

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

**Regionalización de la precipitación diaria en la Península  
Ibérica. Aplicación al análisis de tendencias de eventos  
extremos**

C. Lizondo-Osset<sup>1</sup>, J.A. García-Valero<sup>1</sup>

(1) Agencia Estatal de Meteorología, Avda. de la Libertad 11, 30071 Guadalupe, Murcia, [clizondoo@aemet.es](mailto:clizondoo@aemet.es)

## 1. Introducción

La Península Ibérica (PI) es una región con una gran variabilidad climática debido a su compleja orografía y situación geográfica. El elevado relieve produce un acentuado contraste en la precipitación entre zonas adyacentes con diferente altitud. Además, la situación de la PI entre el mar Mediterráneo y el océano Atlántico, con temperaturas muy diferentes favorece que las masas de aire desplazadas hacia la PI posean humedad y temperatura muy variable en función de la región de procedencia. Por otro lado, su latitud favorece que los contrastes estacionales sobre el territorio estén influenciados en gran medida por la importante variabilidad de situaciones atmosféricas observadas en unas estaciones y otras (García-Valero et al., 2012).

En los últimos años se han llevado a cabo diferentes estudios sobre la variabilidad climática de la PI. Algunos de ellos se han centrado en el análisis de la temperatura (Brunet et al., 2007; Bermejo and Ancell, 2009; Fernandez-Montes and Rodrigo, 2015; García-Valero et al., 2015), otros en el de la precipitación (Esteban-Parra et al., 1998; Serrano et al., 1999; Romero et al., 1999; Gallego et al., 2011; Luna et al., 2012) y un número pequeño en el viento (Jiménez et al., 2008; Lorente-Plazas et al., 2015). En general, muchos de los trabajos relativos a precipitación emplearon varias decenas de series puntuales repartidas por la PI, y un número muy pequeño de estudios hizo uso de las nuevas bases de datos observacionales de tipo reticular y gran resolución espacial desarrolladas en los últimos años como MOPREDAS (González-Hidalgo et al., 2011), de resolución temporal mensual, o Spain02 (Herrera et al., 2015), de

resolución diaria. Además, la gran mayoría de ellos se basaron en datos mensuales para el análisis de la variabilidad, y un número muy reducido en la escala diaria y para un conjunto de estaciones puntuales. El análisis a escala diaria permite investigar acerca de la evolución de diferentes índices extremos de precipitación relacionados con eventos intensos de lluvia o largas rachas de días secos. Este tipo de eventos suscita un gran interés por sus graves impactos en los diferentes sectores socio-económicos y especialmente en el contexto actual de cambio climático en el que se proyectan cambios muy destacables en Europa y en especial en el área mediterránea (Field et al., 2012).

Uno de los principales problemas de considerar series diarias de precipitación es la dificultad de analizar la presencia de inhomogeneidades en esta escala. En muchas ocasiones se extraen series mensuales a partir de datos diarios, y sobre la serie mensual se aplican diferentes test de homogeneidad. Además, se suelen aplicar test de filtrado a los datos diarios. Uno de ellos es el de coherencia espacial pudiendo resultar éste problemático en situaciones de precipitaciones de tipo convectivo. Una forma de reducir la inhomogeneidad de las series diarias de carácter puntual es generando nuevas series que representan áreas mayores, conocidas también como series regionales. La aplicación de este tipo de series está muy extendida en estudios hidrológicos (Hosking and Wallis, 2005). Una de las características importantes de estas series es que están mejor relacionadas con la circulación atmosférica, lo que permite investigar mejor las relaciones entre su variabilidad y los cambios en la dinámica atmosférica (García-Valero et al., 2015). Existen algunos trabajos relativos al viento (Lorente-Plazas et al., 2015) o a las temperaturas máximas del

verano (García-Valero et al., 2015) aplicados a toda la PI que se han basado en series regionales. Sin embargo, no hay trabajos que hayan abordado la obtención de series regionales de precipitación a escala diaria para todo el territorio peninsular así como que se hayan aplicado al estudio de eventos extremos.

El objetivo principal de este estudio es la obtención de un conjunto de series regionales que representen zonas con una variabilidad temporal similar en precipitación diaria, así como su aplicación al análisis de posibles tendencias de determinados índices extremos. Para ello, este artículo se estructura de la siguiente manera. En la Sección 2 se detallan los datos empleados y el método seguido. Los resultados se presentan en la Sección 3. En la Sección 4 se describen las principales conclusiones.

## 2. Metodología y Datos

### 2.1. Datos

El conjunto de datos utilizado consta de series de valores diarios de la precipitación en 1445 puntos repartidos por la España peninsular y las islas Baleares en forma reticular (puntos grid). Los datos son extraídos de la base de datos Spain02 (Herrera et al., 2015) y comprenden el periodo desde el 1 de enero de 1950 hasta el 31 de marzo de 2008 (21275 registros por cada punto grid).

### 2.2. Metodología

La regionalización se ha obtenido en dos etapas, siguiendo un proceso similar al empleado en Lorente-Plazas et al. (2015) y García-Valero et al. (2015). El primer paso consiste en un Análisis de Componente Principales (ACP) a los datos diarios de precipitación. Con ello se consigue eliminar un importante nivel de ruido presente en los datos y representarlos en un nuevo espacio vectorial definido por las funciones ortogonales empíricas (FOE) o principales modos de variabilidad (Storch and Zwiers, 1999). En nuestro caso, se ha procedido al análisis haciendo uso de la matriz de correlación de las variables. Cada componente principal representa un modo fundamental de variabilidad y permite explicar un porcentaje determinado de la varianza total de los datos. La elección del número de componentes a retener implica cierta subjetividad, existiendo para ello un número elevado de métodos. Uno de ellos, que es el que se ha aplicado aquí es el que considera que al menos cada Componente Principal (CP) retenida debe explicar como mínimo un 1% de la varianza total. Con este criterio, se ha considerado retener 11 CPs que explican el 57.4% de la varianza. De este modo, cada punto grid de Spain02 (cada serie de precipitación) está representado por un vector de 11 componentes.

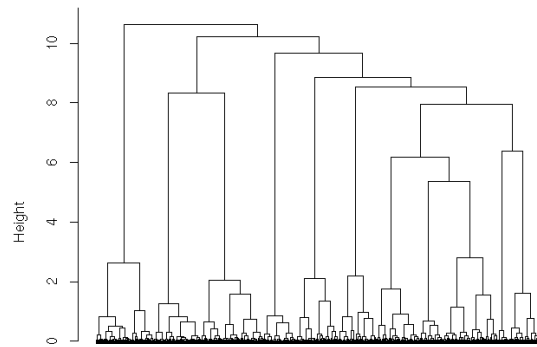


Figura 1. Dendrograma que resume los resultados de la agrupación obtenida con el algoritmo jerárquico de Ward.

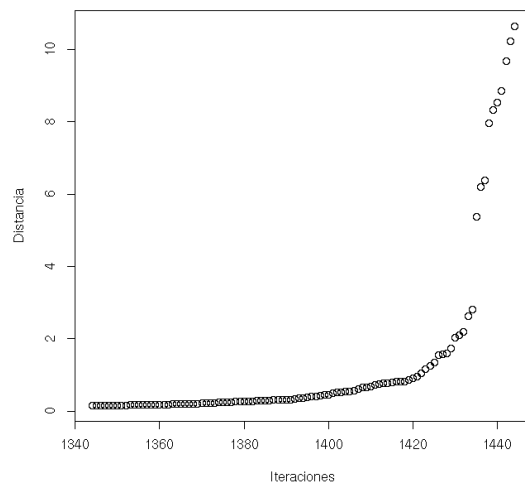


Figura 2. Distancia a la que se produce la unión entre grupos. En abscisas se representa el orden de la iteración del método de agrupación, mientras en ordenadas se representa la distancia euclídea entre los grupos que se unen en esa iteración.

El segundo paso de la regionalización consiste en llevar a cabo un análisis clustering (AC) de los diferentes puntos grid representados en el espacio de las CPs. Este proceso de agrupación se ha llevado a cabo también en dos etapas. La primera etapa es un AC jerárquico donde se usa el método de varianza mínima de Ward con el objetivo de obtener una primera agrupación que defina el número de grupos. La elección del número de grupos es una decisión crítica y no exenta de cierta subjetividad. En su elección pueden intervenir factores algo subjetivos inherentes al conocimiento climatológico del investigador, pero el criterio principal lo limita el valor de la distancia en la cual dos grupos similares llegan a fusionarse. Valores grandes en dicha distancia indican la idoneidad de parar el paso previo. En esta etapa se analizaron diferentes agrupaciones potenciales con el objetivo de obtener la agrupación más idónea. La figura 1 muestra el dendrograma del AC jerárquico mientras que en la figura 2 se representa la distancia (ordenadas) a la que se forma un grupo tras cada iteración (abscisas). En ella se observa que hacia el final del proceso los grupos que se forman son cada vez más distantes lo que implica

que se diferencian más entre sí. Tras el análisis de estos gráficos se optó por seleccionar once grupos.

El inconveniente del AC jerárquico yace en la posibilidad de agrupar estaciones erróneamente en una etapa temprana. Para superar este inconveniente se empleó un segundo método de agrupación que hace uso de un AC no jerárquico, K-medias, al cuál se le inicializó considerando los 11 grupos obtenidos en la etapa anterior.

La agrupación obtenida permite identificar regiones que presentan un comportamiento diferente en cuanto a la variabilidad temporal de las precipitaciones diarias. Las regiones halladas se utilizan para calcular las series regionales, obtenidas a partir del valor medio diario de todas las estaciones que forman una región. Las series regionales son las series de referencia para estudiar y caracterizar las regiones, empleándose éstas para la obtención de una serie de índices extremos de precipitación (Haylock et al., 2006) definidos en la Tabla 1. .

Por último se ha analizado la existencia de tendencia en estas series de índices a lo largo del periodo de los datos. La tendencia se ha obtenido empleando el estimador de Theil-Sen y para analizar su significación estadística se ha utilizado el test de Mann-Kendall.

### 3. Resultados

#### 3.1. Regionalización

La Figura 3 muestra el resultado de la regionalización. Se puede observar como algunas de estas regiones, R-1, R-6, R-8, R-10 y R-11, coinciden aproximadamente con cuencas hidrográficas, confirmándose la orografía como un factor determinante en la variabilidad espacial de la precipitación. A continuación se muestran una serie de análisis aplicados sobre las diferentes series regionales. La tabla 3 muestra información estadística de las series regionales: número de puntos grid constituyentes de cada región, valor medio de la precipitación diaria, desviación típica, coeficiente de variación y correlación entre la serie regional y sus series individuales constituyentes.

Teniendo en cuenta los valores medios diarios se obtiene que las regiones más septentrionales y de mayor influencia atlántica, R-1 y R-10, son las más lluviosas mientras aquella localizada al Sureste del territorio, R-11, es la que acumula valores más bajos. El coeficiente de variación se emplea para determinar el régimen pluviométrico de una región (Tamayo, 1993), de modo que coeficientes bajos (altos) indican un régimen más regular (irregular). Atendiendo a esto último se aprecia como las regiones más lluviosas presentan un régimen más regular y la menos lluviosa otro más irregular, típico del clima mediterráneo.

#### 3.2. Grado de coherencia regional

Es interesante determinar de alguna manera el grado de homogeneidad interna de cada una de las regio-

nes, así como las diferencias existentes entre ellas. La Figura 4 muestra la dispersión de la correlación entre las diferentes series regionales y su series individuales constituyentes que nos ayuda a entender la cohesión espacial de las regiones. Así, se observa que la correlación media es similar en todas las regiones presentando un valor superior a 0.65, el cuál es un valor muy aceptable si se tiene en cuenta la gran variabilidad espacial de la precipitación a escala diaria así como el gran número de series puntuales que constituyen cada región. De este modo, es interesante resaltar que la correlación es ligeramente superior en aquellas regiones con mayor precipitación (R-1 y R-10). Por contra, aquellas regiones con menor precipitación o localizadas en el Sureste de la PI (R-3, R-7 y R-11), dónde las precipitación de tipo convectivo presenta una mayor importancia, se obtienen valores sensiblemente más bajos.

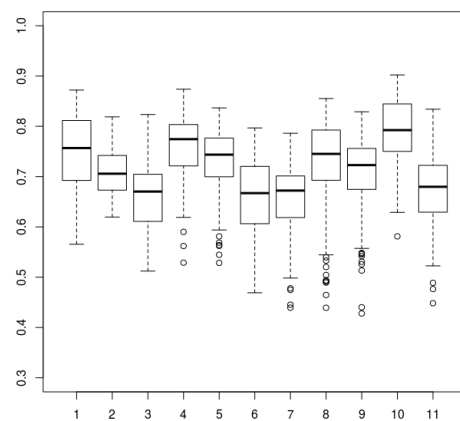


Figura 4. Correlaciones entre la serie regional y el resto de series individuales para cada región.

Se ha comprobado también el grado de disimilitud de las regiones. A tal efecto se ha calculado la correlación entre las series regionales y las series individuales de todas las regiones. En particular se muestra en la Figura 5 los valores de la correlación entre la serie regional R-11 con las series individuales del resto de regiones, donde se observan valores mucho menores que los observados en la Figura 5. Llamen la atención algunos casos paradigmáticos: por ejemplo, en la Figura 5 se observa como las series individuales de la R-3 presentan un valor medio de correlación con la serie regional R-11 más alto que el resto. Si nos fijamos en la regionalización obtenida (Figura 3), las regiones comentadas son contiguas, lo que explicaría cuantitativamente una climatología similar debido a la proximidad. Sucede todo lo contrario en las regiones R-1 y R-10, donde la correlación con la serie regional R-11 es prácticamente nula, como cabría esperar, pues se trata de regiones de clima atlántico con una climatología muy diferente a la del clima mediterráneo (R-11).

Pav:	Precipitación media: valor medio de la precipitación sobre todos los días.
Pint:	Intensidad de la precipitación: valor medio de la precipitación en los días con > 1 mm.
Pq90:	Percentil 90 de la precipitación en los días > 1 mm.
Px5d:	Precipitación máxima acumulada en cinco días consecutivos.
Pxcd:	Número máximo de días secos consecutivos
Pf90:	Fracción de la precipitación total de días con precip. > perc. 90 del periodo completo.
Pnl90:	Número de eventos con precipitación > percentil 90 del periodo completo

Tabla 1. Abreviación y descripción de los siete índices de precipitación diaria utilizados en Haylock et al. (2006).

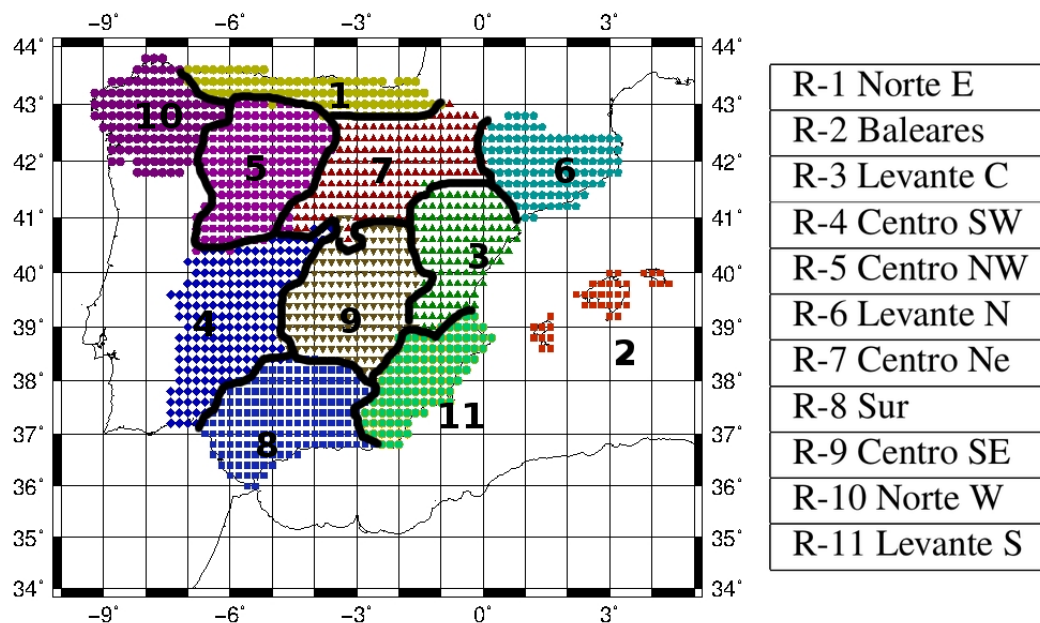


Figura 3. Regionalización obtenida.

Región	Nº puntos	Precip. (mm/día)	Desv. Típica	Coef. Variación	Corr. Interna
R-1 Norte	94	3.24	5.54	1.71	0.75
R-2 Baleares	37	1.29	3.71	2.88	0.71
R-3 Levante C	127	1.10	3.08	2.80	0.66
R-4 Centro SW	191	1.63	4.04	2.48	0.76
R-5 Centro NW	163	1.49	3.12	2.09	0.73
R-6 Levante N	110	1.65	3.69	2.24	0.66
R-7 Centro NE	157	1.46	2.76	1.89	0.66
R-8 Sur	170	1.50	3.96	2.64	0.73
R-9 Centro SE	176	1.21	2.73	2.26	0.70
R-10 Norte W	114	3.43	5.89	1.72	0.79
R-11 Levante S	106	0.89	3.03	3.40	0.67

Tabla 2. Información estadística de las regiones. Se muestra el número de puntos grid que forman una región; la precipitación media de la serie regional, desviación típica, coeficiente de variación y el valor medio de la correlación entre la serie regional y cada serie individual (punto grid) de su respectiva región.

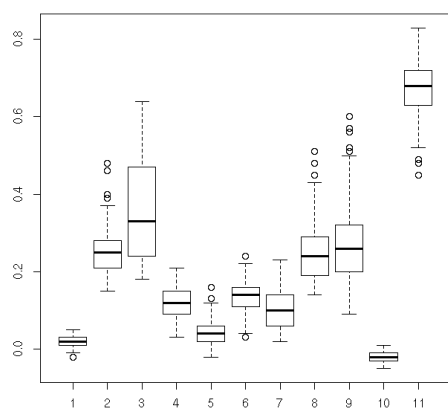


Figura 5. Correlación entre la serie regional R-11 y las series individuales de cada región.

Finalmente se ha realizado también un estudio comparativo de correlación entre series regionales como muestra la tabla 3. Es interesante observar también en este caso como el valor de la correlación llega a ser muy elevado entre series regionales de regiones contiguas, como sucede por ejemplo en el caso de las regiones R-5 y R-10 (ver también Figura 3 y tabla 2). Debido a la proximidad entre dichas regiones perciben de igual manera los cambios atmosféricos por lo que la variabilidad es similar y sus series regionales están altamente correlacionadas, aunque el valor medio de la precipitación es claramente diferente.

### 3.3. Análisis de tendencias

En la tabla 4 se muestra el valor de la tendencia sólo para aquellos índices donde ésta es estadísticamente significativa ( $p\text{-value} \leq 0.05$ ). Además, se incluye sólo las estaciones del año en que las tendencias son significativas en algunas de las regiones. Tal y como se observa en la tabla, sólo cuatro índices presentan tendencia significativa en alguna región y época del año.

A la vista de los resultados, se desprende inmediatamente que en invierno hay mayor número de tendencias, seguida por otoño. En particular, el índice px5d que se puede interpretar como una medida de la intensidad de la precipitación es el que presenta un mayor número de tendencias. Por un lado, su tendencia negativa en invierno indica una disminución en la intensidad de la precipitación, y en la misma línea se observa también tendencia negativa de pav, lo que implica una disminución de la precipitación en invierno en el Centro de la Península. Este resultado es coherente con aquel obtenido en García-Valero et al. (2012) en el que se indica una disminución en la frecuencia de ocurrencia de situaciones sinópticas asociadas a centros de bajas presiones extratropicales localizadas al Noroeste de la Península Ibérica en invierno. Por otro lado, se obtiene una tendencia positiva del índice px5d en otoño, relacionada con la tendencia positiva del índice pint, que revela un aumento de la precipitación en el Centro peninsular.

Respecto al índice relacionado con la duración de rachas secas, pxcdd, no se aprecian tendencias en prácticamente ninguna de las regiones, excepto en la región Noroeste peninsular, donde se observa una disminución de la duración de la racha en verano.

#### Px5d

Estación	Región	mm/década
Invierno	R-4 Centro SW	-6.62
Invierno	R-5 Centro NW	-3.71
Invierno	R-7 Centro NE	-1.87
Invierno	R-8 Sur	-6.46
Invierno	R-9 Centro SE	-4.06
Primavera	R-10 Norte W	-4.23
Verano	R-8 Sur	-1.51
Otoño	R-4 Centro SW	5.70
Otoño	R-5 Centro NW	4.39

#### Pint

Estación	Región	mm/década
Invierno	R-11 Levante S	0.29
Primavera	R-1 Norte E	0.19
Primavera	R-3 Levante C	0.31
Otoño	R-4 Centro SW	0.59
Otoño	R-5 Centro NW	0.31
Otoño	R-9 Centro SE	0.27

#### Pav

Estación	Región	mm/década
Invierno	R-4 Centro SW	-0.24
Invierno	R-9 Centro SE	-0.15
Verano	R-8 Sur	-0.03

#### Pxcdd

Estación	Región	nº días sec/década
Verano	R-10 Norte W	-1

Tabla 4. Valores de los índices con tendencia significativa.

## 4. Resumen y conclusiones

En este estudio se ha llevado a cabo una regionalización de las precipitaciones diarias sobre la Península Ibérica en el período 1950-2008 mediante el uso de la base de datos Spain02. La regionalización se ha aplicado al análisis de tendencias en una serie de índices de precipitación calculados a partir de las series regionales obtenidas. Las principales conclusiones de este estudio son:

- Se han obtenido 11 regiones de diferente variabilidad temporal, las cuales presentan una importante consistencia interna e importantes diferencias con el resto de regiones.

Corr.	R-1											
R-1	1	R-2										
R-2	0.18	1	R-3									
R-3	0.16	0.32	1	R-4								
R-4	0.13	0.03	0.21	1	R-5							
R-5	0.35	0.01	0.17	0.74	1	R-6						
R-6	0.27	0.28	0.56	0.25	0.25	1	R-7					
R-7	0.53	0.10	0.48	0.52	0.65	0.55	1	R-8				
R-8	0.13	0.13	0.30	0.73	0.47	0.33	0.45	1	R-9			
R-9	0.22	0.16	0.50	0.70	0.56	0.41	0.66	0.73	1	R-10		
R-10	0.38	-0.01	0.03	0.47	0.67	0.16	0.44	0.33	0.37	1	R-11	
R-11	0.02	0.37	0.56	0.15	0.05	0.20	0.15	0.33	0.38	-0.03	1	

Tabla 3. Correlación entre las series regionales.

- El índice px5d, precipitación máxima acumulada en cinco días consecutivos, muestra tendencias negativas en invierno en zonas del Centro y Oeste, compatible con cambios en la circulación atmosférica observado en algunos estudios (García-Valero et al., 2012). Para las mismas regiones el índice presenta una tendencia positiva en otoño.
- No se obtienen tendencias significativas en la duración de rachas secas (pxcdd) en prácticamente ninguna de las regiones identificadas, excepto la del Noroeste en verano donde se observa una disminución.

## 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.
- Esteban-Parra, M. J., Rodrigo, F. S., and Castro-Diez, Y.: Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992, *International Journal of Climatology*, 18, 1557–1574, 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.
- Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D., Ebi, K., Mastrandrea, M., Mach, K., Plattner, G., Allen, S., et al.: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, Cambridge University Press Cambridge, 2012.
- Gallego, M., Trigo, R., Vaquero, J., Brunet, M., García, J., Sigró, J., and Valente, M.: Trends in frequency indices of daily precipitation over the Iberian Peninsula during the last century, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, 2011.
- García-Valero, J. A., Montavez, 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, 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.
- González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., and De-Luis, Martín-Vide, J.: A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005), *International Journal of Climatology*, 31, 715–731, 2011.
- Haylock, M. R., Cawley, G. C., Harpham, C., Wilby, R. L., and Goodess, C. M.: Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: a comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios, *International Journal of Climatology*, 26, 1397–1415, 2006.
- 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.
- Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R.: Regional frequency analysis: an approach based on L-moments, Cambridge University Press, 2005.

- Jiménez, P. A., González-Rouco, J. F., Montávez, J. P., García-Bustamante, E., and Navarro, J.: Climatology of wind patterns in the northeast of the Iberian Peninsula, *International Journal of Climatology*, 29, 501–525, 2008.
- Lorente-Plazas, R., Montávez, J., Jimenez, P., Jerez, S., Gómez-Navarro, J., García-Valero, J., and Jimenez-Guerrero, P.: Characterization of surface winds over the Iberian Peninsula, *International Journal of Climatology*, 35, 1007–1026, 2015.
- Luna, M. Y., Guijarro, J. A., and López, J. A.: A monthly precipitation database for Spain (1851–2008): reconstruction, homogeneity and trends, *Adv. Sci. Res.*, 8, 1–4, 2012.
- Romero, R., Ramis, C., and Guijarro, J.: Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification, *International Journal of Climatology*, 19, 95–112, 1999.
- 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.
- Storch, V. and Zwiers, W.: *Statistical analysis in climate research*, chap. Empirical orthogonal functions, pp. 135–192, Cambridge University Press, 1999.
- Tamayo, J.: La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. *Climatología y desertificación*, chap. Influencia de la lluvia en la vegetación, pp. 44–57, Universidad de Valencia, 1993.