key words: Wind, trends, *stilling-reversal* phenomena, Argentina.

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, en el período que comienza aproximadamente en los años 1960-1970 y termina en los años 2000-2010 (McVicar et al., 2012). Según una revisión de 148 estudios sobre las tendencias de la *SWS* en todo el mundo, McVicar et al. (2012) encontraron que la tasa promedio de *stilling* fue de -0,014 m/s por año, lo que representa un cambio de -0,7 m/s en 50 años. Esta tendencia decreciente ha sido confirmada por investigaciones realizadas en Europa y Asia (Azorín-Molina et al., 2014; You et al., 2014). Desde 2011, sin embargo, varios estudios indicaron que la tasa del *stilling* ha disminuido (Guo et al., 2011), informando una recuperación de la *SWS*, fenómeno referido como *reversal*. Gran parte de estos estudios son de naturaleza regional, ubicándose exclusivamente en el hemisferio norte (Utrabo-Carazo et al., 2022), y aquellos globales utilizan principalmente observaciones de dicho hemisferio (Zeng et al., 2019).

Para complementar estos análisis, es importante determinar si los fenómenos de *stilling* y *reversal* se observan en el hemisferio sur y, en especial, en América Central y Sudamérica, donde aún faltan estudios exhaustivos sobre las tendencias de la *SWS* (McVicar et al., 2012). En Australia se han reportado tendencias de la *SWS* entre 1975 y 2006, sin evidencia del *reversal* (McVicar et al., 2008), lo cual puede deberse a que el período de estudio concluye antes de 2010, año identificado por Zeng et al. (2019) como el inicio del *reversal* global. Por su parte, en Brasil, se ha documentado un decrecimiento de la *SWS* en el noreste (da Silva et al., 2010).

Los estudios sobre las tendencias y climatología de la *SWS* en Argentina son escasos, a pesar de los avances recientes logrados por Merino y Gassman (2021), quienes analizaron los cambios de la *SWS* en 18 estaciones entre 1990 y 2020, encontrando una disminución significativa en la mayoría de ellas, con reducciones de hasta 0,49 m/s por década. En general, los estudios en Argentina se centran en una única estación o región, siendo la Patagonia la región predilecta por sus vientos intensos y persistentes.

Frente a este contexto, el objetivo general del trabajo es analizar por primera vez las tendencias de la *SWS* en 86 estaciones meteorológicas de Argentina en el período 1993-2022, para evaluar si se observan los fenómenos de *stilling* y *reversal* en estas latitudes. Los objetivos principales son:

i) obtener series mensuales de la *SWS* de alta calidad y homogeneizadas, con una compilación detallada del instrumental de la red de estaciones convencionales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina;

ii) 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 subperiodos 1993-2012 y 2013-2022, considerando las estaciones australes estándar (verano: diciembre, enero y febrero; otoño: marzo, abril y mayo; invierno: junio, julio y agosto; y primavera: septiembre, octubre y noviembre);
 iii) 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 frecuencia de tipos de circulación sinóptica o *weather types*.

2. DATOS

2.1. Datos observados homogeneizados

Se trabajó con las series mensuales de la *SWS* de 86 estaciones meteorológicas del SMN en el período 1993-2022, distribuidas a lo largo del país y equipadas con distintos tipos de instrumental de viento: el anemómetro ultrasónico, el anemómetro electromecánico y la anemóveleta pendular, instrumento mecánico que es empleado en el 37% de las estaciones (Fig. 1). Las series mensuales de la *SWS* se derivaron de observaciones diarias en los horarios de las 12, 18 y 00 UTC.

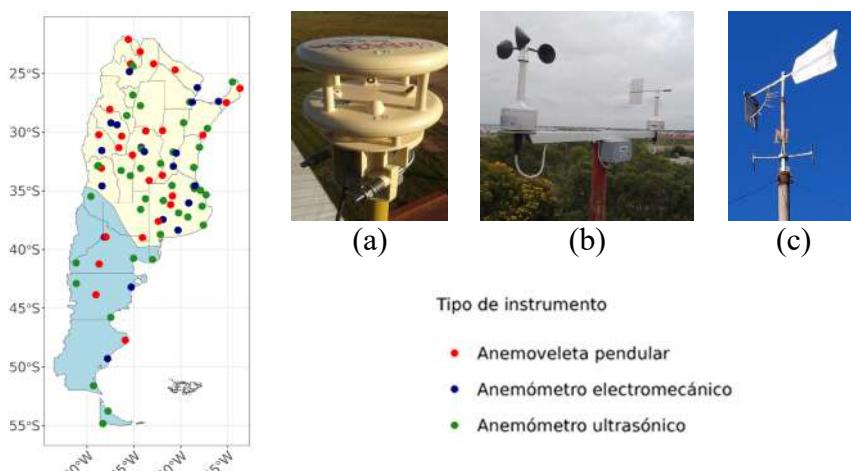


Fig. 1: Der.: Ubicación de las 86 estaciones meteorológicas convencionales del SMN y su instrumental de viento. Las estaciones en el área amarilla pertenecen a la región del centro y norte argentino, y las del área celeste, a la Patagonia. Izq.: (a) Anemómetro ultrasónico ubicado en la estación Paso de los Libres; (b) anemómetro electromecánico ubicado en la estación Formosa; y (c) anemóveleta pendular ubicada en la estación Ituzaingó.

Aunque varias estaciones cuentan con registros desde 1961, se eligió un período de estudio que comienza en 1993, ya que las series presentan menos datos faltantes y son más confiables.

Se empleó la versión 4.1.0 del paquete de R *Climatol* (Guíjarro, 2024) para realizar el control de calidad, el relleno de datos faltantes y la homogeneización de las series mensuales de la *SWS*, considerando el Test de Homogeneidad Normal Estándar (SNHT; Alexandersson, 1986). Se corrigieron 263 puntos de quiebre (*breakpoints*).

2.3. Índices de forzantes globales y regionales

Para estudiar la posible influencia de forzantes de gran escala en los cambios observados de la *SWS* en Argentina, se seleccionaron los índices asociados al fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO); a la Oscilación Antártica (AAO); al Dipolo del Océano Índico (IOD); y a la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). En cuanto a los forzantes de escala regional, se consideraron los índices asociados al Monzón Sudamericano (SAMS); al sistema de baja presión continental que se desarrolla en el noroeste argentino y el sur de Bolivia, conocido como la Baja del Noroeste Argentino (BNOA; Lichtenstein, 1980); y a la persistente anomalía cálida de la temperatura superficial del mar en el suroeste del océano Pacífico, conocida como el *Southern Blob* (Garreaud et al., 2021).

2.3. Tipos de circulación sinóptica

Se utilizó el esquema de Jenkinson y Collison (JC; Jenkinson y Collison, 1977) para asignar *weather types* a cada día del período analizado. Este esquema se basa en siete variables de circulación calculadas a partir de datos de presión a nivel del mar y clasifica los *weather types* en: flujo direccional, anticiclónicos, ciclónicos, tipos híbridos y flujo débil. A partir de este método, se obtuvieron series temporales del número de días por mes en que ocurrió cada tipo de circulación sinóptica.

3. MÉTODOS

3.1 Caracterización regional de la *u*

Uno de los aspectos destacados de *Climatol* es que realiza una clusterización de las series utilizando el método de agrupamiento jerárquico “ward.D2” (Johnson, 1967). A partir de este método, se identificaron ocho clústers que, a su vez, permitieron definir dos grandes regiones en función del comportamiento de la climatología anual de la *SWS*: el centro y norte argentino, y la Patagonia (Fig. 1).

3.1 Análisis de tendencias

Se trabajó con las anomalías medias mensuales de la *SWS*, analizando las series de las 86 estaciones meteorológicas, así como series promedio agregadas en las dos grandes regiones. A partir de ellas, se obtuvieron series anuales y estacionales, a las que se les aplicó un filtro de media móvil centrada con una ventana de 10 años, resultando en series filtradas que resaltan la variabilidad de baja frecuencia.

En las series observadas y filtradas, se identificaron *breakpoints* a partir del SNHT, los cuales pueden dar indicios de cambios en el comportamiento de las tendencias. Tanto para el período completo de 1993 a 2022 como para los subperíodos definidos

por los *breakpoints*, las tendencias se determinaron mediante un ajuste lineal. Se eligieron dos subperíodos representativos para el estudio: 1993-2012 y 2013-2022. La elección del año 2013 como punto de separación de los subperíodos se debe a que fue el último año en el que se identificaron *breakpoints* en las series, y porque permite realizar un análisis de al menos 10 años. La magnitud de las tendencias, en m/s por década, se estimó utilizando el método no paramétrico de Sen (Gilbert, 1987) y su significancia se evaluó mediante el test de Mann-Kendall modificado (Hamed y Rao, 1998), que tiene en cuenta la autocorrelación. Con el objetivo de determinar el inicio y la persistencia de las tendencias observadas, y siguiendo a Utrabo-Carazo et al. (2022), se aplicó un análisis de tendencias móviles con una amplitud de ventanas temporales que varían desde 10 años hasta la duración completa del período de estudio.

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

3.3 Análisis de correlación

Para cada mes, se calculó el coeficiente de correlación de rangos de Spearman entre las series de anomalías de la SWS de cada estación, las series agregadas en las dos regiones, los índices de forzantes globales y regionales, y las series de frecuencias de *weather types*. Las correlaciones se evaluaron considerando las mismas categorías de significancia descritas anteriormente.

4. RESULTADOS

4.1. Tendencias anuales y estacionales de la u

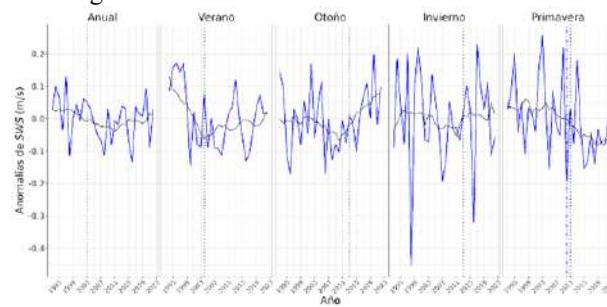
En el período 1993-2022 y para las dos regiones consideradas, la disminución de las anomalías de la SWS a escala anual y en las estaciones de verano y primavera es notable (Fig. 2), revelando la ocurrencia del *stilling*. Las series de anomalías medias de la SWS presentan tendencias negativas (Tabla 1). Aquellas significativas ($p < 0.05$) se observan durante el verano en la Patagonia, con una disminución de -0.12 m/s por década, y durante la primavera en el norte y centro argentino, con una disminución de -0.05 m/s por década. En el otoño y el invierno, por el contrario, no se observa esta disminución; en el centro y norte argentino se registra, inclusive, un aumento de las anomalías de la SWS durante el otoño. Para estos trimestres, las tendencias detectadas son nulas o débiles, ya sea positivas o negativas, y no son significativas a $p > 0.1$.

La mayoría de las series muestra un comportamiento distinto al inicio y al final del período analizado: el inicio se caracteriza por las mayores disminuciones de las anomalías de la SWS de todo el período, las cuales luego se atenúan o, en algunos casos, se tornan en incrementos. Esto sugiere que el fenómeno del *stilling*, con intensidades variables según la estación del año, ocurre principalmente al comienzo del período, seguido por un cese del mismo o por un posible *reversal*. A escala anual y para el verano, otoño y primavera, el análisis de tendencias en los subperíodos 1993-2012 y 2013-2022 reveló que en el primer subperíodo prevalecen las tendencias negativas, mientras que en el segundo subperíodo predominan tendencias positivas o

menos negativas en comparación con el primero. Durante 1993-2012, se registran tendencias negativas significativas ($a p < 0,05$) a escala anual para el centro y norte de Argentina, con una tendencia de $-0,06$ m/s por década. En verano, se observa una tendencia negativa significativa ($a p < 0,05$) tanto en esa región como en la Patagonia, con valores de $-0,09$ m/s y $-0,23$ m/s por década, respectivamente. Durante 2013-2022, ninguna de las tendencias resulta significativa ($a p > 0,10$), posiblemente debido al corto período de tiempo de análisis y a la alta variabilidad interanual. Las tendencias positivas se concentran, principalmente, en el otoño.

Para el invierno, en ambas regiones, el análisis de tendencias en los subperíodos indicó que el mayor declive de las anomalías de la SWS por década ocurre durante el último subperíodo de 10 años, con tendencias negativas, aunque no significativas ($a p > 0,10$). Para la Patagonia, se detecta una tendencia de $-0,57$ m/s por década durante 2013-2022, mientras que durante 1993-2012, esta es de $0,04$ m/s por década.

Centro y norte argentino



Patagonia

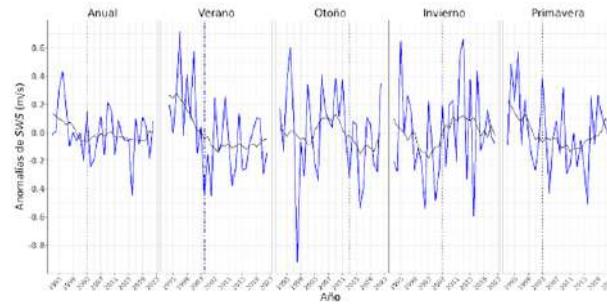


Fig. 2: Series anuales y estacionales de las anomalías de la SWS (en m/s) promediadas para el centro y norte argentino (arriba), y la Patagonia (abajo), en el período 1993-2022. La línea negra representa un filtro de media móvil centrada con una ventana de 10 años. Las líneas verticales representan los breakpoints encontrados en las series observadas y filtradas.

La identificación de *breakpoints* en las series observadas y filtradas no reveló un año específico para el cese del *stilling*, ya que este varía considerablemente entre las estaciones del año. Sin embargo, se observa que el cese ocurre antes en el verano, alrededor del año 2004.

Centro y norte argentino Patagonia			
Anual	1993-2022	-0,02	-0,03
	1993-2012	-0,06	-0,06
	2013-2022	-0,01	0,10
Verano	1994-2022	-0,03	-0,12
	1994-2012	-0,09	-0,23
	2013-2022	0,12	-0,05
Otoño	1993-2022	0,02	-0,05
	1993-2012	-0,06	0,03
	2013-2022	0,14	0,17
Invierno	1993-2022	0,00	0,04
	1993-2012	-0,07	0,04
	2013-2022	-0,09	-0,57
Primavera	1993-2022	-0,05	-0,06
	1993-2012	-0,06	-0,17
	2013-2022	-0,01	0,32

Tabla 1: Tendencias de las series anuales y estacionales de las anomalías de la SWS (en m/s por década) promediadas para el centro y norte argentino, y la Patagonia. Las tendencias estadísticamente significativas se muestran en negrita y cursiva para $p < 0,05$ y solo en negrita para $p < 0,10$.

El análisis de las tendencias móviles permitió confirmar la existencia de un cambio en el signo de las tendencias durante el verano, el otoño e, inclusive, durante el invierno en el centro y norte argentino (Fig. 3). Este cambio de tendencias negativas al inicio a positivas hacia el final, algunas de ellas significativas a $p < 0,05$, se observa en ventanas temporales de aproximadamente 10 a 15 años. Esta señal no es tan clara en la Patagonia (no se muestra).

El análisis en cada estación meteorológica a escala anual reveló que, durante el período 1993-2022, el 63% (37%) de las estaciones presenta tendencias negativas (positivas), mientras que el 14% (3%), tendencias significativamente negativas (positivas). En el subperíodo 1993-2012, el 69% (31%) de las estaciones muestra 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).

Centro y norte argentino

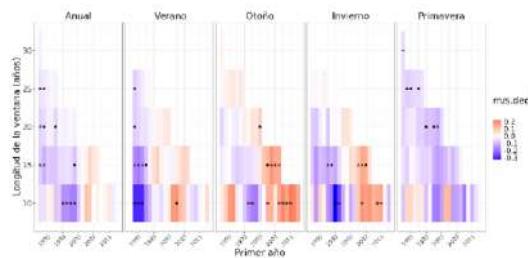
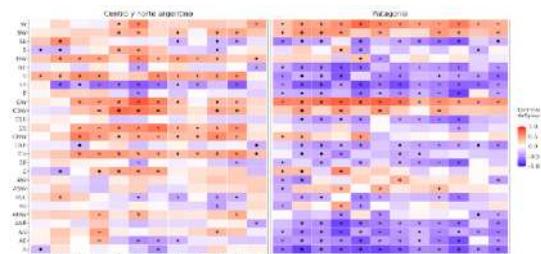


Fig. 3: Análisis de las tendencias móviles de las series anuales y estacionales de las anomalías de la SWS (en m/s por década) promediadas para el centro y norte argentino, desde 1993 a 2022. Los asteriscos y los puntos negros indican tendencias significativas a $p < 0,05$ y $p < 0,10$, respectivamente.

3.2. Influencia de forzantes globales y regionales, y de weather types

Se encontraron correlaciones significativas entre las series anuales y estacionales de las anomalías de la SWS y varios índices de forzantes globales y regionales (no se muestra). Algunas señales importantes estuvieron asociadas a los índices de la AAO y el ENSO. Entre los forzantes regionales, se destaca la BNOA, cuyo índice presenta el mayor número de correlaciones significativas (a $p < 0,10$) y positivas.

La correlación entre la frecuencia de ocurrencia de cada *weather type* del esquema JC y las series mensuales de las anomalías de la SWS agregadas regionalmente mostró que, para la Patagonia, los *weather types* que presentan las correlaciones positivas más altas y estadísticamente significativas (a $p < 0,05$) son los asociados a flujo del oeste y suroeste, y a circulaciones ciclónicas de estas direcciones (Fig. 4). Para dicha región, también predomina una correlación negativa con condiciones anticiclónicas y de flujo con componente este. Para el centro y norte argentino, los *weather types* asociados a las condiciones ciclónicas, pero de distintas direcciones, también presentan una fuertes correlaciones positivas y significativas (a $p < 0,10$).



4. DISCUSIÓN

En este estudio se investigaron los cambios de la *SWS* en Argentina durante un período de 30 años, utilizando datos de estaciones de referencia de la red del SMN. A partir de series promedio agregadas en dos grandes regiones, 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, tanto en el centro y norte de Argentina como en la Patagonia, con la excepción del invierno en esta última región. Lo hallado pone en evidencia los fenómenos de *stilling*, el cese del mismo e, inclusive, la presencia del fenómeno de *reversal*. Si bien no se encontró un año específico a partir del cual se pueda establecer el cese del *stilling*, se observó que este se presenta de manera más temprana en el verano.

Las correlaciones significativas entre las series mensuales de las anomalías *SWS* y los índices de forzantes global, como la AAO y el ENSO, así como de forzantes regionales, como la BNOA, y los *weather types*, resaltan el papel que ejerce la circulación atmosférica en la variabilidad multidecadal de la *SWS*. Otros mecanismos, como el efecto de los cambios en los usos y rugosidad del terreno, o en los errores de medida, deberían estudiarse en futuros trabajos.

A pesar de haber sido sometidas a un control de calidad y homogeneización, la confiabilidad de las series de la *SWS* aquí consideradas puede ser objeto de discusión, dado que se derivan de tres observaciones diarias y que gran parte de ellas corresponde a estimaciones realizadas con un instrumento mecánico. Sin embargo, es importante destacar que los resultados hallados en cuanto a la variabilidad y a las correlaciones con forzantes y *weather types* son coherentes con la circulación atmosférica y los mecanismos locales, lo cual avala su validez.

Este estudio amplía el conocimiento sobre las tendencias de la *SWS* en el hemisferio sur, abordando una brecha de investigación en Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó en el marco del proyecto RED-CLIMA 2 (programa LINCGLOBAL - CSIC, Ref. LINCG24042), con una ayuda para desarrollar una estancia de investigación en el CIDE (CSIC-UV-GVA) durante 2024.

REFERENCIAS

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6(6), 661-675. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- Azorín-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M., McVicar, T. R., Jerez, S., Sanchez-Lorenzo, A., López-Moreno, J. I., ... & Espírito-Santo, F. (2014). Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961-2011. *J. Climate*, 27(10), 3692-3712. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00652.1>
- da Silva, V. D. P. R., e Silva, R. A., Cavalcanti, E. P., Braga, C. C., de Azevedo, P. V., Singh, V. P., & Pereira, E. R. R. (2010). Trends in solar radiation in NCEP/NCAR

- database and measurements in northeastern Brazil. *Solar Energy*, 84(10), 1852-1862. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.07.011>
- Garreaud, R. D., Clem, K., & Veloso, J. V. (2021). The South Pacific pressure trend dipole and the Southern Blob. *J. Climate*, 34(18), 7661-7676. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0886.1>
- Gilbert, R. O. (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold Co. New York.
- 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., & Hu, Q. (2011). Changes in near-surface wind speed in China: 1969-2005. *Int. J. Climatol*, 31, 349-358. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.2091>
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *J. Hydrology*, 204(1-4), 182-196. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Jenkinson, A. F., & Collison, F. P. (1977). An initial climatology of Gales over the North Sea. *Synoptic climatology branch memorandum*, 62, 18.
- Johnson, S. C. (1967). Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika*, 32(3), 241-254. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02289588>
- Lichtenstein, E. R. (1980). La Depresión del Noroeste Argentino. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n1649_Lichtenstein
- McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Li, L. T., Roderick, M. L., Rayner, D. P., Ricciardulli, L., & Donohue, R. J. (2008). Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L20403. doi: <https://doi.org/10.1029/2008GL035627>
- McVicar, T. R., Roderick, M. L., Donohue, R. J., Li, L. T., Van Niel, T. G., Thomas, A., ... & Dinpashoh, Y. (2012). Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation. *J. Hydrology*, 416, 182-205. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.024>
- Merino, R. A., & Gassmann, M. I. (2022). Wind trends analysis in southern South America from weather station and reanalysis data. *Int. J. Climatol*, 42(4), 2117-2134. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.7355>
- Roderick, M. L., Rotstayn, L. D., Farquhar, G. D., & Hobbins, M. T. (2007). On the attribution of changing pan evaporation. *Geophys. Res. Lett.*, 34(17). doi: <https://doi.org/10.1029/2007GL031166>
- Utrabo-Carazo, E., Azorín-Molina, C., Serrano, E., Aguilar, E., Brunet, M., & Guijarro, J. A. (2022). Wind stilling ceased in the Iberian Peninsula since the 2000s. *Atmospheric Research*, 272, 106153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106153>
- You, Q., Fraedrich, K., Min, J., Kang, S., Zhu, X., Pepin, N., & Zhang, L. (2014). Observed surface wind speed in the Tibetan Plateau since 1980 and its physical causes. *Int. J. Climatol*, 34(6), 1873-1882. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.3807>
- Zeng, Z., Ziegler, A. D., Searchinger, T., Yang, L., Chen, A., Ju, K., ... & Wood, E. F. (2019). A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nat. Clim. Chang.*, 9(12), 979-985. doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0622-6>