

**XXXIV Jornadas Científicas de la Asociación Española de
Meteorología (Teruel, 29 febrero - 2 marzo 2016)**
ISBN 978-84-617-5240-9

**Atribución de tendencias en precipitación y temperatura a
cambios en la circulación atmosférica**

J.A. García-Valero¹, J.P. Montávez²

(1) Agencia Estatal de Meteorología, Avda. de la Libertad 11, 30071 Guadalupe, Murcia, jugarciav@aemet.es

(2) Dpto. Física, Universidad de Murcia. Campus de Espinardo, Ed. CIOYN, 30071 Murcia, montavez@um.es

1. Introducción

En las última décadas se han observado sobre la Península Ibérica (PI) cambios muy destacados en el clima, especialmente relacionados con el aumento de las temperaturas. Algunas de las tendencias más significativas se han producido en la estaciones de verano y primavera, especialmente en el caso de las temperaturas máximas (Brunet et al., 2007; Fernández-Montes et al., 2012; García-Valero et al., 2015). Los estudios indican un resultado similar para las temperaturas mínimas, con cambios importantes también en otoño (Brunet et al., 2007). En cuanto a los en precipitación, éstos no son tan destacables como los anteriores, aunque se han reportado algunos de cierto interés. No obstante, entre los diferentes estudios, no hay un consenso en las tendencias en precipitación como ocurre con las temperaturas. El principal problema de este desacuerdo puede deberse a las diferentes bases de datos empleadas, lo cuál puede llevar a resultados diferentes debido a la mayor variabilidad espacial que presenta esta variable en comparación con la temperatura. Por otro lado, el período temporal empleado para el cálculo de las tendencias difiere de manera importante de unos estudios a otros. Si se analizan las tendencias con resolución mensual se obtiene como resultado de mayor consenso la reducción de las precipitaciones en el mes de marzo, casi de forma generalizado por toda la PI (Serrano et al., 1999), y desde un punto de vista estacional el descenso de la precipitación en invierno en aquellas regiones de mayor influencia atlántica (Corte-Real et al., 1998; Trigo et al., 2000; López-Bustins et al., 2008).

Una cuestión interesante es el análisis de las cau-

sas de dichas tendencias. El patrón espacial de las tendencias en temperatura a escala global sugiere que éste presenta cierta relación con cambios en la circulación atmosférica (Zorita et al., 2005). Por tanto, parte de las tendencias observadas en la PI en estas últimas década podría estar relacionada con cambios en la dinámica atmosférica sobre esta región. Una forma de caracterizar la dinámica es a través de una clasificación de Tipos de Circulación (TCs). Los TCs se podrían asimilar como aquellos estados atractores de la dinámica caótica de la atmósfera en los que se puede resumir todo el conjunto de estados atmosféricos posibles (Lorenz, 1956). A su vez, cada uno de los TCs está relacionado con unos patrones de tiempo o Tipos de Tiempo (TTs) indicando las condiciones de temperatura y precipitación presentes bajo esas situaciones atmosféricas.

Hay algunos trabajos que han tratado de relacionar las tendencias en temperatura con cambios en la frecuencia de Tipos de Tiempo (Bermejo and Ancell, 2009). Sus conclusiones muestran que gran parte de las tendencias en temperatura no pueden atribuirse a cambios en la frecuencia de los TTs y por tanto a cambios en la dinámica atmosférica. No obstante, en García-Valero et al. (2015) se informa que los cambios en la frecuencia de algunos Tipos de Circulación han contribuido parcialmente a las tendencias positivas observadas en cuanto a la ocurrencia de días extremadamente cálidos en verano a lo largo de la segunda mitad del siglo XX. En relación a la precipitación, algunos estudios indican que el descenso de la precipitación en el mes de marzo está relacionado con un salto hacia latitudes más altas de las “storm-tracks” (Paredes et al., 2006) y por tanto vinculado

con cambios en la dinámica atmosférica. En Corte-Real et al. (1998) también se relaciona el descenso de la precipitación en invierno sobre Portugal con la disminución de la frecuencia de situaciones atmosféricas que provocan flujo de SW, resultado que es compatible con la disminución de la frecuencia de la situación de bajas presiones extratropicales al NW de la PI reportado en García-Valero et al. (2012).

El objetivo principal de este estudio consiste en analizar la posible atribución de las tendencias observadas en precipitación y temperatura sobre la PI durante la segunda mitad del siglo XX a cambios en la frecuencia de Tipos de Circulación. Para ello, y a diferencia de otros trabajos se va a hacer uso de una clasificación estacional de TCs de reciente creación (García-Valero et al., 2012), la cuál no ha sido todavía aplicada a este tipo de análisis. La notable calidad de esta clasificación, así como la forma en que fue elaborada (ver García-Valero et al. (2012)), difieren de manera importante de otras clasificaciones previas propuestas sobre la PI (Petisco, 2003; Rasilla, 2003; Romero et al., 1999), de ahí que este estudio resulte de especial interés.

Para alcanzar los objetivos, este artículo se estructura de la siguiente manera: La Sección 2 muestra la metodología y los datos empleados en este estudio. En la Sección 3 se muestran los resultados de mayor interés. Por último en la Sección 4 se encuentra un breve resumen y las principales conclusiones.

2. Metodología y Datos

2.1. Datos

Para este estudio se ha considerado una caracterización diaria de la circulación atmosférica sobre la PI. Esta caracterización se basa en la clasificación de TCs de carácter estacional de García-Valero et al. (2012) formada por 12 TCs en cada una de las estaciones del año, invierno (DEF), primavera (MAM), verano (JJA) y otoño (SON). Cada uno de estos patrones está definido por dos variables atmosféricas, presión a nivel del mar y altitud geopotencial en 500 hPa. Para su construcción se emplearon datos de reanálisis de ERA40 y análisis diarios del modelo del Centro Europeo entre los años 1958-2008 sobre una ventana geográfica centrada sobre la PI. Más detalles acerca del método de clasificación pueden encontrarse en García-Valero et al. (2012).

También se han empleado para este estudio datos diarios de temperatura máxima (T_x) y mínima (T_m), así como de precipitación, procedentes de la base de datos reticular Spain02 (Herrera et al., 2015). Esta base de datos cubre todo el territorio español peninsular y las Islas Baleares con una resolución espacial de $0,2^\circ$. Las versiones empleadas de este dataset son la 2.1 para el caso de las temperaturas y las 3.0 para el caso de la precipitación.

2.2. Obtención de los TTs

Cruzando la clasificación de TCs y los datos de temperatura y precipitación, se han obtenido los TTs asociados a los distintos TCs. En el caso de las temperaturas los TTs representan patrones de anomalías, mientras que para la precipitación representan anomalías estandarizadas. En las Figuras 1 y 2 se muestran los 12 TCs de invierno junto a sus TTs (por razones de espacio no se muestran los TCs y TT del resto de estaciones). En todos ellos se observa una relación física clara entre los TCs y sus TTs. Un ejemplo claro de esto es el TC6, bajas presiones extratropicales al Noroeste de la PI, relacionada con anomalías positivas de precipitación en gran parte del territorio.

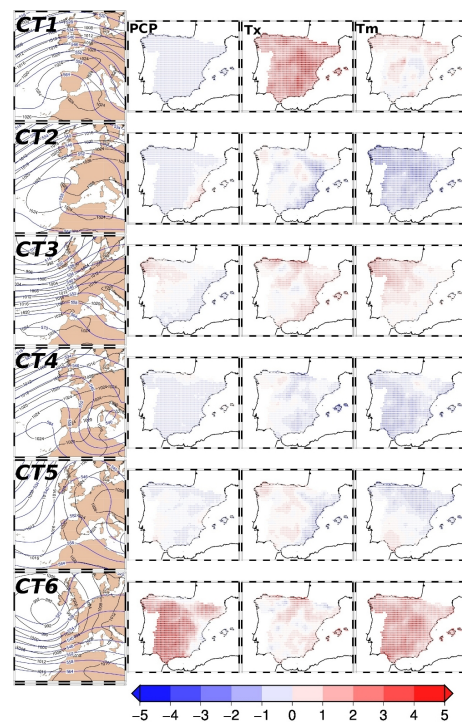


Figura 1. TCs de invierno, del 1 al 6 de la clasificación de García-Valero et al. (2012), y su TTs asociados.

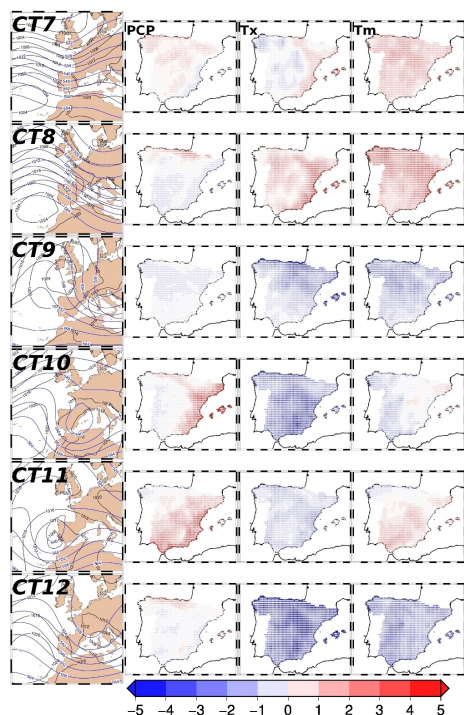


Figura 2. Igual que la Figura 1 pero para los TCs del 7 al 12.

2.3. Método de Atribución

Para la atribución de tendencias se han reconstruido series estacionales de temperatura y precipitación teniendo en cuenta los TTs y su secuencia temporal. Así, el estudio de atribución consiste básicamente en comparar las posibles tendencias obtenidas con las series reconstruidas, con aquellas otras obtenidas de las series observacionales (spain02). En el ejercicio de atribución sólo se compararon aquellos casos en los que las tendencias resultaron significativas a un nivel de significación del 95 %, tanto en las series reconstruidas como en las observadas.

La estimación de las tendencias se ha llevado a cabo con el estimador de Sen (Sen, 1968) y para su análisis de significación se ha utilizado el test de Man-Kendall. En el caso de la precipitación las tendencias se han evaluado para dos períodos de tiempo, uno más largo (1958-2008) y otro de menor duración (1973-2005). En el caso de la temperatura, las tendencias sólo se han evaluado para el período corto debido a la mayor homogeneidad que presenta Spain02, en el caso de la temperatura, para este período de años (Herrera et al., 2015; Fernandez-Montes and Rodrigo, 2015).

3. Resultados

3.1. Tendencias en precipitación

En las Figuras 3 y 4 se muestra la tendencia decadal (sólo en aquellos puntos con tendencia significa-

tiva al 95 %) en la precipitación estacional, observada (columna izquierda) y reproducida por los TTs (columna central), así como la fracción de la tendencia observada que es reproducida por los TTs (columna derecha). En las Figura 3 se muestran las tendencias obtenidas en el período 1958-2008, mientras que en la Figura 4 están aquellas obtenidas en el período 1973-2005.

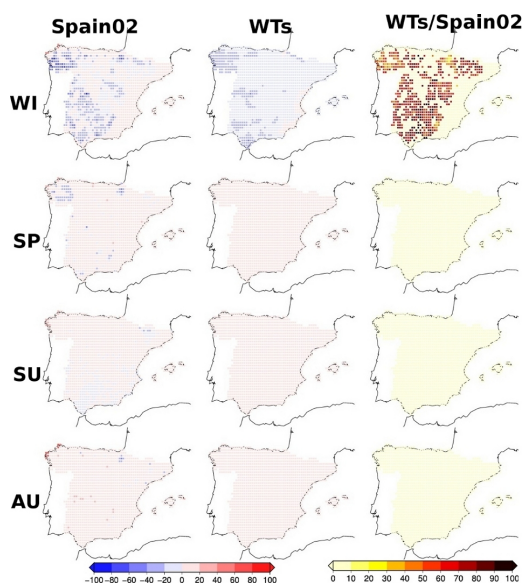


Figura 3. Tendencias significativas en precipitación estacional. Período 1958-2008. Las estaciones del año del año se representan en cada una de las filas, mientras que las columnas indican tendencias observadas (izquierda), reproducidas por los TTs (central), así como el porcentaje de la tendencia observada reproducida por cambios en la frecuencia de los TCs (derecha).

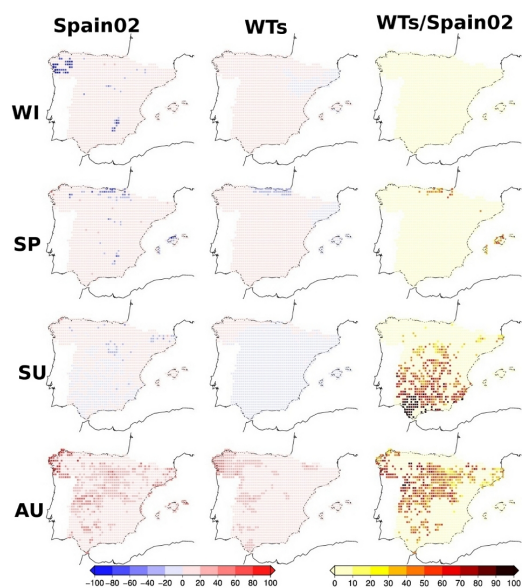


Figura 4. Igual que la Figura 3 pero para el período 1973-2005.

Durante el período largo, 1958-2008, las tenden-

cias son prácticamente inexistentes en otoño y verano, observándose en primavera una ligera reducción de la precipitación en la zona de Galicia y puntualmente en el alto Ebro. No obstante, las tendencias negativas observadas en invierno son algo más generalizadas, extendiéndose a gran parte del cuadrante Suroccidental y Norroccidental, así como a otros puntos del Centro y Norte del país, y área pirenaica. Los TTs reproducen para esta estación del año un patrón de tendencias similar, aunque más repartido por toda la PI, apreciándose las mayores tendencias en las mismas regiones mostradas por las series observacionales, y ninguna tendencia en el área mediterránea. Así, en muchos puntos los cambios en la frecuencia de los TTs, y por tanto en la dinámica atmosférica, es capaz de explicar entre el 60 y 90% de la tendencia observada. No obstante, las tendencias observadas en primavera, de extensión espacial más local, no pueden atribuirse a cambios en la frecuencia de situaciones sinópticas.

En cuanto a las tendencias en el período más corto, 1973-2005, se observan diferencias importantes respecto al período largo. Así, en estos años las tendencias más generalizadas se observan en otoño y verano. En el primer caso se aprecia un patrón de tendencias positivas en amplias zonas del Norte, Centro y Suroeste peninsular. Este patrón espacial también es reproducido en cierto modo por los TTs, especialmente en la zona de Galicia, Sistema Central, Suroeste y Pirineos, donde se puede atribuir también de forma puntual entre el 60 y 90% de la varianza, aunque de forma más generalizada, especialmente por el Norte no puede atribuirse más del 60% de la tendencia. En verano, el patrón indica tendencias negativas en gran parte del Centro y Sur, mientras que los TTs reproducen tendencias similares en las mismas zonas pero extienden las tendencias prácticamente a toda la península a excepción del extremo Noroccidental. De este modo los cambios en la frecuencia de los TTs son capaces de atribuir una gran proporción de la tendencia observada, entre el 70 y el 100%, en zonas del Centro y Sur. Durante la primavera, tanto las series observacionales como las reproducidas por los TTs muestran un descenso significativo de la precipitación en el Cantábrico Oriental y en las Islas Baleares, atribuyéndose entorno al 60% de la tendencia observada a cambios en la dinámica atmosférica. Por último, durante el período corto los TTs no pueden reproducir la tendencia observada en la zona de Galicia en invierno.

3.2. Tendencias en temperatura

Las Figuras 5 y 6 muestran los patrones de tendencias estacionales en temperatura máxima y mínima, respectivamente. En ambos casos, sólo en primavera y verano se puede atribuir parte de la tendencia positiva observada, apreciándose en el mejor de los casos atribuciones entorno al 70% en zonas reducidas, aunque de forma generalizada no puede atribuirse más

del 40% en amplias zonas. Así, en comparación con la precipitación, los resultados evidencian una menor relación entre los cambios en temperatura y los cambios en la frecuencia de los TCs.

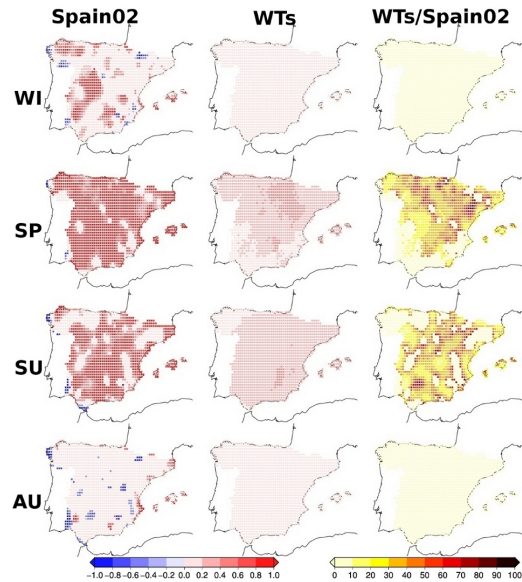


Figura 5. Tendencias significativas en temperatura máxima diaria. Período 1973-2005. Las estaciones del año se representan en cada una de las filas, mientras que las columnas indican tendencias observadas (izquierda), reproducidas por los TTs (central), así como el porcentaje de la tendencia observada reproducida por cambios en la frecuencia de los TCs (derecha).

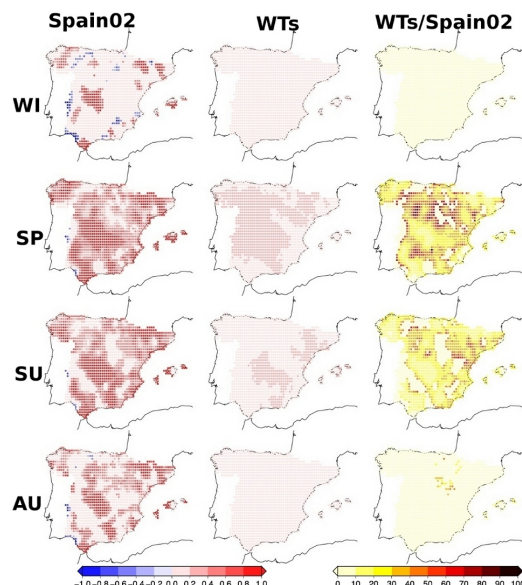


Figura 6. Igual que la Figura 5 pero para la temperatura mínima diaria.

Por otro lado, los patrones espaciales de tendencias observados con los datos de Spain02, representan estructuras espaciales irregulares, tipo islas, y de

escasa coherencia con la orografía. Por contra, los patrones de cambio reproducidos por los TTs presentan una estructura espacial más homogénea y coherente. Estos resultados podrían indicar la existencia de algún problema con los datos observacionales y de la utilidad de técnicas como ésta para encontrar inhomogeneidades en los datos observacionales.

Comparando los patrones espaciales de tendencia reproducidos por los TTs en el caso de la temperatura máxima, se aprecia que durante el verano éste se extiende prácticamente por toda la geografía de estudio, excepto Galicia, mientras que en primavera se limita más al Centro y todo el Norte Peninsular, con tendencias mayores hacia el Sistema Ibérico y Alto Ebro. En cuanto a la temperatura mínima, el patrón es más generalizado en primavera, extendiéndose por zonas del Centro y Norte, mientras que en verano se limita a zonas del Centro-Sur y Noreste.

4. Resumen y Conclusiones

En este estudio se ha llevado a cabo un ejercicio de atribución de las tendencias en precipitación y temperaturas máximas y mínimas observadas en las últimas décadas sobre el territorio español peninsular y las Islas Baleares, a cambios en la frecuencia de situaciones atmosféricas. Para ello se ha hecho uso de la base de datos observacional Spain02, así como de una clasificación de Tipos de Circulación de carácter estacional desarrollada entorno a la Península Ibérica. Con ambos tipos de datos se han obtenido los Tipos de Tiempo asociados a los diferentes estados atmosféricos, reconstruyéndose series de precipitación y temperatura mediante la secuencia temporal de estos patrones de tiempo. De este modo, se han comparado las tendencias observadas y reproducidas, con el fin de cuantificar la posible relación de los cambios en la frecuencia de los Tipos de Circulación (TCs) con las tendencias observadas. Las principales conclusiones de este estudio son:

- Las tendencias observadas en precipitación se explican mejor por cambios en la frecuencia de los Tipos de Circulación que en el caso de las temperaturas.
- En el caso de la precipitación, se puede atribuir en muchos casos entre el 60 y 90 % de la tendencia observada, especialmente cuando se aprecia un patrón espacial de tendencias extendido a grandes áreas de la PI. Por contra, no puede atribuirse en general ninguna tendencia cuando este patrón es de tipo local (de pequeña extensión).
- Las principales tendencias en precipitación que pueden atribuirse en gran parte a cambios en la frecuencia de los TCs son aquellas relacionadas

con el descenso de precipitación en el Centro y fachada Atlántica de la PI, en invierno y para el período 1958-2008. El aumento de la precipitación, también en el Centro y zona Atlántica, durante el otoño en el período 1973-2005. El descenso de la precipitación en verano en el Centro-Sur en el período 1973-2005, así como el descenso de la precipitación en primavera en la zona del Cantábrico Oriental e Islas Baleares en ese mismo período.

- En cuanto a las temperaturas, se obtienen discrepancias importantes entre los patrones espaciales de tendencia observados y reproducidos por los TTs. En general los patrones reproducidos presentan estructuras más coherentes con la orografía, mientras que los observados presentan irregularidades difíciles de entender, y que podrían estar manifestando problemas en los datos observacionales.
- Sólo en primavera y verano puede atribuirse a los cambios en la frecuencia de los TCs parte de la tendencia observada en temperaturas máximas y mínimas, no superándose en la mayoría de casos el 40 % como porcentaje de atribución.
- En relación a la temperatura máxima el patrón de tendencias positivas reproducido por los TTs es más generalizado en verano que en primavera, extendiéndose en primavera principalmente en el Centro y Norte Peninsular y en verano por toda la Península excepto la zona de Galicia. En cambio, en el caso de la temperatura mínima el patrón se extiende a un mayor número de zonas, principalmente del Centro y Norte, mientras que en verano se limita a zonas del Centro-Sur y Noreste.

Referencias

- Bermejo, M. and Ancell, R.: Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957-2002, using Weather Types, *Revista de Climatología*, 9, 45-61, 2009.
- Brunet, M., Jones, P. D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., Della-Marta, P., Lister, D., Walther, A., and López, D.: Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005, *Journal of Geophysical Research*, 112, 2007.
- Corte-Real, J., Qian, B., and Xu, H.: Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation, *International Journal of Climatology*, 18, 619-635, 1998.

- Fernandez-Montes, S. and Rodrigo, F. S.: Trends in surface air temperatures, precipitation and combined indices in the southeastern Iberian Peninsula (1970-2007), *Climate Research*, 63, 43–60, 2015.
- Fernández-Montes, S., Rodrigo, F. S., Seubert, S., and Sousa, P. M.: Spring and summer extreme temperatures in Iberia during last century in relation to circulation types, *Atmospheric Research*, 2012.
- García-Valero, J. A., Montávez, J. P., Jerez, S., Gómez-Navarro, J. J., Lorente-Plazas, R., and Jiménez-Guerrero, P.: A seasonal study of the atmospheric dynamics over the Iberian Peninsula based on circulation types, *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 291–310, doi:10.1007/s00704-012-0623-0, URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0623-0>, 2012.
- García-Valero, J. A., Montávez, J. P., Gómez-Navarro, J. J., and Jiménez-Guerrero, P.: Attributing trends in extremely hot days to changes in atmospheric dynamics, *Natural Hazards and Earth System Science*, 15, 2143–2159, doi:10.5194/nhess-15-2143-2015, URL <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/15/2143/2015/>, 2015.
- Herrera, S., Fernández, J., and Gutiérrez, J. M.: Update of the Spain02 gridded observational dataset for EURO-CORDEX evaluation: assessing the effect of the interpolation methodology, *International Journal of Climatology*, 2015.
- López-Bustins, J. A., Martín-Vide, J., and Sánchez-Lorenzo, A.: Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns, *Global and planetary change*, 63, 171–176, 2008.
- Lorenz, E. N.: Technical report, Statistical Forecast Project Report 1. Dep. of Meteorology. MIT 49, vol. 1, chap. Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction, p. 52, Massachusetts Institute of Technology, 1956.
- Paredes, D., Trigo, R., García-Herrera, R., and Trigo, I. F.: Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: weather typing and storm-tracking approaches, *Journal of Hydrometeorology*, 7, 101–113, 2006.
- Petisco, E.: Metodología para una caracterización de la circulación atmosférica en el entorno de la Península Ibérica y Baleares. NT nº 9, Tech. rep., INM, 2003.
- Rasilla, D. F.: Aplicación de un método de clasificación sinóptica a la Península Ibérica, *Investigaciones Geográficas*, 30, 27–44, 2003.
- Romero, R., Sumner, G., Ramis, C., and Genovés, A.: A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish mediterranean area, *International Journal of Climatology*, 19, 765–785, 1999.
- Sen, P. K.: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379–1389, 1968.
- Serrano, A., Mateos, V. L., and García, J. A.: Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 24, 85–90, 1999.
- Trigo, R. M., DaCamara, C., et al.: Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal, *International Journal of Climatology*, 20, 1559–1581, 2000.
- Zorita, E., González-Rouco, J. F., Von Storch, H., Montávez, J. P., and Valero, F.: Natural and anthropogenic modes of surface temperature variations in the last thousand years, *Geophysical Research Letters*, 32, 2005.