

**EPISODIOS DE PRECIPITACIÓN TORRENCIAL EN EL ESTE Y SURESTE IBÉRICOS Y SU RELACIÓN CON LA VARIABILIDAD INTRAANUAL DE LA OSCILACIÓN DEL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL (WeMO) ENTRE 1950 Y 2016**

Óliver MESEGUER-RUIZ<sup>1,2</sup>, Joan Albert LOPEZ-BUSTINS<sup>2</sup>, Laia ARBIOL-ROCA<sup>2</sup>, Javier MARTIN-VIDE<sup>2</sup>, Javier MIRÓ<sup>3</sup>, María José ESTRELA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ciencias Históricas y Geográficas, Universidad de Tarapacá (Chile)*

<sup>2</sup>*Grup de Climatologia, Departament de Geografia, Universitat de Barcelona (España)*

<sup>3</sup>*Departament de Física de la Terra i Termodinàmica, Universitat de València (España)*

<sup>4</sup>*Departament de Geografia, Universitat de València (España)*

**omeseguer@academicos.uta.cl, jlopezbustins@ub.edu, larbiol@ub.edu, jmartinvide@ub.edu, javier.miro-perez@uv.es, majoesna@uv.es**

**RESUMEN**

La relación de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) con la ocurrencia e intensidad de las precipitaciones en el litoral mediterráneo ibérico ha sido demostrada en numerosos trabajos. Entre 1950 y 2016 se registraron 239 episodios de precipitación torrencial extrema ( $\geq 200$  mm/24 horas) en las cuencas hidrográficas del Júcar y del Segura (3,6 casos al año). El 29,3% de estos eventos tuvieron lugar con una fase de la WeMO fuertemente negativa, el 37,5% en una fase negativa y el 28,3% en una fase ligeramente negativa. Solo el 7,9% de los episodios tuvieron lugar en una fase positiva de la WeMO. Se evidenció un cambio en el calendario de los valores mínimos de la WeMO, pasando de las primeras semanas de octubre a un período más amplio que abarca desde finales de agosto hasta principios de noviembre. Esta extensión del período más negativo de la WeMO podría estar relacionada con una nueva distribución temporal de los eventos de precipitación torrencial. Puede considerarse la WeMO como un buen indicador de la ocurrencia de precipitación torrencial en la fachada oriental de la Península Ibérica.

**Palabras clave:** Júcar, Mediterráneo occidental, Precipitación torrencial, Segura, Transformada de Fourier

**ABSTRACT**

The relationship of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) with the intensity of precipitation in the Mediterranean coast of the Iberian Peninsula has been demonstrated in several works. Between 1950 and 2016, 239 episodes of extreme torrential rainfall ( $\geq 200$  mm/24 hours) were registered in the Júcar and Segura hydrographic basins (3.6 cases per year). The 29.3% of these events took place with a highly negative WeMO phase, the 37.5% of the cases in a negative phase, and the

28.3% of the cases in a lightly negative phase. Only the 7.9% of the events occurred in a WeMO positive phase. A change on the calendar of the minimum values of the WeMO was identified, happening now in the last weeks of August and beginning of November instead of in the first weeks of October. This extended period might be related to a new temporal distribution of the extremely torrential events of precipitation. The WeMO is shown as a good indicator to analyse the torrential precipitation events in the east of the Iberian Peninsula.

**Key words:** Fourier transform, Júcar, Segura, Torrential precipitation, western Mediterranean

## 1. INTRODUCCIÓN

La irregularidad en la distribución de las precipitaciones a nivel intraanual es una de las características primordiales de los climas mediterráneos, siendo estas más escasas o prácticamente nulas durante la época estival (Kottek *et al.*, 2006). Esta irregularidad ha sido ampliamente estudiada en el área mediterránea y en la Península Ibérica mediante distintas metodologías (Cortesi *et al.*, 2012; Benhamrouche *et al.*, 2015; Serrano-Notivolí *et al.*, 2018), lo que demuestra la prioridad de su análisis en un área donde las precipitaciones suponen el principal aporte hídrico (Olcina Cantos, 2006). Como ya se ha señalado en trabajos previos, en el litoral y prelitoral mediterráneos de la fachada oriental de la Península Ibérica los máximos pluviométricos tienen lugar en las estaciones equinocciales, siendo sensiblemente mayores en otoño que en primavera (De Luis *et al.*, 2010; López-Bustins *et al.*, 2016). En los meses otoñales, en esta área suelen ocurrir episodios de precipitación intensa, vinculados a unas temperaturas superficiales del mar elevadas (que se dan en los meses tardoestivales) y unas condiciones sinópticas particulares que favorecen los movimientos convectivos (López-Bustins *et al.*, 2016). Es por esto que es de especial interés identificar qué mecanismos tienen lugar a nivel sinóptico para poder anticiparse a la ocurrencia de estos eventos que pueden ocasionar pérdidas económicas considerables (Olcina Cantos, 2006).

Un buen indicador de la ocurrencia de estos eventos es la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO, por sus siglas en inglés), cuyo índice (WeMOi) presenta una correlación negativa y estadísticamente significativa con la precipitación acumulada en los meses otoñales, siendo la correlación mejor que con los índices de la Oscilación del Atlántico Norte (NAOi) y de la Oscilación del Mediterráneo (MOi) (Martín-Vide, 2002; Martín-Vide y López-Bustins, 2006).

En un contexto de cambio climático, evidenciado por un aumento de las temperaturas (IPCC, 2014), se espera una mayor cantidad de vapor de agua en la atmósfera, lo que provocaría una intensificación de los eventos extremos de precipitación (Matthews, 2018). En este sentido, también podría extenderse temporalmente la estación de lluvias otoñales, hacia el mes siguiente (noviembre), así como adelantarse (septiembre o, incluso, finales de agosto) por alcanzarse unas temperaturas superficiales del mar superiores a las normales.

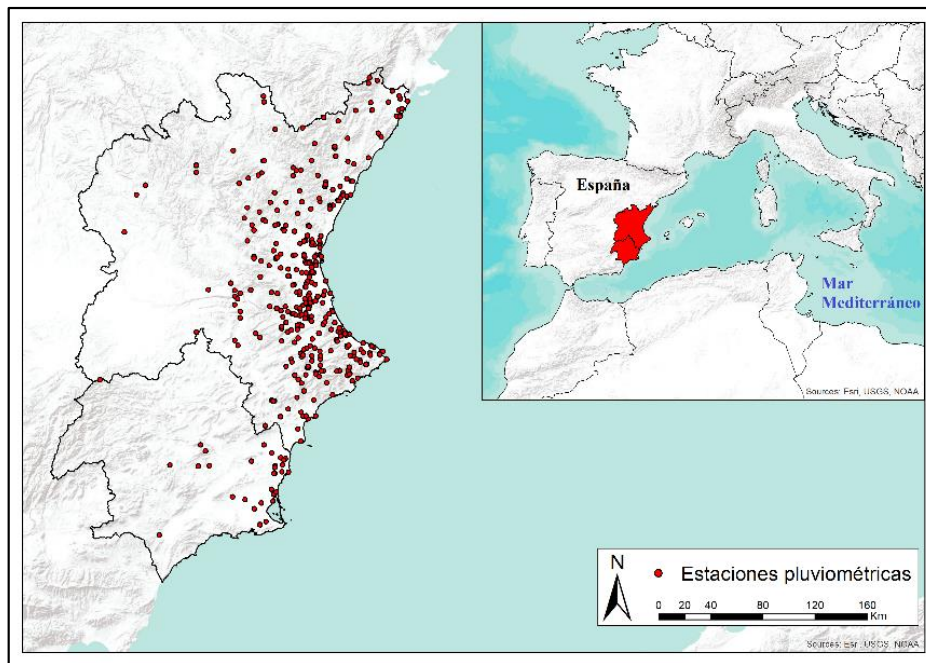
En el presente trabajo se relaciona la variabilidad intraanual del WeMOi con la ocurrencia de episodios torrenciales extremos ( $\geq 200$  mm/24 horas) a lo largo del año.

Por la realidad climática y geográfica señalada anteriormente, el desplazamiento de la temporada de lluvias torrenciales en esta región del Mediterráneo puede tener consecuencias directas en la planificación de actividades económicas (sobre todo las relacionadas con el turismo) y con los riesgos naturales asociados.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Datos utilizados

Se ha utilizado la serie de episodios extremadamente torrenciales (superior o igual a 200 mm en 24 horas) que tuvieron lugar en las Confederaciones Hidrográficas de los ríos Júcar y Segura en el período 1950-2016 (Miró et al., 2016), cuyas cuencas comprenden la mayor parte de las regiones este y sureste de la Península Ibérica. En este período de 67 años se utilizaron datos de estaciones meteorológicas de la red de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet) y del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA-SIAR) (Figura 1).



*Fig. 1: Localización de los observatorios en los que se han registrado al menos una vez una cantidad de 200 mm o más en 24 horas a lo largo del período de estudio.*

Para el cálculo del WeMOi, se utilizaron las series diarias de presión atmosférica de los observatorios de San Fernando, al suroeste de la Península Ibérica, y Padua, en el noreste de Italia. Dichas series fueron normalizadas y posteriormente restadas, distinguiendo así una fase positiva y una negativa.

## 2.2. Calendarios del WeMOi

Para el estudio de la variabilidad intraanual de los episodios torrenciales se opta por la construcción de calendarios pluviométricos (Soler y Martín-Vide, 2002). Se cuantifica el número de casos que se acumulan en un determinado espacio temporal del calendario. Este intervalo temporal puede ser de un mes, 15 días, 10 días o menos. En este trabajo se considera el intervalo de 10 días, el cual se corresponde aproximadamente con el período máximo de predicción baroclínica. Se contabilizan las frecuencias de los episodios de  $\geq 200$  mm por períodos de diez días, que constituyen 36 decenas de días (en adelante, decenas) a lo largo del año, del período 1950-2016. Estos calendarios pluviométricos permiten delimitar con más precisión que la escala mensual el período de lluvias torrenciales. Asimismo, se contemplan dos subperíodos de 33 y 34 años (1950-1982 y 1983-2016) para evaluar posibles desplazamientos temporales en el calendario de lluvias torrenciales en el área de estudio. También se realizan los mismos calendarios para el WeMOi a partir de los valores diarios del índice promediados por períodos de diez días. Finalmente, se solapan los calendarios del WeMOi y de los episodios de precipitación torrencial con el fin de hallar coincidencias en la evolución intraanual de ambos fenómenos.

## 2.3. Análisis de Fourier

Los valores medios por períodos de 10 días del WeMOi -que puede considerarse que se repiten año tras año- admiten descomposición en suma de funciones sinusoidales, como las series de Fourier. Para un determinado número de armónicos suponen un buen ajuste del citado índice. El mínimo detectado en una simple representación gráfica delatará en el calendario medio el período de 10 días con un valor más negativo del WeMOi, lo que puede hacerse para cada uno de los subperíodos.

## 3. RESULTADOS

Durante el período de estudio, se contabilizaron 239 episodios torrenciales en algún punto del área de estudio, arrojando un promedio de 3,6 casos al año (Tabla 1). El número absoluto de episodios extremadamente torrenciales se sitúa siempre por encima de los 10 desde la tercera decena de septiembre hasta la segunda de noviembre (Figura 3).

Durante el resto del año, el número de casos es inferior a 10, con la excepción de la primera decena de septiembre y las dos primeras de diciembre. Los valores decadales del WeMOi son muy positivos al principio del año, hasta la llegada de la primavera, en que se sitúa en torno al valor neutro. A partir de mayo, los valores son negativos o muy negativos hasta mediados de noviembre, momento en el que los valores pasan a ser positivos hasta final de año.

Existe una buena correspondencia entre la ocurrencia de los episodios extremadamente torrenciales y los valores intranuales del WeMOi, sobre todo para el mes de octubre, cuando los valores de la WeMOi son los más bajos de todo el período y coincide en el mismo momento el mayor número de eventos de torrencialidad extrema (25, 27 y 21 casos en cada una de las tres decenas de octubre).

Mes	Decena	Número de episodios extremadamente torrenciales				Valores WeMOi			
		1950-2016	1950-1982	1983-2016	Diferencia	1950-2016	1950-1982	1983-2016	Diferencia
ENE	1D	1	1	0	1	0,37	0,37	0,38	0,01
ENE	2D	2	1	1	0	0,30	0,39	0,20	-0,19
ENE	3D	2	1	1	0	0,31	0,35	0,27	-0,08
FEB	1D	2	0	2	-2	0,39	0,41	0,37	-0,04
FEB	2D	2	2	0	2	0,33	0,54	0,14	-0,40
FEB	3D	4	2	2	0	0,09	0,04	0,15	0,10
MAR	1D	1	1	0	1	0,05	0,04	0,07	0,03
MAR	2D	1	0	1	-1	-0,04	0,19	-0,27	-0,46
MAR	3D	4	2	2	0	0,12	0,13	0,10	-0,03
ABR	1D	4	1	3	-2	-0,01	0,09	-0,11	-0,21
ABR	2D	5	2	3	-1	0,02	0,08	-0,04	-0,11
ABR	3D	4	2	2	0	-0,13	0,06	-0,32	-0,37
MAY	1D	5	1	4	-3	-0,12	0,12	-0,35	-0,47
MAY	2D	1	1	0	1	-0,13	-0,08	-0,17	-0,10
MAY	3D	6	4	2	2	-0,11	-0,07	-0,15	-0,08
JUN	1D	2	2	0	2	-0,06	-0,02	-0,10	-0,08
JUN	2D	3	1	2	-1	-0,05	0,07	-0,17	-0,24
JUN	3D	2	1	1	0	-0,03	0,06	-0,13	-0,19
JUL	1D	0	0	0	0	-0,10	-0,02	-0,19	-0,17
JUL	2D	1	0	1	-1	-0,14	0,01	-0,28	-0,29
JUL	3D	1	0	1	-1	-0,17	-0,12	-0,22	-0,09
AGO	1D	2	0	2	-2	-0,24	-0,14	-0,33	-0,19
AGO	2D	3	1	2	-1	-0,25	-0,20	-0,30	-0,10

AG O	3D	6	4	2	2	-0,27	-0,25	-0,28	-0,03
SE P	1D	17	5	12	-7	-0,29	-0,23	-0,35	-0,12
SE P	2D	8	3	5	-2	-0,26	-0,23	-0,30	-0,06
SE P	3D	11	0	11	-11	-0,30	-0,20	-0,39	-0,19
OC T	1D	25	16	9	7	-0,32	-0,26	-0,38	-0,12
OC T	2D	27	22	5	17	-0,46	-0,29	-0,62	-0,34
OC T	3D	21	15	6	9	-0,35	-0,14	-0,55	-0,40
NO V	1D	12	4	8	-4	-0,20	-0,20	-0,20	0,00
NO V	2D	16	5	11	-6	0,02	0,28	-0,25	-0,53
NO V	3D	8	7	1	6	0,00	0,20	-0,19	-0,40
DI C	1D	12	7	5	2	0,10	0,32	-0,12	-0,44
DI C	2D	12	5	7	-2	0,23	0,49	-0,02	-0,51
DI C	3D	6	5	1	4	0,28	0,40	0,16	-0,23

*Tabla 1. Número de eventos extremadamente torrenciales por período de 10 días y sus correspondientes valores WeMOi según períodos de estudio.*

Existe una buena correspondencia entre la ocurrencia de los episodios torrenciales y los valores intraanuales del WeMOi (Fig. 2). Es especialmente coincidente la máxima frecuencia absoluta de episodios torrenciales (33) (1 episodio cada 2 años) con el valor mínimo del WeMOi (-0,32) del 11 al 20 de octubre. Al observar los calendarios por subperíodos (Fig. 3), se evidencia que la mayor parte de los eventos registrados en agosto y en noviembre pertenecen al subperíodo 1983-2016. Los valores del WeMOi de agosto son más bajos en el segundo subperíodo que en el primero, y en el caso del mes de noviembre sus valores son negativos en el período 1983-2016. Esto se traduce en un aumento de 1 caso en agosto y de 4 en noviembre.

En el segundo subperíodo se identifican valores del WeMOi sensiblemente inferiores a los del primer subperíodo, sobre todo en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Coincide con una desestacionalización del período de ocurrencia de eventos extremos de precipitación, como se ha señalado anteriormente.

La aplicación de una aproximación de Fourier a la distribución intranual de los valores del WeMOi (Fig. 4 y Fig. 5) muestra claramente cómo en el segundo subperíodo (1983-2016) el mínimo se retrasa 2 decenas, situándose en la 28, en la primera de octubre, mientras que en el primer subperíodo se sitúa en la 26, la segunda de septiembre.

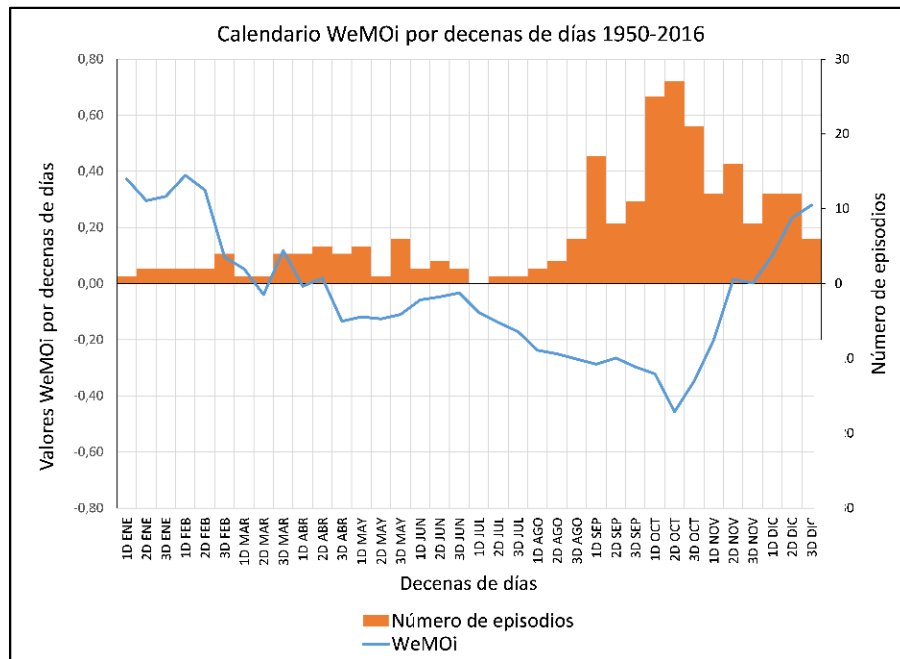


Fig.2: Calendario por períodos de diez días del número de episodios torrenciales extremos ( $\geq 200$  mm en 24 h) acontecidos en el área de estudio y de los valores diarios del WeMOi durante el período 1950-2016.

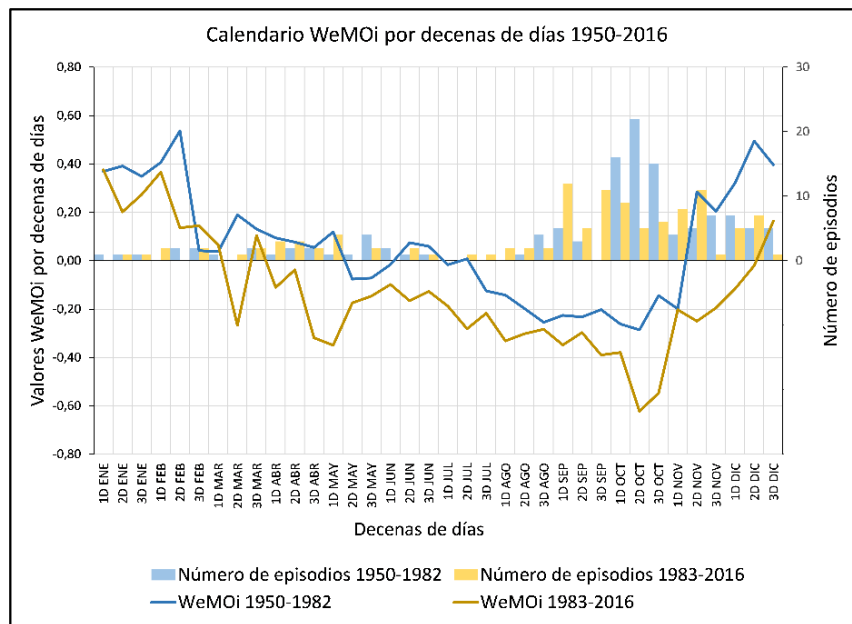


Fig. 3: Ídem Fig. 2, para los subperíodos 1950-1982 y 1983-2016.

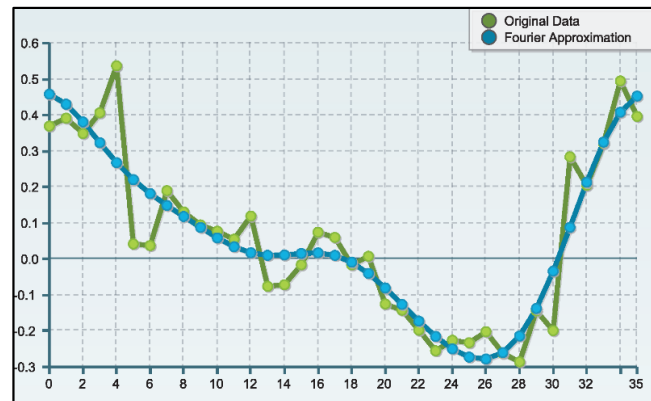


Fig. 4: Aproximación de Fourier (3 armónicos) para los valores medios en intervalos de 10 días (abscisa) del WeMOi (ordenada) del período 1950-1982.

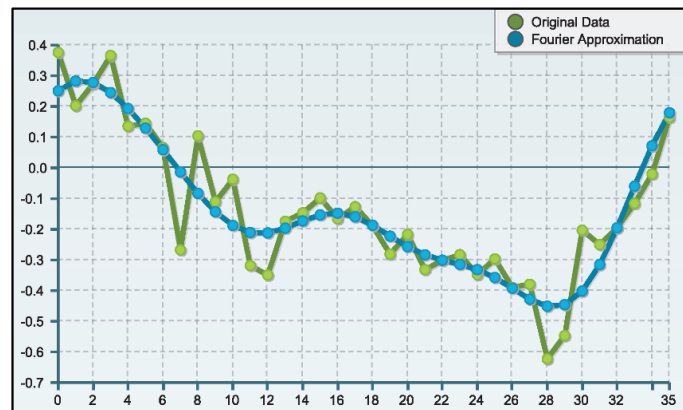


Fig. 5: Ídem Fig. 4, para el período 1983-2016.

#### 4. DISCUSIÓN

El mes de octubre es el mes en el que ha registrado el mayor número de episodios de precipitación torrencial extrema, en el período 1950-2016, en las cuencas hidrográficas del Júcar y el Segura, siendo así para los observatorios cercanos al litoral de las regiones orientales de la Península Ibérica. La mayor frecuencia de valores extremos negativos del WeMOi durante octubre, configurados por la presencia de altas presiones en Centroeuropa y bajas presiones en el golfo de Cádiz, favorece la circulación de vientos de levante sobre la Península. Esta circulación mediterránea es el ingrediente principal para favorecer la ocurrencia de episodios torrenciales en el este peninsular (Martín-Vide, 2005). De ahí que el mes de octubre sea el mes más lluvioso en promedio en la mayor parte de la fachada este de España.

En ambos subperíodos de estudio (1950-1982 y 1983-2016) se aprecian diferencias evidentes en los valores intraanuales del WeMOi, hecho que ya fue detectado en otros estudios (Lana *et al.*, 2016). Esta realidad se corresponde con un aumento de los



eventos de torrencialidad extrema de las precipitaciones en las confederaciones hidrográficas estudiadas, asociándolos a unas configuraciones sinópticas vinculadas a frentes de retroceso (Millán *et al.*, 2005; López-Bustins *et al.*, 2016).

Se ha detectado asimismo, en el segundo subperíodo, un aumento de los eventos de precipitación torrencial extrema en el mes de noviembre. Este resultado coincide con lo que se señaló en el trabajo de López-Bustins *et al.* (2016) para la costa catalana, y que se explica por unas temperaturas superficiales del mar Mediterráneo progresivamente más elevadas en el citado mes en combinación con una circulación del este en superficie y la entrada de aire polar en altura. Esta misma explicación podría aplicarse al área de estudio.

También se ha detectado un aumento de los eventos en el mes de agosto, cuando estos frentes de retroceso no son tan habituales. En verano predominan unas condiciones de estabilidad atmosférica vinculadas a la presencia del anticiclón subtropical al oeste de la Península Ibérica, y los valores más bajos del WeMOi pueden estar relacionados con circulaciones más locales en la cuenca del Mediterráneo Occidental. Este recorrido del flujo de aire sobre el mar Mediterráneo con una temperatura superficial progresivamente más elevada puede provocar el transporte de mayor cantidad de energía y de vapor de agua hacia el área de estudio, produciendo unos eventos más torrenciales (Estrela *et al.*, 2008).

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo del proyecto WEMOTOR (CSO2014-55799-C2-1-R, 2015-2017) y CLICES (CGL2017-83866-C3-2-R, 2018-2020) del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España y del Grupo de Climatología (2017 SGR 1362, Generalitat de Catalunya).

#### REFERENCIAS

- Benhamrouche, A., Boucherf, D., Hamadache, R., Bendahmane, L., Martin-Vide, J., Teixeira Nery, J. (2015). Spatial distribution of the daily precipitation concentration in Algeria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, 617–625. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-617-2015>
- Cortesi, N., González-Hidalgo, J.C., Brunetti, M., Martin-Vide, J. (2012). Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 2799–2810. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-12-2799-2012>
- De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Longares, L.A., Martin-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Global and Planetary Change*, 74, 27-33. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.06.006>
- Estrela, M.J., Pastor, F., Miró, J., Valiente, J.A. (2008). Precipitaciones torrenciales en la Comunidad Valenciana: La temperatura superficial del agua del mar y áreas de

- recarga. Primeros resultados. En M.J. Estrela Navarro (Ed.), *Riesgos climáticos y cambio global en el mediterráneo español ¿hacia un clima de extremos?* (pp. 121-140). Valencia: Colección Interciencias.
- IPCC. (2014). Summary for policymakers, Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-32). Cambridge: Cambridge University Press. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_summary-for-policymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf)
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263.
- Lana, X., Burgueño, A., Martínez, M.D., Serra, C. (2016). Complexity and predictability of the monthly Western Mediterranean Oscillation index. *International Journal of Climatology*, 36, 2435-2450. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4503>
- López-Bustins, J.A., Martín-Vide, J., Prohom, M., Cordobilla, M.J. (2016). Variabilidad intranual de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y ocurrencia de episodios torrenciales en Cataluña. En J. Olcina Cantos, A.M. Rico Amorós, E. Moltó Mantero (eds.) *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio* (pp. 171-182). Alicante: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). doi: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECALicante2016-16>
- Martín-Vide, J. (2002). Ensayo sobre la Oscilación del Mediterráneo Occidental y su influencia en la pluviometría del este de España. En J.A. Guijarro, M. Grimalt, M. Laita, S. Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima/ L'Aigua i el Clima* (pp. 35-42), Palma: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- Martín-Vide, J. (2005). Los mapas del tiempo. Mataró: Davinci Continental, 222 pp.
- 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: <https://dx.doi.org/10.1002/joc.1388>
- Matthews, T. (2018). Humid heat and climate change. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 42 (3): 391-405. doi: <https://doi.org/10.1177/0309133318776490>
- Millán, M., Estrela, M.J., Miró, J.J. (2005). Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate* 18, 2682-2705. doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI3426.1>
- Miró, J.J., Caselles, V., Estrela, M.J. (2017). Multiple imputation of rainfall missing data in the Iberian Mediterranean context. *Atmospheric Research*, 197, 313-330. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.07.016>

- Olcina Cantos, J. (2006). *¿Riesgos naturales? I. Sequías e inundaciones*. Barcelona: Terán Libros. 220 pp.
- Serrano-Notivoli, R., Martín-Vide, J., Saz, M. A., Longares, L. A., Beguería, S., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., de Luis, M. (2018). Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38(Suppl. 1): e518-e530. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5387>
- Soler, X., Martín-Vide, J. (2002). Los calendarios climáticos. Una propuesta metodológica. En J.A. Guijarro, M. Grimalt, M. Laita, S. Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima/ L'Aigua i el Clima* (pp. 577-586), Palma: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).