

DESCRIPCIÓN DEL CIERZO, EL LEVANTE Y EL PONIENTE A TRAVÉS DEL REANÁLISIS DE ALTA RESOLUCIÓN COSMO-REA6 PARA EL PERIODO 2000-2018

María ORTEGA CAMACHO¹, Enrique SÁNCHEZ SÁNCHEZ², Claudia
GUTIÉRREZ ESCRIBANO³, María Ofelia MOLINA SÁNCHEZ¹

¹*Instituto de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha.*

²*Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica. Universidad de Castilla-La
Mancha.*

³*Departamento de Física y Matemáticas. Universidad de Alcalá.*

maria.ortega@uclm.es, e.sanchez@uclm.es, claudia.gutierrez@uah.es,
mofelia.molina@uclm.es

RESUMEN

Los vientos regionales suelen producirse mediante diferencias de presión que generan flujos de aire en áreas muy específicas. Cuando transitan a través de canales como valles o estrechos, dichos flujos adquieren un rango de direcciones particular y una velocidad considerable. Los reanálisis actuales no son capaces de describirlos dado que con frecuencia su resolución espacial no es lo suficientemente alta como para tener en cuenta las características orográficas con las que se relacionan. En este trabajo exploramos la aplicación del reanálisis de alta resolución (0,055°) COSMO-REA6 para estudiar el cierzo en el valle del Ebro y el levante y el poniente en el estrecho de Gibraltar, en el periodo 2000-2018. Con un umbral de 5 m/s y un rango direccional específico para cada viento, se obtienen alrededor de 95, 85 y 82 días de viento regional por año, respectivamente. Existe un acuerdo razonable en las estadísticas principales y los ciclos anuales, pese a cierta subestimación, respecto a la pequeña cantidad de datos observacionales disponibles. A partir del reanálisis, la extensión media anual de estos vientos, aunque con gran variabilidad, se da sobre 18000 kilómetros cuadrados para los vientos del estrecho y por encima de 25000 para el cierzo. Los patrones atmosféricos analizados asociados a los días de vientos regionales obtenidos son consistentes con otros trabajos parciales previos sobre vientos en la Península. Este estudio pretende contribuir a aumentar el conocimiento existente sobre vientos regionales en Europa.

Palabras clave: vientos regionales, reanálisis de alta resolución, *weather regimes*, cierzo, levante, poniente.

ABSTRACT

Regional winds are usually generated by pressure differences that produce air flows in very specific areas. When they pass through the Ebro Valley or the Strait of Gibraltar from the Iberian Peninsula, these flows acquire a particular range of directions and a considerable speed. Most of current reanalyses are unable to describe them since their spatial resolution is often not high enough to take into account the

orographic features to which they are related. In this paper we explore the application of high-resolution reanalysis (0.055°) COSMO-REA6 to study Cierzo in the Ebro Valley and Levante and Poniente in the Strait of Gibraltar in the period 2000-2018. With a threshold of 5 m/s and a specific directional range for each wind, around 95, 85 and 82 regional wind days per year are obtained, respectively. There is reasonable agreement on main statistics and annual cycles, despite some underestimation, between COSMO-REA6 and the small amount of available observational data. The average annual wind extension, although with great variability, is around 18000 km² for the winds of the Strait and over 25000 for Cierzo. Some of the weather regimes associated with these regional winds, as obtained by the reanalysis, present similarities with the literature. This study aims to increase the scarce existing knowledge about regional winds in Europe, which may be important in relation to renewable energies or anthropogenic climate change.

Key words: regional winds, high-resolution reanalysis, weather regimes, Cierzo, Levante, Poniente.

1. INTRODUCCIÓN

Los vientos regionales son aquellos que se producen mediante procesos de pequeña escala (cientos de kilómetros o menos) y que duran de pocos segundos a días (American Meteorological Society, 2022). Pueden generarse de muy diversas maneras, como flujos de calor o la interacción del aire con la orografía en la escala sinóptica, y generalmente se les conoce por nombres propios y característicos. La Península Ibérica presenta una orografía compleja, lo cual puede propiciar la aparición de vientos regionales (García de Pedraza, 1971; Lorente-Plazas et al., 2015). Por ejemplo, cuando el viento atraviesa un estrecho o un valle, se genera un flujo de aire muy intenso con una dirección característica (Whiteman, 2000). Entre los diferentes vientos regionales de la Península Ibérica, el cierzo, el levante y el poniente cuentan con cierta cantidad de observaciones y literatura disponibles (aunque no muy extensa y sobre todo en castellano) debido a su importancia en las zonas en las que se dan y a su posible utilización como recurso renovable.

El cierzo puede aparecer debido a diferencias de presión entre los mares Mediterráneo y Cantábrico, lo cual crea un intenso flujo de aire que se canaliza en el valle del Ebro con dirección oeste-noroeste (Lorente-Plazas et al., 2015). Sopla de forma frecuente sobre el valle, por encima de los 5.6 m/s (Navarro, 1990), y se asocia con días claros y la ausencia de lluvia (García de Pedraza y García Vega, 2001). El levante suele generarse debido a gradientes de presión entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, lo cual produce flujos de aire en dirección este que se canalizan en el estrecho de Gibraltar (García de Pedraza, 1990; Lorente-Plazas et al., 2015). Se da alrededor de 165 días al año y se caracteriza por ser frío y húmedo en la costa este del estrecho, pero seco y cálido en la oeste (García de Pedraza, 1990). El poniente aparece bajo condiciones contrarias a las del levante, generando flujos de dirección oeste; se da alrededor de 60 días al año y se caracteriza por ser intenso y lluvioso en la costa oeste, pero seco y cálido al este (García de Pedraza, 1990). Un mayor conocimiento de los vientos regionales podría beneficiar múltiples áreas científicas, como la

climatología, el estudio de aerosoles y contaminantes o la generación y previsión de energía eólica.

Dada la escasez tanto espacial como temporal de observaciones meteorológicas, la utilización de productos de reanálisis y modelos climáticos es crucial para el estudio del viento (Molina et al., 2021). Existen diversos trabajos sobre vientos regionales europeos que utilizan productos de reanálisis como SAFRAN, Era-Interim o ERA-20C (Obermann et al., 2018), e incluso también en particular sobre la Península Ibérica (Jerez et al., 2013a), pero la pequeña resolución espacial (de 10 a 30 kilómetros) puede no ser lo suficientemente alta como para describir los vientos regionales en detalle. El objetivo principal de esta comunicación es la caracterización del cierzo, el levante y el poniente mediante COSMO-REA6, un producto de reanálisis de alta resolución (0,055° o 6 kilómetros), en un periodo de 19 años (2000-2018).

2. MÉTODOS

2.1. Datos de reanálisis y observaciones

El reanálisis COSMO-REA6 (Bollmeyer et al., 2015) se ha utilizado para estudiar los vientos regionales de la Península Ibérica. Tiene una alta resolución (0,055° o 6 kilómetros), su dominio es el correspondiente a CORDEX EUR-11 y abarca el periodo de 1995 a mediados de 2019. Para el estudio de los vientos, se obtuvieron las componentes zonal y meridional a 10 metros así como la presión medida a nivel del mar.

Para validar el reanálisis, se ha considerado una comparación con observaciones meteorológicas procedentes de los datos horarios y globales HadISD (Dunn et al., 2012). Se examinaron las estaciones del valle y del estrecho que cuentan con al menos el 75% de los datos y se aislaron aquellas más representativas para cada viento regional. Así, en el valle del Ebro se consideraron las estaciones de Zaragoza y Reus; en el estrecho de Gibraltar, las de Gibraltar, Tánger y Tetuán. Por último, se escogió el mejor periodo para observaciones y reanálisis (2000-2018). La comparación entre ambos se hizo “punto-a-celdilla”, esto es, se comparó cada observación situada en un punto espacial con la celdilla de reanálisis en la que se encuentra dicho punto.

2.2. Definición de cierzo, levante y poniente

No se han encontrado en la literatura previa umbrales objetivos de dirección y velocidad para definir los vientos regionales de la Península Ibérica. Por tanto, en este trabajo, consideramos cierzo al viento en el valle del Ebro de dirección oeste-noroeste (285-315°) cuyo módulo de velocidad es mayor que 5.6 m/s, según Navarro (1990). De igual forma, se considera levante (poniente) al viento en el estrecho de Gibraltar de dirección este (oeste), o 75-105° (255-285°), cuyo módulo de velocidad es mayor que 5 m/s, un valor similar al utilizado en trabajos sobre la tramontana y el mistral (Obermann et al., 2018). Para considerar un día de viento regional, deben producirse al menos 6 horas del mismo, basándonos en los resultados de Ezzat et al. (2018). Dada la arbitrariedad de estos valores, se llevaron a cabo tests de sensibilidad con el objetivo de fijar los umbrales más adecuados.

2.3. Análisis de los datos

Con los datos de COSMO-REA6 y las observaciones meteorológicas, se estudiaron las principales características de los vientos. Se consideraron los días de cierzo, levante y poniente en el periodo 2000-2018 como aquellos que se encuentran tanto en las observaciones como en el reanálisis y al menos en una de las estaciones del valle del Ebro o del estrecho de Gibraltar. Una vez validado el reanálisis, dado que este permite su descripción espacial, se calculó el dominio y la extensión que ocupan, así como los ciclos anuales de la misma, considerando tanto las medias mensuales como las diarias (aplicando a estas últimas una media móvil con una ventana de 10 días para suavizar los datos).

Los *weather regimes* (WRs) son patrones de larga escala que se utilizan para describir la variabilidad atmosférica (Vautard, 1990; Vrac y Yiou, 2010; Garrido-Perez et al., 2020). Un método para definir WRs consiste en crear clústeres en los que se agrupan aquellos campos atmosféricos muy similares entre sí mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA) u otras técnicas (Storch y Zwiers, 1999; Vrac y Yiou, 2010). En este trabajo, los clústeres se han calculado mediante PCA y después se ha utilizado un algoritmo *k-means* para distribuir en ellos cada día del periodo 2000-2018, utilizando los datos de presión atmosférica a nivel del mar del reanálisis COSMO-REA6 (Diday et al., 1974). Con esto se han estudiado los patrones atmosféricos de larga escala que pueden intervenir en la generación de estos vientos regionales y se ha comparado con la literatura existente, aunque escasa (García de Pedraza, 1990; Lorente-Plazas et al., 2015). El dominio elegido para el análisis es el más cercano a Garrido-Perez et al. (2020), que estudia los *weather regimes* asociados al viento sobre el oeste de Europa. No obstante, el dominio de COSMO-REA6 no cubre gran parte del océano Atlántico, un factor importante en la climatología de la Península, lo cual podría introducir algunas limitaciones en la interpretación de resultados.

3. RESULTADOS

3.1. El cierzo en el valle del Ebro

La velocidad media observada del cierzo es mayor en Reus (9,1 m/s) que en Zaragoza (8,4 m/s), pero el número de días al año en que se da es mayor en Zaragoza (alrededor de 124) que en Reus (alrededor de 15). Estos valores son similares a los obtenidos con COSMO-REA6, que subestima ligeramente los resultados, probablemente debido a las limitaciones de la comparación “punto-a-celdilla”. Por otra parte en las rosas de los vientos (no mostradas) se observa que la dirección predominante en Zaragoza para observaciones y reanálisis es la oeste-noroeste, correspondiente al cierzo, mientras que en Reus (una zona que recibe influencias de otros factores orográficos y costeros) el rango de direcciones es mucho más heterogéneo. Los ciclos anuales observados son muy diferentes para las localizaciones, especialmente en verano, donde se aprecia un máximo para Zaragoza y un mínimo para Reus; sin embargo, los resultados son también coincidentes con el reanálisis. Al considerar los días que aparecen tanto en las observaciones como en el reanálisis y al menos en una estación se encuentran 95 días de cierzo al año.

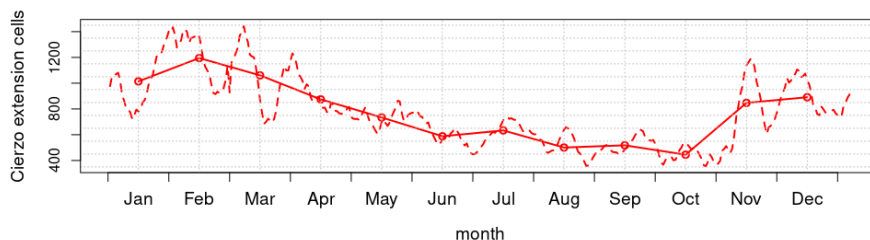


Fig. 1: Ciclo anual de la extensión de las celdas de reanálisis del cierzo para el periodo 2000-2018 según COSMO-REA6, con medias mensuales (línea continua) y diarias (línea discontinua, aplicando una media móvil con una ventana de 10 días). COSMO-REA6 tiene una distancia horizontal de celdilla de 6 kilómetros.

Al estudiar la extensión espacial del cierzo mediante COSMO-REA6, se encuentra que en el valle del Ebro se da cierzo en más del 25% de los días del año, con núcleos del 40% en el área de Zaragoza. El ciclo anual de la extensión (Fig. 1) describe máximos en invierno y primavera y mínimos en verano, así como una rápida variabilidad diaria (línea discontinua), especialmente en invierno.

3.2. El levante y el poniente en el estrecho de Gibraltar

La velocidad media observada del levante es mayor en Gibraltar y Tánger (8-9 m/s) que en Tetuán (7 m/s), mientras que la del poniente es similar en las tres estaciones, alrededor de 7 m/s. COSMO-REA6 obtiene valores similares. Esto también ocurre con el número de días, que es mayor para el levante en la estación occidental (Tánger); en cambio, el poniente es mayor en las estaciones orientales (Gibraltar y Tetuán). En general, el levante parece ser más intenso que el poniente. Las rosas de los vientos muestran una gran componente de dirección este, pero no oeste, que solo se da con claridad en Gibraltar y Tetuán; estos resultados son coincidentes en observaciones y reanálisis, y pueden deberse a las diferentes características orográficas del canal en el este y el oeste (Jerez et al., 2013b). El ciclo anual del levante muestra buena coincidencia con COSMO-REA6 en Tánger, y menos en las otras estaciones, cuyos patrones difieren mucho entre sí. Sin embargo, el ciclo anual del poniente muestra un patrón coincidente para las estaciones orientales, con máximos en invierno y primavera, un número de días mucho menor para Tánger y buena correspondencia con COSMO-REA6. Al considerar los días que aparecen en observaciones y reanálisis y al menos una de las estaciones, se encuentran 85 días de levante al año y 82 de poniente.

La estructura espacial del reanálisis para ambos vientos muestra un máximo de días (alrededor del 45% del año) en el centro del estrecho. Los ciclos anuales de la extensión (Fig. 2) presentan máximos en invierno (alrededor de 21000 km²) y mínimos en verano. Levante y poniente no pueden darse al mismo tiempo, lo cual se ve con especial claridad en los ciclos diarios (línea discontinua) de la Fig. 2, que son opuestos entre sí habitualmente.

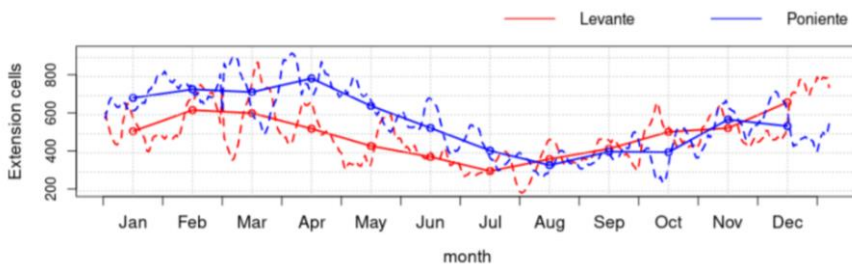


Fig. 2: Ciclo anual de la extensión de las celdas de reanálisis del levante y el poniente para el periodo 2000-2018 según COSMO-REA6, con medias mensuales (línea continua) y diarias (línea discontinua, aplicando una media móvil con una ventana de 10 días).

3.2. Weather regimes

Los *weather regimes* según COSMO-REA6 describen cinco situaciones características que explican el 95% de la variabilidad (Fig. 3). EOF1 y EOF2 se corresponden con los descritos en la literatura (Garrido-Perez et al., 2020) y se denominan habitualmente *European Blocking* y *Atlantic Ridge*. Los otros tres difieren, probablemente debido a las limitaciones del dominio de COSMO-REA6. EOF3 muestra una extensa área de baja presión sobre Europa con altas presiones en las Islas Británicas y África; EOF4, un área de baja presión en el centro de Europa y las Islas Británicas con una zona de alta presión al oeste de la Península Ibérica y en Escandinavia; EOF5, un área de baja presión en Europa central y el Mediterráneo con dos zonas de altas presiones (Islas Británicas y Europa del Este).

Mediante un algoritmo *k-means* podemos asociar los días de cierzo, levante y poniente a cada uno de estos *weather regimes*. Así, encontramos que EOF1 y EOF2 son los patrones que predominan en cierzo y levante. Para el cierzo, 23,2% de los días se clasifican bajo EOF1, mientras que 26,9% se encuentran en una situación de EOF2. Además, 25,1% de los días de cierzo se clasifican bajo EOF4, luego los porcentajes de los patrones predominantes del cierzo son muy similares entre sí. Esto no ocurre con el levante, sin embargo, donde EOF1 (bajo el que se clasifican 30,6% de los días de levante) destaca sobre los demás. Tras este, 24,9% de los días de levante se categorizan bajo EOF2. Por tanto, se puede decir que el cierzo suele aparecer en una situación de *Atlantic Ridge* (aunque no exclusivamente, ni de forma definitiva) y el levante se da predominantemente en situaciones de *European Blocking*. El caso del poniente es diferente al de estos, pues 29,8% de los días de poniente se clasifican bajo EOF3 y 26,7%, bajo EOF4; estos *weather regimes* no encuentran similitud con aquellos descritos por la literatura.

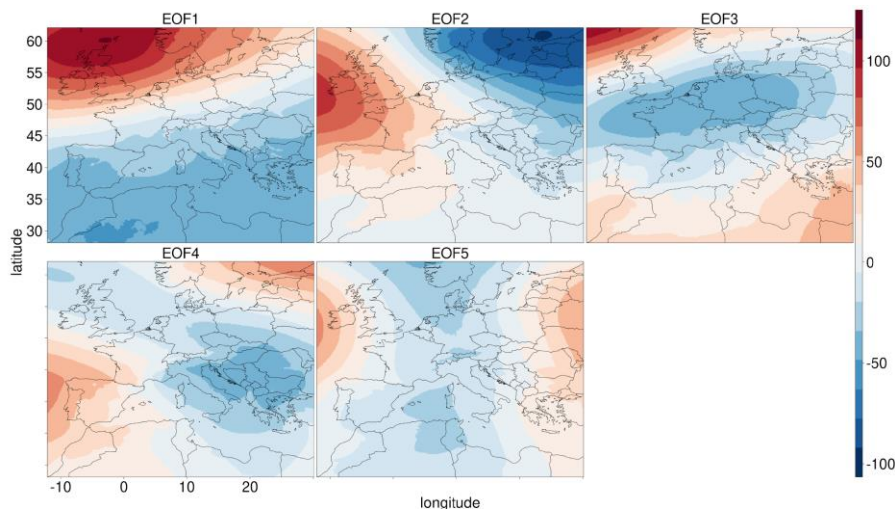


Fig. 3: Weather regimes medios anuales generados a partir de los valores diarios de la presión a nivel del mar según COSMO-REA6 para el periodo 2000-2018.

4. DISCUSIÓN

COSMO-REA6 representa con fidelidad el cierzo, el levante y el poniente, con resultados muy similares en las diversas estadísticas, ciclos anuales y rosas de los vientos, aunque subestima ligeramente su intensidad. Las principales diferencias entre reanálisis y observaciones pueden deberse a las limitaciones de los modelos para describir las características del viento (por ejemplo, el tamaño de la celdilla o los parámetros de viento utilizados y cómo de completa sea la descripción de los procesos relacionados con el mismo), la comparación “punto-a-celdilla” (la suposición de que las características de una estación meteorológica serán las mismas que las de una celdilla de 6 kilómetros) o la capacidad para representar la orografía u otros factores de las zonas estudiadas, así como la escasez de observaciones meteorológicas disponibles.

Los cinco *weather regimes* obtenidos explican el 95% de la variabilidad anual y son parecidos a los encontrados en otros estudios con similares dominios espaciales y temporales (Garrido-Perez et al., 2020). El cierzo aparece predominantemente bajo situaciones de EOF2 (*Atlantic Ridge*) y EOF4 debido a las diferencias de presión entre el Cantábrico y el Mediterráneo. También aparece bajo condiciones de EOF1 (*European Blocking*), debido a que la fase positiva de la NAO⁺ (Oscilación del Atlántico Norte) favorece esas condiciones (Shabbar et al., 2001) y también la aparición de cierzo (Jerez et al., 2013b). El levante también se da bajo EOF1 y EOF2 por las diferencias de presión entre África y el anticiclón de las Azores cuando se extiende sobre Europa; *European Blocking* es el principal patrón debido a que la NAO⁺, que lo favorece, promueve los vientos del este (Jerez et al., 2013b). El poniente aparece predominantemente bajo EOF3 debido a las diferencias de presión entre el Atlántico (baja presión) y África (alta presión), lo cual también ocurre en EOF4. Las

condiciones de levante y poniente son contrarias; sin embargo, la alternancia descrita en la Fig. 2 es demasiado rápida para deberse a patrones atmosféricos de larga escala, por lo que otros procesos más dinámicos también deben jugar un papel en la aparición de estos vientos. Los patrones de larga escala generan corrientes en la Península que podrían convertirse en los vientos regionales, pero la metodología utilizada no es capaz de describir las diferencias de presión de pequeña escala, además de otros factores locales y orográficos, que también pueden producirlos. Además, los resultados se ven limitados por las restricciones del reanálisis, ya descritas, y por el dominio de COSMO-REA6, que no cubre el océano Atlántico, importante para el clima de la Península.

En conclusión, la caracterización de estos vientos durante un extenso periodo de 19 años (2000-2018) muestra que el cierzo, el levante y el poniente aparecen alrededor del 30% de los días del año. COSMO-REA6 es capaz de describir apropiadamente sus características principales y además permite estudiar su extensión espacial, cuya media anual es mayor de 21000 kilómetros cuadrados para cualquiera de ellos, y los ciclos anuales de la misma, con máximos en invierno y mínimos en verano. En cuanto a los *weather regimes* que pueden relacionarse con los vientos regionales, destaca una situación de *Atlantic Ridge* para el levante y *European Blocking* para el cierzo, pero la presencia de factores regionales y diferencias de presión de pequeña escala es también importante. Dada la satisfactoria validación de COSMO-REA6, podrían realizarse otros análisis de vientos que los reanálisis de menor resolución no describen con todo detalle, como las brisas costeras o las circulaciones locales, fenómenos frecuentes y relevantes en la Península Ibérica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por las becas predoctorales [2020/3836] y [2018/12504] de la Universidad de Castilla-La Mancha y el Fondo Social Europeo, así como por el proyecto nacional PID2020-118210RB-C21 (EMERGENTES100) del Ministerio de Ciencia e Innovación y la Agencia Estatal de Investigación.

Agradecemos al Hans-Ertel-Centre for Weather Research · Climate Monitoring and Diagnostics (Universidades de Bonn y Colonia) y al Servicio Meteorológico Alemán la documentación y los datos del reanálisis COSMO-REA6 (<https://reanalysis.meteo.uni-bonn.de/?COSMO-REA6>), así como al Met Office Hadley Centre por los datos observacionales HadISD (https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisd/v311_2020f/index.html) y a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) por los trabajos bibliográficos incluidos en su repositorio (<https://repositorio.aemet.es/>).

REFERENCIAS

American Meteorological Society. (2022). “Local winds”. Glossary of Meteorology. Retrieved from/Recuperado de https://glossary.ametsoc.org/wiki/Local_winds

Bollmeyer, C., Keller, J. D., Ohlwein, C., Wahl, S., Crewell, S., Friederichs, P., Hense, A., Keune, J., Kneifel, S., Pscheidt, I., Redl, S., Steinke, S. (2015). Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain. Quarterly

- Journal of the Royal Meteorological Society, 141(686), 1–15. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.2486>
- Diday, E., Schroeder, A., Ok, Y. (1974). The Dynamic Clusters Method in Pattern Recognition. En Proceedings of the IFIP Congress 74 (ed. J. L. Rosenfeld), 691–697. Elsevier, New York.
- Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Thorne, P. W., Woolley, E. V., Durre, I., Dai, A., Parker, D. E., Vose, R. S. (2012). HadISD: a quality-controlled global synoptic report database for selected variables at long-term stations from 1973–2011. *Climate of the Past*, 8, 1649–1679. doi: <https://doi.org/10.5194/cp-8-1649-2012>
- Ezzat, A. A., Jun, M., Ding, Y. (2018). Spatio-Temporal Asymmetry of Local Wind Fields and Its Impact on Short-Term Wind Forecasting. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(3), 1437–1447.
doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TSTE.2018.2789685>
- García de Pedraza, L. (1971). Vientos marítimos y terrales en España. En *Calendario meteorofenológico. 1972* (ed. Agencia Estatal de Meteorología, Servicio Meteorológico Nacional), 161–171. Servicio Meteorológico Nacional. URL: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/552>
- García de Pedraza, L. (1990). Características de los vientos en la zona del Estrecho de Gibraltar. En *Calendario meteorológico. 1991* (ed. Agencia Estatal de Meteorología, Instituto Nacional de Meteorología), 188–201. Instituto Nacional de Meteorología. URL: <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/855>
- García de Pedraza, L. y García Vega, C. (2001). Contrastes climáticos de dos regiones: Cuenca del Ebro frente a Cuenca del Guadalquivir. En *Calendario meteorológico. 2002* (ed. Agencia Estatal de Meteorología, Instituto Nacional de Meteorología), 231–241. Instituto Nacional de Meteorología.
URL: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/1972>
- Garrido-Perez, J. M., Ordóñez, C., Barriopedro, D., García-Herrera, R., Paredes, D. (2020). Impact of weather regimes on wind power variability in western Europe. *Applied Energy*, 264, 114731. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114731>
- Jerez, S., Trigo, R. M., Sarsa, A., Lorente-Plazas, R., Pozo-Vázquez, D., Montávez, J. (2013a). Spatio-temporal Complementarity between Solar and Wind Power in the Iberian Peninsula. *Energy Procedia*, 40, 48–57.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.08.007>
- Jerez, S., Trigo, R. M., Vicente-Serrano, S. M., Pozo-Vázquez, D., Lorente-Plazas, R., Lorenzo-Lacruz, J., Santos-Alamillos, F., Montávez, J. P. (2013b). The Impact of the North Atlantic Oscillation on Renewable Energy Resources in Southwestern Europe. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(10), 2204–2225. doi: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0257.1>
- Lorente-Plazas, R., Montávez, J. P., Jimenez, P. A., Jerez, S., Gómez-Navarro, J. J., García-Valero, J. A., Jimenez-Guerrero, P. (2015). Characterization of surface winds over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 35(6), 1007–1026. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4034>
- Molina, M. O., Gutiérrez, C., Sánchez, E. (2021). Comparison of ERA5 surface wind speed climatologies over Europe with observations from the HadISD dataset. *International Journal of Climatology*, 41(10), 4864–4878.
doi: <https://doi.org/10.1002/joc.7103>

- Navarro, M. L. H. (1990). Frecuencia e intensidad del viento en Zaragoza. *Geographicalia*, 27, 63–75.
doi: https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1990271860
- Obermann, A., Bastin, S., Belamari, S., Conte, D., Gaertner, M. A., Li, L., Ahrens, B. (2018). Mistral and Tramontane wind speed and wind direction patterns in regional climate simulations. *Climate Dynamics*, 51, 1059–1076.
doi: <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3053-3>
- Shabbar, A., Huang, J. and Higuchi, K. (2001). The relationship between the wintertime north Atlantic oscillation and blocking episodes in the north Atlantic. *International Journal of Climatology*, 21(3), 355–369.
doi: <https://doi.org/10.1002/joc.612>
- von Storch, H. y Zwiers, F. W. (1999). *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press.
- Vautard, R. (1990). Multiple Weather Regimes over the North Atlantic: Analysis of Precursors and Successors. *Monthly Weather Review*, 118(10), 2056–2081. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1990\)118%3C2056:MWROTN%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1990)118%3C2056:MWROTN%3E2.0.CO;2)
- Vrac, M. y Yiou, P. (2010). Weather regimes designed for local precipitation modeling: Application to the Mediterranean basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D12). doi: <https://doi.org/10.1029/2009JD012871>
- Whiteman, C. D. (2000). *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press. doi: <https://doi.org/10.1093/oso/9780195132717.001.0001>