

EXPLORANDO LA COVARIABILIDAD DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y PRECIPITACIONES DE OTOÑO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA, 1952-2015.

Fernando S. RODRIGO¹

¹*Dpto. Química y Física, Universidad de Almería*

frodrigo@ual.es

RESUMEN

Temperaturas máximas diarias y precipitaciones suelen presentar una correlación negativa estadísticamente significativa sobre áreas terrestres. En este trabajo se analiza el comportamiento del coeficiente de correlación entre estas variables durante los otoños del periodo 1952-2015 en 34 estaciones que cubren los principales dominios climáticos de la Península Ibérica. Durante las últimas décadas de este periodo la correlación disminuyó e incluso dejó de ser significativa. Se analizan dos hipótesis que podrían explicar este comportamiento: el posible aumento de la actividad convectiva, o bien la influencia de cambios en la circulación atmosférica. Los resultados provisionales indican el importante papel de la Oscilación del Mediterráneo Occidental, con un predominio de su fase negativa en las últimas décadas.

Palabras clave: Covariabilidad de temperaturas y precipitaciones, convección, Oscilación del Mediterráneo Occidental.

ABSTRACT

Daily maximum temperature and rainfall have often a statistically significant negative relationship over land areas. In this work it is analyzed the correlation coefficient between these variables in autumn during the period 1952-2015 in 34 stations covering the main climatic domains of the Iberian Peninsula. During last decades of the period correlation diminished and stopped being significant. Two explanatory hypothesis are studied: the possible increase of the convective activity, and the possible influence of changes in the atmospheric circulation. First results indicate the important role of the Western Mediterranean Oscillation, with its negative phase dominating in the last decades of the period.

Key words: Temperature-rainfall covariability, convection, Western Mediterranean Oscillation.

1. INTRODUCCIÓN

La correspondencia entre nubosidad, precipitación y radiación solar incidente implica que los periodos más húmedos (secos) estén asociados con mayor (menor) nubosidad, y por tanto menores (mayores) temperaturas máximas diarias. Por otra parte, menores (mayores) precipitaciones están asociadas con un menor (mayor) contenido de humedad en el suelo, reducción (aumento) del flujo de calor latente, y mayores

(menores) temperaturas cerca de la superficie (Déry y Wood, 20105). Esta relación negativa entre temperaturas máximas diarias y precipitaciones ya fue detectada en un trabajo previo (Rodrigo, 2019) donde se estudiaba la covariabilidad estacional de lluvias y temperaturas en la Península Ibérica. En ese trabajo el análisis de las correlaciones móviles entre las temperaturas máximas y las precipitaciones de otoño mostraba una pérdida de significancia desde 1980 en adelante. La hipótesis de un incremento de la actividad convectiva fue usada para explicar este comportamiento: el aumento de las temperaturas en las últimas décadas del siglo XX provocaría un aumento de la evaporación, y, en consecuencia, un aumento de las precipitaciones en forma de lluvias convectivas, debilitando así la relación negativa entre temperaturas y precipitaciones. El objetivo de este trabajo es comprobar esta hipótesis usando para ello las series de temperaturas máximas diarias y precipitaciones de otoño de 34 estaciones meteorológicas que cubren los principales dominios climáticos de la Península Ibérica.

Por otro lado, la circulación atmosférica a gran escala puede alterar (amplificando o disminuyendo) la relación entre temperaturas y precipitaciones (Berg et al., 2015; Pumo et al., 2019). Parece necesario, pues, investigar la contribución de distintos patrones de teleconexión, entre los cuales, por su relevancia para el clima de la Península Ibérica (Rodríguez-Puebla et al., 2010), podemos destacar la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), el patrón del Atlántico Oriental (EA), el patrón escandinavo (SCAN), y la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO). En este trabajo, por limitaciones de espacio, presentamos sólo los resultados correspondientes a la WeMO.

2. DATOS Y MÉTODOS

La base de datos de este estudio comprende las cantidades diarias de precipitación y las temperaturas máximas diarias de otoño de 34 localidades de la Península Ibérica que cubren los principales dominios climáticos de la Península Ibérica (Martín-Vide y Olcina Cantos, 2001), durante el periodo 1952-2015. Los datos proceden del European Climate Assessment & Dataset Project (ECA&D; Klein-Tank et al, 2002, disponibles online en <http://www.ecad.eu>). Más detalles sobre las series utilizadas pueden encontrarse en Rodrigo (2019). Para cada localidad se calcularon las medias estacionales de las temperaturas máximas diarias (TX), así como las precipitaciones acumuladas de otoño (R). La Figura 1 muestra los coeficientes de correlación ρ entre TX y R para los subperiodos 1952-1983 y 1984-2015 (ρ es significativo al nivel de confianza del 95% si $|\rho| \geq 0.36$). Puede apreciarse la pérdida de significación estadística en el segundo subperiodo en muchas de las localidades.

De una forma similar al análisis de los datos sub-diarios (Llasat, 2001) definimos la actividad convectiva R_c como la contribución porcentual al total de precipitaciones acumuladas en un otoño concreto de los días lluviosos que superan un determinado valor umbral L , es decir,

$$R_c = 100 \frac{\sum_{i=1}^N r_i \theta(r_i - L)}{R} \quad (1)$$

donde

$$\theta(r_i - L) = \begin{cases} 1 & \text{si } r_i > L \\ 0 & \text{si } r_i \leq L \end{cases} \quad R = \sum_{i=1}^N r_i \quad (2)$$

siendo N el número de días lluviosos, es decir, aquellos días donde $r_i \geq 0.1$ mm. En este trabajo se eligió el valor umbral $L=15$ mm/día, teniendo en cuenta diversos estudios sobre precipitaciones convectivas, lluvias intensas y riadas en la cuenca mediterránea (Del Moral et al., 2017). Este valor de L se corresponde, en término medio, con el percentil 85 de las precipitaciones durante el periodo de referencia 1971-2000.

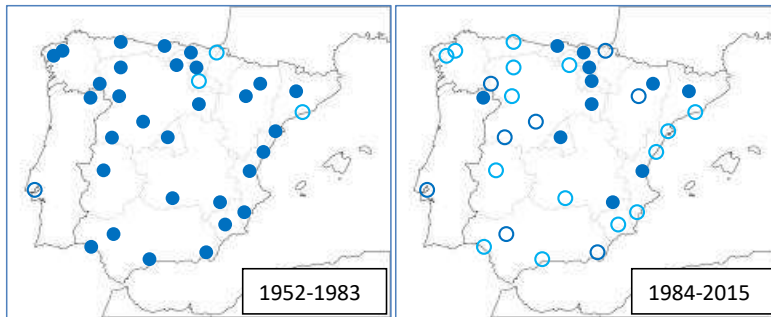


Figura 1. Coeficientes de correlación negativos entre TX y R para las 34 localidades estudiadas. El círculo lleno (vacío) indica coeficiente significativo (no significativo) al nivel de confianza del 95%.

Se calculó la magnitud R_c de cada otoño y luego se compararon los valores medios de esta magnitud \bar{R}_c para los dos subperiodos 1952-1983 y 1984-2015 mediante el t-test de comparación entre las medias. Por tanto, y considerando el signo negativo de ρ , el primer objetivo de este trabajo es comprobar la hipótesis

$$\text{Si } \bar{R}_c(1984 - 2015) > \bar{R}_c(1952 - 1983) \Rightarrow |\rho_{1984-2015}| < |\rho_{1952-1983}| \quad (3)$$

o la proposición equivalente

$$\text{Si } |\rho_{1984-2015}| \geq |\rho_{1952-1983}| \Rightarrow \bar{R}_c(1984 - 2015) \leq \bar{R}_c(1952 - 1983) \quad (4)$$

El criterio es que la diferencia en la actividad convectiva de ambos subperiodos debe ser estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95%. Nótese que esta proposición no permite inferir el comportamiento de ρ en el caso en el que la actividad convectiva disminuya.

Los valores mensuales de la WeMO de septiembre, octubre y noviembre de cada año (disponibles en <http://cru.aec.uk>) fueron promediados para obtener un índice estacional. La Figura 2 muestra el comportamiento del índice durante el periodo de estudio. La aplicación del test de Mann-Kendall dio como resultado una tendencia negativa estadísticamente significativa al nivel de confianza del 95%. Para el primer

subperiodo el valor medio del índice WeMO fue +0.26, mientras que para el segundo subperiodo fue -0.42, mostrando una diferencia estadísticamente significativa al 95%. La mediana de la serie ($WeMO_{med} = -0.12$) se calculó para dividir las series de datos en dos conjuntos de longitud similar. Se consideró que el índice WeMO es positivo (negativo) si su valor es superior (inferior) a esta mediana. Para analizar el papel de la WeMO se compararon las distribuciones bivariantes TX-R para WeMO positiva y WeMO negativa.

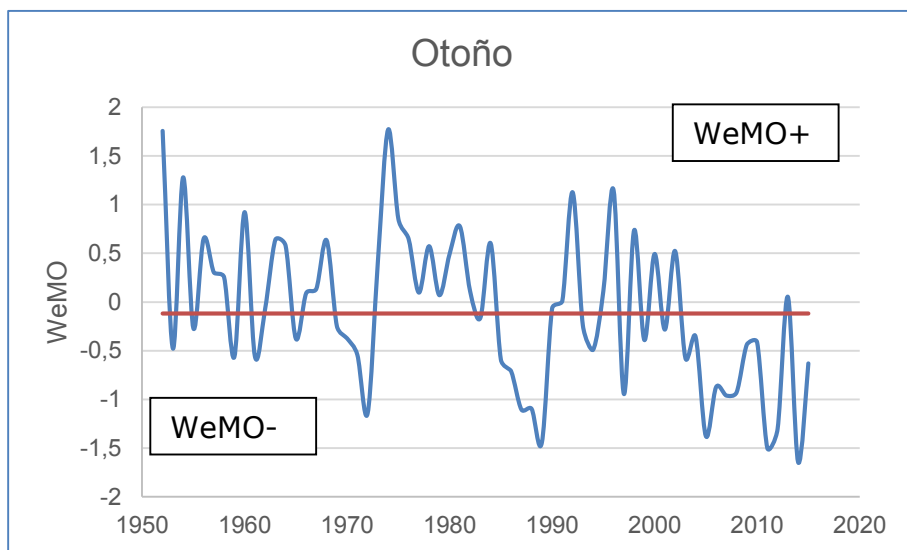


Figura 2. Índice WeMO de otoño, periodo 1952-2015. La línea horizontal indica el valor de la mediana ($= -0.12$).

3. RESULTADOS

3.1. Hipótesis R_c .

La Figura 3 muestra el resultado de aplicar el test-t de comparación entre las medias de R_c para ambos subperiodos. Sólo en 17 estaciones se produce un aumento del valor medio de R_c y, de estas, sólo en una (Cáceres) este aumento (del orden del 17%) es estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95%. El coeficiente de correlación varió de -0.51 en 1952-1983 (estadísticamente significativo) a -0.13 (no significativo) en 1984-2015. En el resto de los casos, el aumento es del orden del 3 al 5% con cambios similares de ρ . En las otras 17 estaciones se produce una disminución del valor medio de R_c del orden del 3%, sólo significativa en el caso de Alicante, donde llega al 14%. En Alicante, el coeficiente de correlación varió de -0.42 (significativo) a -0.03 (no significativo). Por tanto, podemos afirmar que la hipótesis (3) sólo se cumple en un caso, y de forma más débil, es decir, no significativa estadísticamente, en tan sólo la mitad de los casos. En cuanto a la hipótesis (4) sólo se verifica en Logroño, donde hubo un aumento de ρ desde un valor de -0.30 (no significativo) a -0.36 (significativo), y una disminución de R_c (no significativa) del

orden del 4%. Según este análisis, en los otros 16 casos en los que disminuyó la actividad convectiva, hubo un debilitamiento generalizado del coeficiente de correlación. Este resultado sugiere la necesidad de analizar otras hipótesis alternativas.



Figura 3. $\Delta\bar{R}_c$ entre los dos subperiodos 1952-1983 y 1984-2015. Triángulo hacia arriba (abajo) indica un aumento (disminución) de la actividad convectiva en el segundo subperiodo. Triángulo lleno (vacío) indica diferencia significativa (no significativa) al nivel de confianza del 95%.

3.2. Hipótesis WeMO.

La fase positiva de la WeMO se caracteriza por un centro de altas presiones sobre el cuadrante suroccidental de la Península Ibérica y un centro de bajas presiones sobre el Golfo de Liguria, mientras que la fase negativa muestra el patrón opuesto. En consecuencia, la fase positiva implica advecciones del N, NW, WNW y W sobre la península mientras que la fase negativa implica advecciones del ENE, E, ESE y SE (Martín-Vide y López-Bustins, 2006). Los flujos asociados a la fase negativa de la WeMO conducirían a un aumento de las precipitaciones en la fachada oriental de la Península como consecuencia de la advección de aire marítimo y relativamente más cálido del Mediterráneo, y, por tanto, a una contribución positiva a la correlación entre temperaturas y precipitaciones. Por el contrario, la fase positiva de la WeMO conduciría a una disminución de las precipitaciones en esta área, mientras que, debido a los flujos del norte asociados, se produciría un aumento de las precipitaciones en torno al Golfo de Vizcaya. La Figura 4 muestra las diferencias $\overline{TX}(\text{WeMO}+) - \overline{TX}(\text{WeMO}-)$ y $\overline{R}(\text{WeMO}+) - \overline{R}(\text{WeMO}-)$, ilustrando este resultado. La influencia en TX es menos evidente, destacando una disminución (aumento) significativa de esta variable en las localidades del norte de la Península durante la fase positiva (negativa) de la oscilación. En nuestro caso, la influencia sobre las precipitaciones parece extenderse desde la fachada oriental de la Península a toda la mitad sur, un resultado ligeramente diferente al de Martín-Vide y López-Bustins (2006), quizás como resultado de que sus análisis se extienden al periodo comprendido entre Octubre y Marzo, y aquí nos limitamos a los tres meses otoñales.

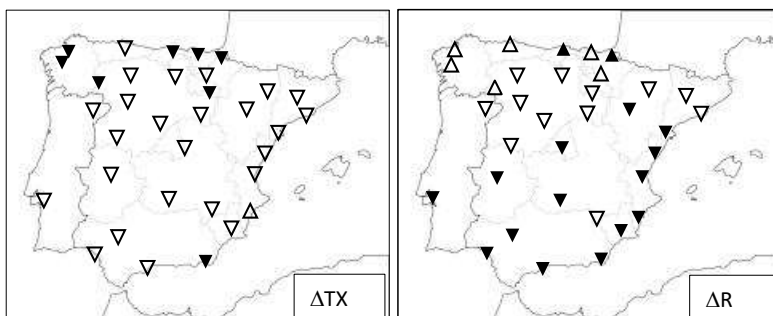


Figura 4. Diferencias entre TX y R de las fase positiva y negativa de la WeMO. Triángulo hacia arriba (abajo) indica un aumento (disminución) de la variable durante la fase positiva de la WeMO, significativo (no significativo) si está relleno (vacío).

La Figura 5 muestra el comportamiento de los coeficientes de correlación entre TX y R correspondientes a cada una de las fases de la WeMO. Puede apreciarse un claro debilitamiento de estos coeficientes en la fachada mediterránea y el sur de la Península Ibérica durante la fase negativa de la WeMO. Dada la tendencia hacia valores negativos del índice WeMO en las décadas finales del periodo de estudio, este resultado sugiere que la hipótesis WeMO es la principal candidata para explicar el debilitamiento encontrado en los coeficientes de correlación.

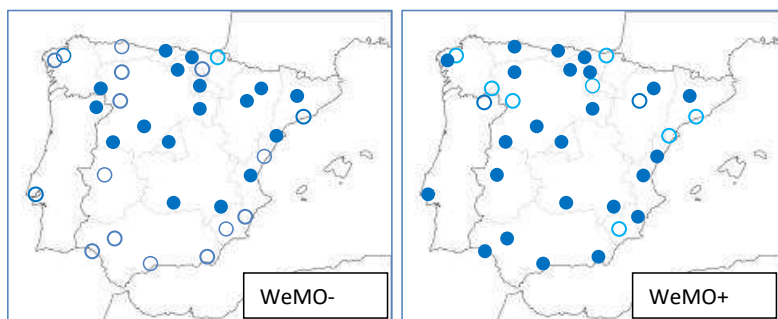


Figura 5. Coeficientes de correlación entre TX y R correspondientes a las fases negativa y positiva de la WeMO. El círculo lleno (vacío) indica coeficiente significativo (no significativo) al nivel de confianza del 95%.

4. DISCUSIÓN

4.1. Hipótesis R_c

La precipitación de latitudes medias es fundamentalmente de dos tipos: convectiva (intensa, local, y de duración relativamente breve, del orden de 1 hora) y estratiforme (de menor intensidad, mayor cobertura espacial, y duración relativamente larga, entre 4 y 6 horas). La contribución de estos dos tipos de precipitación al total acumulado es difícil de distinguir (Berg et al, 2013) pues ambos regímenes no son independientes y

pueden ocurrir al mismo tiempo. Una investigación de las precipitaciones convectivas requiere el análisis de datos horarios (Berg et al., 2009). Este es el principal inconveniente de nuestra hipótesis R_c pues aquí contamos con datos a resolución diaria. Con datos diarios, una primera aproximación consiste en considerar que las lluvias son convectivas si un cierto valor umbral es excedido y no hay precipitaciones en estaciones próximas, en un radio en torno a los 50 km alrededor de la estación en estudio (Han et al., 2016). El valor umbral elegido en este trabajo ($L=15$ mm/día) coincide con el elegido para el estudio de tormentas convectivas en Cataluña usando datos diarios (Del Moral et al., 2017), y es del mismo orden de magnitud que el utilizado por Han et al (2016) en su estudio de las precipitaciones convectivas en áreas semiáridas de China.

La contribución media de R_c a las precipitaciones totales de otoño en las 34 localidades estudiadas y para todo el periodo de análisis es del orden del 48%, una cantidad sólo ligeramente inferior a otras estimaciones, en torno al 50-60% especialmente para los meses de verano y otoño (Tremblay, 2005, Llasat et al., 2007; Henin et al., 2019). Por tanto, en principio, nuestra estimación de la actividad convectiva parece plausible. Sin embargo, no hemos detectado cambios significativos en R_c , mientras que otros autores (Ruiz Leo et al., 2013) encontraron una tendencia positiva significativa de las lluvias convectivas de otoño en las estaciones mediterráneas de la Península Ibérica durante el periodo 1998-2008. La diferente longitud de los periodos analizados, el uso de diferentes resoluciones temporales y aspectos metodológicos para distinguir entre lluvias estratiformes y convectivas pueden explicar estas diferencias. En todo caso, aunque con las cautelas necesarias dada la resolución temporal diaria de nuestros datos, nuestros resultados sugieren que debemos rechazar la hipótesis R_c .

4.2. Hipótesis WeMO.

Podemos separar la precipitación en sus componentes “dinámica” y “radiativa”, donde la primera está relacionada con las advecciones generadas por la circulación atmosférica, y la segunda está relacionada con los cambios locales de temperatura superficial (Williams y Ringer, 2010). Esta idea nos permite estimar las precipitaciones mediante un modelo de regresión múltiple, de la forma

$$R = a + bTX + cWeMO \quad (5)$$

En este modelo, la relación “radiativa” negativa entre R y TX vendría dada por un parámetro b negativo, y esta relación vendría modulada por la influencia del índice dinámico $WeMO$. Si el índice es negativo, y $c < 0$, esto supondría un aumento de las precipitaciones y, en consecuencia, un debilitamiento de la relación negativa entre R y TX .

Este sencillo modelo se aplicó a las 34 localidades para el periodo de estudio completo. La Figura 6 muestra los resultados de aplicar este modelo a cuatro estaciones ubicadas en áreas climáticamente diferentes, como A Coruña, Madrid, Sevilla y Valencia.

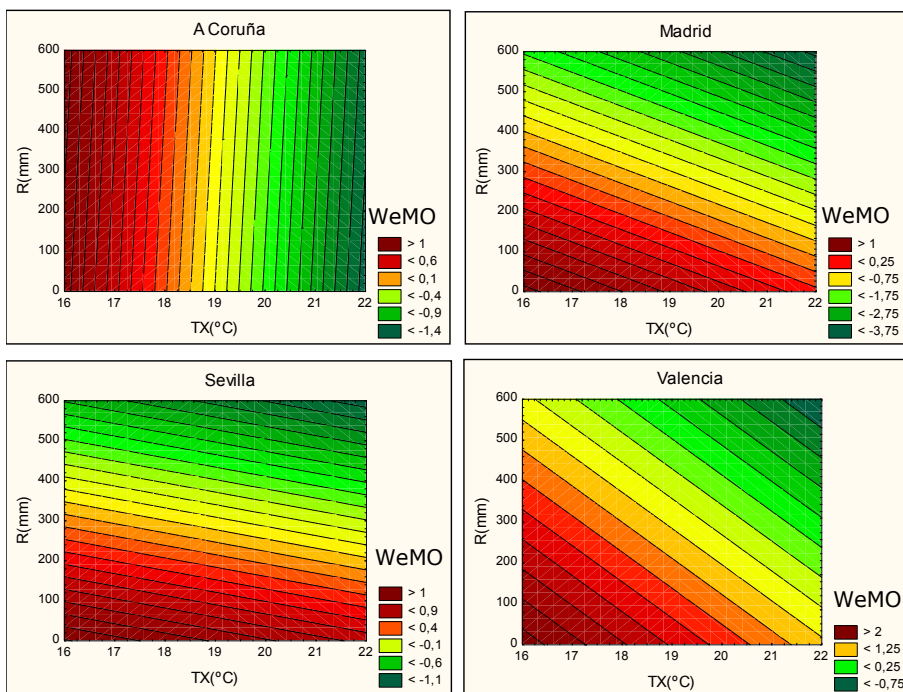


Figura 6. Relación entre $R(\text{mm})$, $\text{TX}(\text{°C})$ e índice WeMO durante el periodo 1952-2015 en A Coruña, Madrid, Sevilla y Valencia.

En A Coruña no se encuentra una relación significativa entre R y TX , tal y como se obtuvo durante el periodo 1984-2015 (Figura 1), así como entre R y WeMO, indicando la escasa influencia de la WeMO en las precipitaciones del extremo noroccidental de la Península Ibérica. Sin embargo, la fase positiva (negativa) de la WeMO sí parece estar asociada con valores menores (mayores) de TX , probablemente por las advecciones del oeste de masas de aire atlántico (masas del aire mediterráneo del este). En este caso, no obstante, la ecuación de regresión no resultó estadísticamente significativa. En las otras estaciones el comportamiento es muy parecido, mostrando la relación negativa entre R y TX , así como la asociación de la fase negativa (positiva) de la WeMO con valores mayores (menores) de R y TX . Los coeficientes de regresión b y c fueron negativos en todos los casos, indicando que valores negativos del índice WeMO estarían asociados a un aumento de R y TX . Los coeficientes de determinación ajustados fueron el 46, 20 y 41% en Madrid, Sevilla, y Valencia, respectivamente. El modelo es simple y no refleja toda la variabilidad de las precipitaciones en las estaciones estudiadas, pero sí ofrece una explicación plausible para el comportamiento de las correlaciones.

4.3. Síntesis.

Ambas hipótesis no son mutuamente excluyentes. De hecho, la fase negativa de la WeMO incrementaría la actividad convectiva, según la hemos definido aquí. La

Figura 7 muestra la influencia del índice WeMO en la variable R_c . Aunque los cambios de R_c entre una fase y otra de la WeMO no son, en general, estadísticamente significativos, sí se aprecia un descenso (aumento) generalizado de R_c durante la fase positiva (negativa) de la WeMO, especialmente en la mitad sur y vertiente mediterránea de la Península.



Figura 7. Variación de la actividad convectiva $R_c(WeMO+)-R_c(WeMO-)$ durante el periodo 1952-2015. Triángulo hacia arriba (abajo) indica un aumento (disminución) durante la fase positiva de la WeMO, significativo (no significativo) al nivel de confianza del 95% si está lleno (vacío).

La distinción entre la contribución dinámica y radiativa a las precipitaciones, así como entre lluvias convectivas y estratiformes, está lejos de ser evidente, y, de hecho, la solución propuesta es una simplificación que necesita mayor investigación. Por otro lado, la contribución de otros patrones de teleconexión, así como la posible interrelación entre ellos (Sánchez-López et al., 2016) puede ser un factor importante a la hora de explicar las variaciones hidroclimáticas de la Península Ibérica.

REFERENCIAS

- Berg, P., Haerter, J.O., Thejll, P., Piani, C., Hagemann, S., Christensen, J.H. (2009). Seasonal characteristics of the relationship between daily precipitation intensity and surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 114, D18102, [doi:10.1029/2009JD012008](https://doi.org/10.1029/2009JD012008)
- Berg, P., Haerter, J.O. (2013). Unexpected increase in precipitation intensity with temperature—a result of mixing of precipitation types? *Atmospheric Research*, 119, 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.05.012>.
- Berg, P., Lintner, B.R., Findell, K., Seneviratne, S.I., Van der Hurk, B., Ducharme, A., Cghérny, F., Hagermann, S., Lawrence, D.M., Malyshev, S., Meier, A., Gentine, P. (2015). Interannual coupling between summertime surface temperature and precipitation over land: processes and implications for climate change. *Journal of Climate*, 28, 1308-1328. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00324.1>
- Del Moral, A., Llasat, M.C., Rigo, T. (2017) Identification of anomalous motion of thunderstorms using daily rainfall fields. *Atmospheric Research*, 185, 92-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.11.001>

- Déry, S.J., Wood, E.F. (2005). Observed twentieth century land surface air temperature and precipitation covariability. *Geophysical Research Letters*, 32: L21414, <https://doi.org/10.129/2005GL024234>
- Han, X., Xue, H., Zhao, C. Lu, D. (2016) The roles of convective and stratiform precipitation in the observed precipitation trends in Northwest China during 1961-2000. *Atmospheric Research*, 169, 139-146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.10.001>
- Henin, R., Ramos, A.M., Schemm, S., Gouveia, C.M., Liberato, M.L.R. (2019). Assigning precipitation to mid-latitudes fronts on sub-daily scales in the North Atlantic and European sector: Climatology and trends. *International Journal of Climatology*, 39, 317-330. [Doi:10.1002/joc.5808](https://doi.org/10.1002/joc.5808)
- Klein-Tank, A.M.G., and Coauthors (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment. *International Journal of Climatology*, 22, 1441-1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>
- Llasat, M.C. (2001). An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features. Application to rainfall intensity in the north-east of Spain. *International Journal of Climatology*, 21, 1385-1400.
- Martín Vide, J., Olcina Cantos, J., 2001. *Climas y tiempos de España*. Madrid, Alianza Editorial.
- Martín-Vide, J., López-Bustins, J.A. (2006). The Western Mediterranean Oscillation and Rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 26, 1455-1475. [Doi:10.1002/joc.1388](https://doi.org/10.1002/joc.1388)
- Pumo, D., Carlino, G., Blekinsop, S., Arnone, E., Fowler, H., Noto, L.V. (2019). Sensitivity of extreme rainfall to temperature in semi-arid Mediterranean regions. *Atmospheric Research*, 225, 30-44. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.03.036>
- Rodrigo, F.S. (2019). Coherent variability between seasonal temperatures and rainfall in the Iberian Peninsula, 1951-2016. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 473-490. <https://doi.org/s0074-018-2400-1>
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A.H., García-Casado, L.A., Nieto, S. (2010). Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, 100, 667-684. [http://doi.org/10.1007/s10584-009-9721-0](https://doi.org/10.1007/s10584-009-9721-0)
- Ruiz-Leo, A.M., Hernández, E., Queralt, S., Maqueda, G. (2013). Convective and stratiform precipitation trends in the Spanish Mediterranean coast. *Atmospheric Research*, 119, 46-55. [Doi:10.1016/j.atmosres.2011.07.019](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.07.019)
- Sánchez-López, G., Hernández, A., Pla-Rebes, S., Trigo, R.M., Toro, M., Granados, I., Sáez, A., Masqué, P., Pueyo, J.J., Rubio-Inglés, M.J., Giralt, S. (2016). Climate reconstruction for the last two millennia in central Iberia: The role of East Atlantic (EA), North Atlantic Oscillation (NAO) and their interplay over the Iberian Peninsula. *Quaternary Science Reviews*, 149, 135-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.07.021>
- Tremblay, A. (2005). The stratiform and convective components of Surface precipitation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 62, 1513-1528.
- Williams, J., Ringer, M.A. (2010). Precipitation changes within dynamical regimes in a perturbed climate. *Environmental Research Letters*, 5, 035202. [Doi:10.1088/1748-9326/5/3/035202](https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/3/035202)