

CAMBIOS ESTACIONALES EN LA DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS DE VERANO EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL JÚCAR Y SEGURA

Juan Javier MIRÓ¹, María José ESTRELA², Vicente CASELLES¹, Igor GÓMEZ^{2,3}

¹*Departament de Termodinàmica i Física de la Terra. Universitat de València.*

²*Departament de Geografia. Universitat de València.*

³*Departament de Ciències de la Terra i del Medi Ambient. Universitat d'Alacant.*

**jamipe@uv.es, majoesna@uv.es, vicente.caselles@uv.es,
igor.gomez@uv.es**

RESUMEN

La reciente creación de la base de datos de precipitaciones diarias CDRD-HR-EIP-1955-2016, cubriendo las confederaciones hidrográficas del Júcar y Segura con alta densidad espacial (890 series) y sin lagunas en el período completo 1955-2016, ha permitido analizar tendencias y cambios estructurales en la precipitación con mayor detalle espacial que estudios previos. Ello ha revelado para dicho periodo importantes tendencias negativas en la precipitación de sus cabeceras interiores, sobre todo en el caso del Júcar, y un aumento en la duración de las rachas secas y la irregularidad pluviométrica. Resultados que se han relacionado con un cambio en la frecuencia de tres tipos sinópticos básicos identificados en la región como generadores de precipitación. El presente estudio analiza el caso de las precipitaciones clasificadas como convectivas, asociadas a tormentas estivales. Estas precipitaciones, de relativa importancia en el Sistema Ibérico y cabeceras, han tendido a migrar desde el verano a las estaciones equinocciales, pero en mayor medida hacia el otoño que hacia la primavera. Ello ha contribuido a un aumento de la aridez estival, de por sí alta en la región, y rasgos de irregularidad pluviométrica extendiéndose a otras estaciones del año.

Palabras clave: cambio climático, tendencias en la precipitación, tormentas de verano, CHJ, CHS.

ABSTRACT

The recent creation of the CDRD-HR-EIP-1955-2016 rainfall database, covering the *Júcar* and *Segura* river basin authorities with high spatial density (890 series) without gaps for the entire 1955-2016 period, has allowed analyze trends and structural changes in precipitation with greater spatial detail than previous studies. This has revealed significant negative trends for total precipitation towards its inland headwaters, especially for the *Júcar* case, and

an increase of dry spells length and rainfall irregularity. These results have been related to a change in the frequency of three basic synoptic types identified in the region as precipitation triggers. The present study analyzes the convective-case of precipitation, associated with summer storms. These precipitations, of relative importance in the Iberian System and headwaters, have tended to migrate from the summer to the equinoctial seasons, but to a greater extent towards the autumn than towards the spring. This led to an increase in summer aridity, which is already high in the region, and a greater degree of rainfall irregularity extending to other seasons of the year.

Key words: climate change, rainfall trends, summer storms, CHJ, CHS.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el calentamiento global es un problema mundial de primer orden, no sólo por afectar a las temperaturas, sino también por introducir cambios en la distribución espacial de la lluvia y el ciclo hidrológico. Del mismo modo, la frecuencia de los días húmedos o la intensidad de la lluvia podrían sufrir fuertes variaciones. Sin embargo, la gran variabilidad espacial de la lluvia dificulta el análisis eficaz de sus tendencias y su generalización. Ello significa que los cambios locales en la precipitación detectados a partir de algunas series aisladas de larga duración pueden no ser totalmente representativos de una región completa o de sus sectores clave de recarga hidrológica (cabeceras de cuenca). Esto puede ser especialmente cierto en el clima mediterráneo y especialmente en las cuencas hidrográficas surorientales de la Península Ibérica, muy sensibles al cambio climático de carácter hidrológico, caso de las Confederaciones Hidrográficas del Segura (CHS) y del Júcar (CHJ).

De forma general, para la región mediterránea se prevé una pérdida de precipitaciones como consecuencia del aumento de la divergencia del vapor de agua en las zonas subtropicales y su expansión hacia los polos (Held y Soden, 2006) y la contracción del vórtice circumpolar hacia los polos (Frauenfeld y Davis, 2003; Trenberth *et al.*, 2007). Y junto a esto, se espera que aumente la intensidad de las inundaciones y las sequías (Held y Soden, 2006), de la misma manera que la duración de los períodos de sequía (Sánchez *et al.*, 2011).

Para España y el área mediterránea cercana al área de estudio, los estudios de tendencias de lluvia han proporcionado diferentes resultados en el pasado debido a las diferentes densidades espaciales de información empleada, diferentes períodos o incluso diferentes métodos de homogeneidad (Bladé y Castro, 2010). Pero una mayoría de estudios posteriores al año 2000, que incluyeron mayor densidad espacial de información y/o datos más recientes, han detectado cambios estructurales en la precipitación, como una tendencia hacia una mayor concentración e irregularidad (González-Hidalgo, *et al.*, 2003; De Luis, *et al.*, 2011), cambios en su distribución mensual y estacional (González-Hidalgo, *et al.*, 2009; López-Moreno, *et al.*, 2009; De Luis, *et al.*, 2009, 2010; Bladé y Castro, 2010; Del Río *et al.*, 2011), y un aumento en la

duración de los períodos de sequía (Serra *et al.*, 2006). A lo que se suma evidencia de que estas tendencias se deben a cambios en la frecuencia de los patrones de circulación atmosférica (González-Hidalgo, *et al.*, 2009) y los mecanismos genéticos sinópticos que proporcionan precipitación en el área de estudio (Millán *et al.*, 2005; Miró *et al.*, 2009, 2018).

Una línea de investigación reciente (Miró *et al.*, 2017, 2018) se ha enfocado en la región que engloba la CHS y CHJ (Fig. 1), desarrollando un método de relleno de lagunas y homogeneización de series de precipitación diaria que ha permitido implementar la base de datos sin lagunas más densa y completa hasta la fecha en la región para el periodo 1955-2016. Se trata de la *CDRD-HR-EIP-1955-2016 database*, que ha permitido realizar un detallado análisis de tendencias en la precipitación con una elevada densidad espacial de información para ambas cuencas (Miró *et al.*, 2018). Los resultados obtenidos en Miró *et al.* (2018) confirman cambios en curso en las precipitaciones hacia un aumento de la irregularidad espacial y temporal, cambios en su distribución mensual y estacional, un aumento en la longitud de los períodos secos, y cambios asociados a la frecuencia de tipos sinópticos; y además confirman una pérdida destacada de volúmenes de precipitación en la cabecera de ambas cuencas, especialmente en la del Júcar. Esta pérdida se ha determinado ahora con mucha mayor precisión (Fig. 1), como novedad con respecto a estudios anteriores que tuvieron que trabajar con un conjunto de series más limitado y menos representativo de lo que ocurre en cabecera.

De acuerdo a los tipos sinópticos generadores de precipitación en la región desarrollados por Millán *et al.* (2005), se han establecido claramente tendencias significativas hacia la pérdida de precipitación asociada a frentes atlánticos (configuraciones típicas del Oeste) en la región de estudio, mientras que la precipitación mediterránea altamente irregular y concentrada ha tendido a ocupar mayor peso relativo en los totales anuales (Millán *et al.*, 2005, Miró *et al.*, 2009, 2018). De modo que tendencias negativas en el interior de la CHJ, sobretodo su cabecera, y también en cierta medida en la cabecera de la CHS, se relacionan con una pérdida de lluvia vinculada a los frentes atlánticos y una pérdida de las lluvias moderadas de mayor eficacia pluviométrica, en favor de los eventos extremos (Miró *et al.*, 2018). Sin embargo, los resultados presentados en Miró *et al.* (2018) también aportan un resultado novedoso para las precipitaciones convectivas, vinculadas generalmente a las tormentas de verano según se definen en Millán *et al.* (2005). Aunque estas no muestran tendencias significativas anuales generales, se insinúa una redistribución intra-anual, por un traslado de estas precipitaciones propias del verano hacia el resto del año, mientras el verano tiende a agudizar sus condiciones secas. Aunque este tipo de precipitaciones tiene poca importancia hacia el litoral y Sur del territorio conformado por la CHJ y CHS, tiene una importancia relativa en zonas montañosas interiores, particularmente en el caso de la CHJ (Fig. 2), y en la regulación del estiaje estival en cabecera.

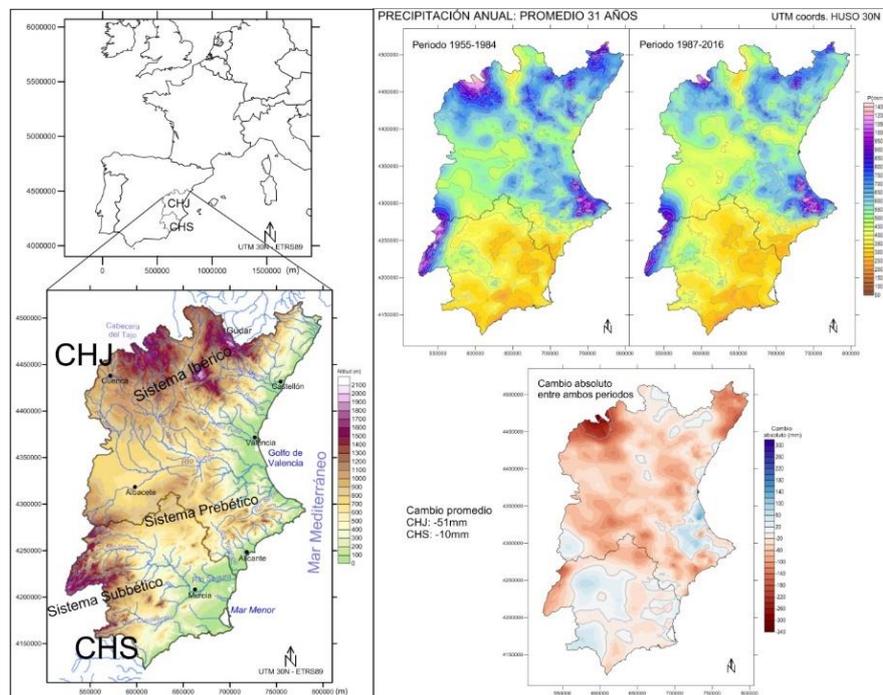


Fig. 1: Localización de la región de estudio (derecha). Precipitación media anual (izquierda) comparando el periodo 1955-1985 y el periodo 1986-2016 (izquierda – arriba), y el cambio absoluto entre ambos periodos (izquierda – abajo). Fuente: a partir de Miró et al. (2018).

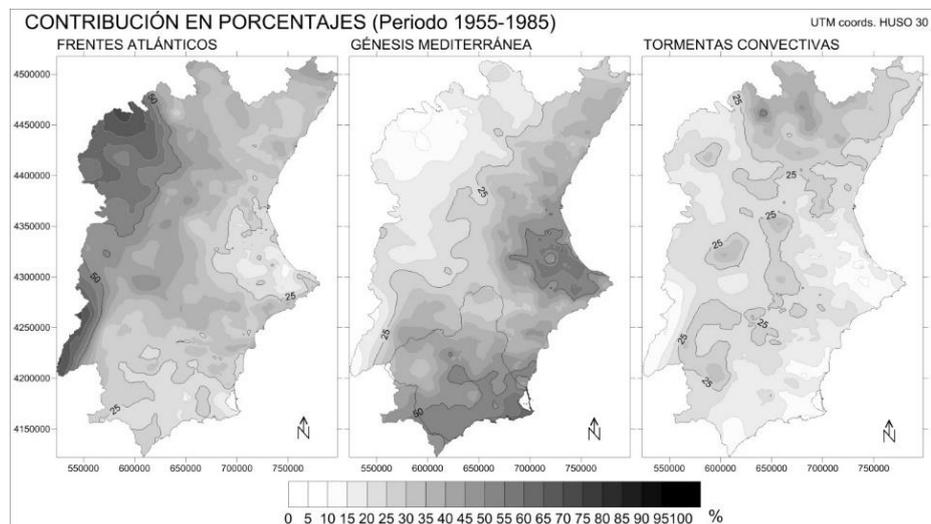


Fig. 2: Contribución en porcentajes de cada uno de los tres tipos sinópticos de génesis, aplicando el método de Millan et al. (2005), sobre la precipitación anual total para el periodo de referencia 1955-1985, usando aquí la CDRD-HR-EIP-1955-2016 database.

El presente estudio se conforma para profundizar en los cambios estacionales específicos a la precipitación originada por este último tipo sinóptico, las tormentas convectivas de carácter estival e irregular, dentro de la CHJ y CHS (Fig. 1). Para ello se hace uso de la recién desarrollada *CDRD-HR-EIP-1955-2016 database* y los métodos de análisis ya aplicados en Miró *et al.* (2018).

2. DATOS Y MÉTODO

La base de datos utilizada en el estudio, la *CDRD-HR-EIP-1955-2016 database* desarrollada en Miró *et al.* (2017, 2018), se compone de 890 series de precipitación que cubren enteramente la CHJ y CHS y el periodo completo 1955-2016. Estas series, originalmente con numerosas lagunas, coberturas temporales muy heterogéneas, e inhomogeneidades, se sometieron a un proceso conjunto de relleno de lagunas denominado NLPCA-EOF-QM (nonlinear principal component analysis–empirical orthogonal functions–quantile mapping) desarrollado en Miró *et al.* (2017) y desplegado en Miró *et al.* (2018). La disponibilidad por decenios de observatorios aportando datos observados antes de aplicar el método NLPCA-EOF-QM se muestra en la Fig. 3. Todos ellos se usaron y completaron al periodo 1955-2016 por dicho método.

Los valores estimados para los datos diarios faltantes de precipitación tuvieron un RMSE y MAE generalmente inferiores a ± 3 y ± 1 mm con este método, junto con correlaciones cercanas a 1 (> 0.9), sesgo cercano a 0 y la relación de eventos húmedos/secos de acuerdo con los datos observados. La preservación de la tendencia y de la función de distribución acumulativa también se probó y cumplió en los datos estimados por este método (Miró *et al.*, 2017). Este rendimiento se obtuvo incluso teniendo altos porcentajes de datos faltantes (30-50%) lo que permitió incorporar una mayor densidad espacial de estaciones.

Una vez que se obtuvieron todas las series completas (1955-2016), se homogeneizaron mediante el método ACMANT (Adapted Caussinus-Mestre Algorithm for Networks of Temperature Series - ACMANTv3.0 - ACMANTP3day for precipitation - Domonkos, 2015), y los análisis de tendencias aplicados a la totalidad de series se duplicaron en paralelo utilizando solo aquellas series observadas que originalmente tenían más de 40 años observados, corroborando que las tendencias coinciden bien de un modo general (Miró *et al.*, 2018).

El presente estudio se ha centrado en las precipitaciones diarias clasificadas bajo el tipo sinóptico de ‘situaciones convectivas’. Una explicación precisa de los tipos sinópticos que causan las precipitaciones en el área, agrupados en ‘frentes atlánticos’, ‘advecciones mediterráneas’ y ‘situaciones convectivas’ (como los tres tipos generales – Fig. 2), está disponible en Millán *et al.* (2005). En resumen, el tipo de ‘situaciones convectivas’ se refiere a aquellas en las que no prevalece un proceso advectivo. Esta categoría incluye la formación de tormentas locales impulsada por la brisa marina combinada y los vientos ascendentes muy vinculados a la orografía. Coincide con la presencia de altas

presiones subtropicales o, como máximo, una inestabilidad relativa con baja baroclinidad que domina la troposfera media y alta, mientras que una baja presión térmica aparece en la troposfera inferior sobre el interior y Sur de la Península Ibérica. Es la situación más típica de los meses de verano, mostrándose un ejemplo de episodio de este tipo en la Fig. 4.

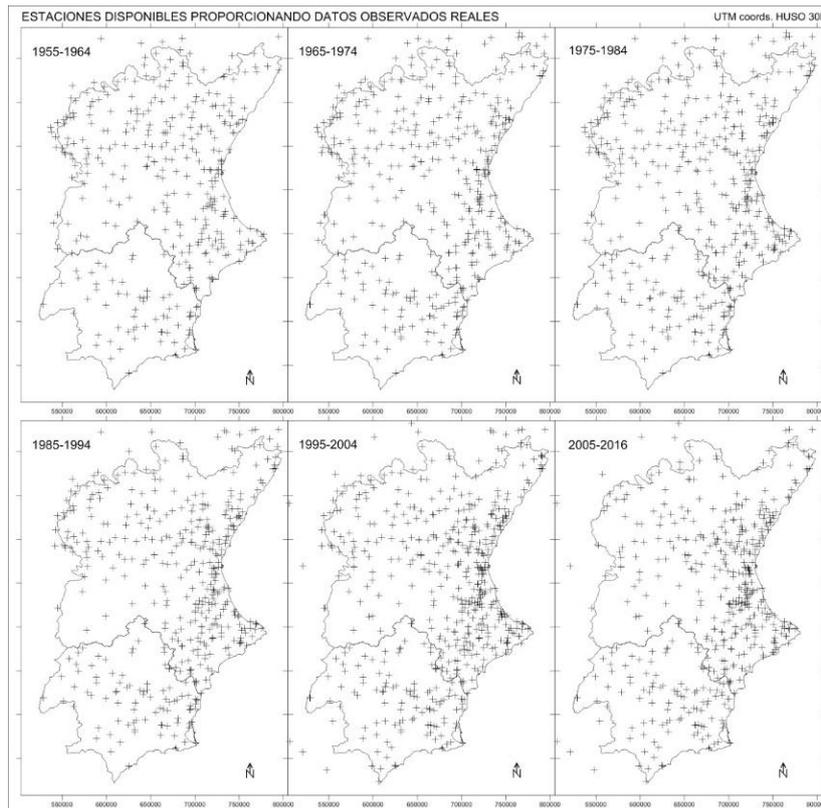


Fig. 3: Disponibilidad original de observatorios por cada decenio proporcionando datos originales observados que cubren al menos la mitad del correspondiente decenio, para la creación de la CDRD-HR-EIP-1955-2016 database. Fuente: Miró et al. (2018).

El volumen promedio de precipitación anual bajo este tipo sinóptico, basado en la CDRD-HR-EIP-1955-2016 database, se cartografía en la Fig. 5, en la que se comparan los 30 primeros años de la serie con los 30 últimos, obteniendo el cambio absoluto entre ambos sub-periodos.

Para probar los cambios ocurridos entre el comienzo y el final del período estudiado se ha hecho uso de procedimientos robustos no paramétricos, según se emplean en Miró et al. (2018), para testar la existencia o no de una tendencia estadísticamente significativa por cada observatorio, y su magnitud, a través de:

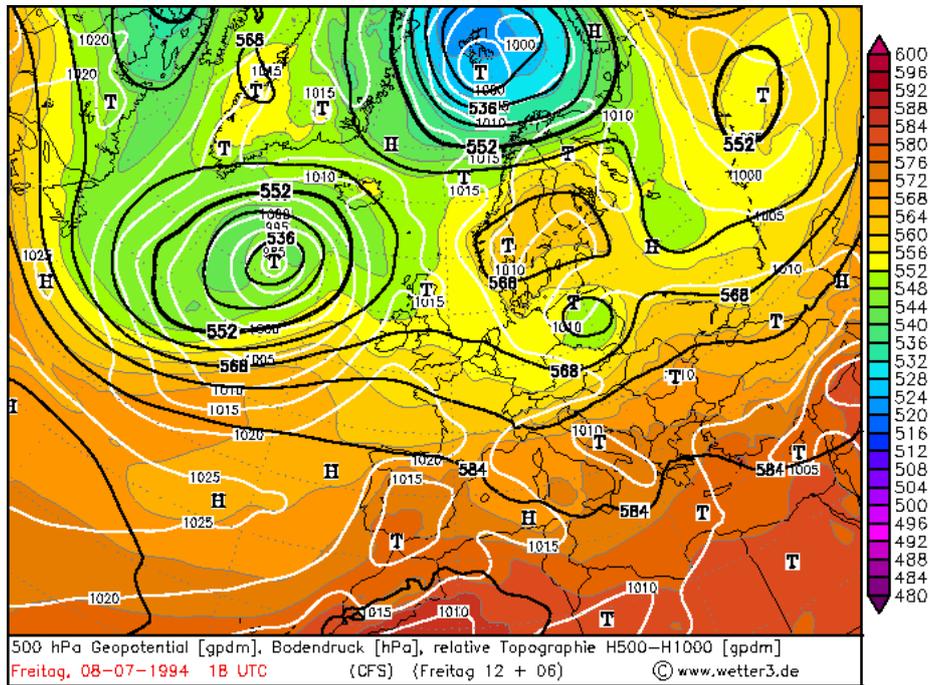


Fig. 4: Ejemplo de configuración sinóptica clasificada como 'situación convectiva' (día 08-07-1994). Fuente: www.wetter3.de.

- La prueba de tendencia de Mann-Kendall para cada una de las series disponibles. Se ha testado la significación estadística a $\alpha = 0.01$, $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.1$. Los resultados obtenidos se han cartografiado (Figs. 6 y 7), clasificando las estaciones según la dirección de la tendencia y el nivel de confianza estadística (o su ausencia) que se cumple al aplicar la prueba: rojo (tendencia negativa) o azul (tendencia positiva); punto con relleno (confianza > 99%), punto semi-relleno (> 95%), punto sin relleno (> 90%) y punto gris sin relleno cuando la tendencia no es significativa a ninguno de los anteriores niveles.
 - La Pendiente Sen (Theil-Sen estimator) anual para cada estación. Los valores de pendiente se presentan en forma espacialmente interpolada (interpolación polinómica local) en los mapas de resultados. Estos deben interpretarse junto con los resultados de la prueba de Mann-Kendall para tener una idea de la confianza de las pendientes obtenidas.
 - El cambio relativo anual derivado de la Pendiente Sen. Dado que la Pendiente Sen es una medida absoluta de cambio, un valor pequeño puede deberse a que de entrada se evalúan cantidades bajas de precipitación, enmascarando cualquier cambio relativo importante. Por lo tanto, tiene sentido presentar también una medida de cambio relativo, complementando la información proporcionada por la pendiente Sen.
- Estas pruebas se han hecho para los volúmenes de precipitación por cada estación del año bajo el tipo sinóptico 'situaciones convectivas'.

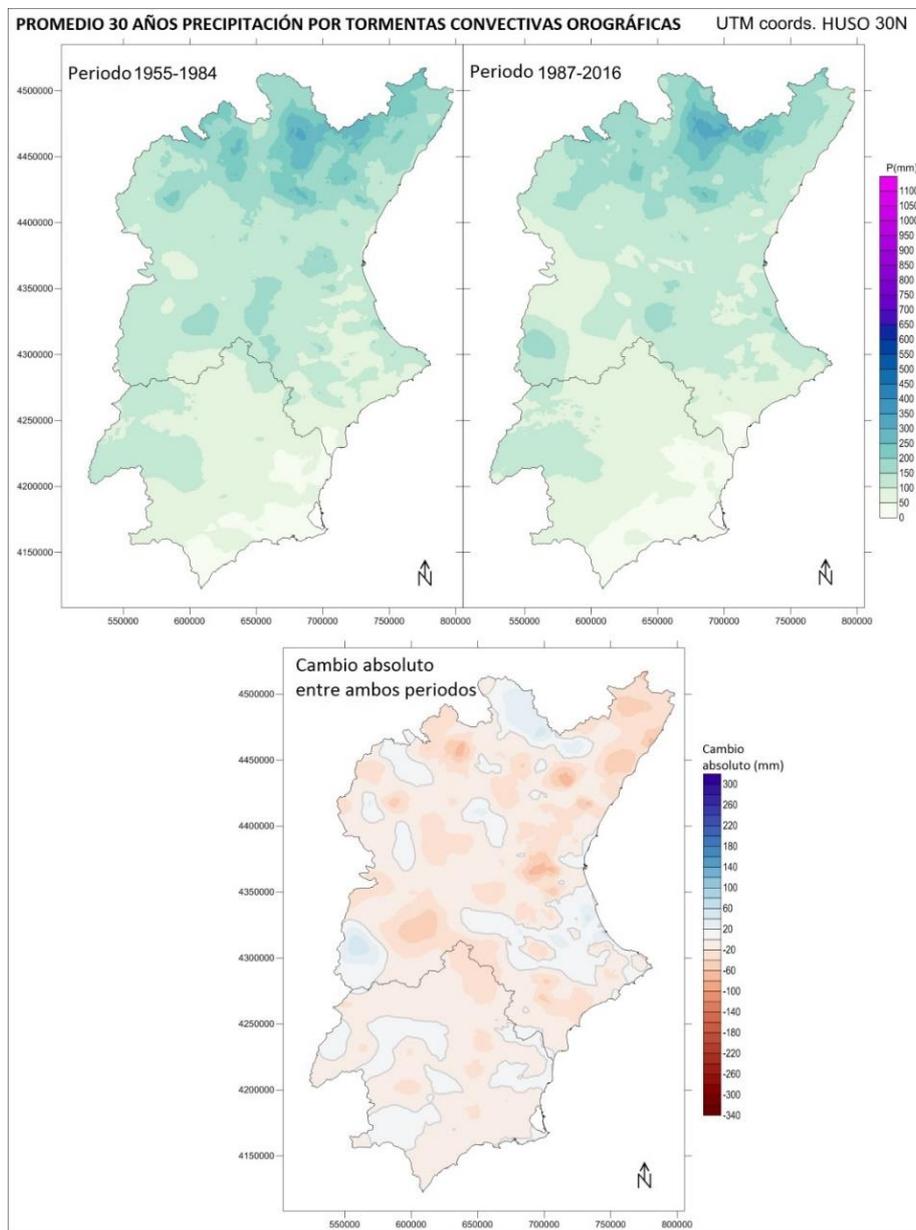


Fig. 5: Volumen promedio de precipitación anual vinculada al tipo sinóptico 'situaciones convectivas', según la CDRD-HR-EIP-1955-2016 database. Se comparan los 30 primeros años de la serie (arriba-izquierda) con los 30 últimos (arriba-derecha), obteniendo el cambio absoluto entre ambos sub-periodos (abajo-centro). Fuente: elaborado a partir de Miró et al. (2018).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aunque los volúmenes anuales no reflejen grandes cambios o, en todo caso, disminuciones débiles (Fig. 5), al analizar las tendencias intra-anales y

estacionales sí se manifiestan cambios importantes (Fig. 6). Se destaca así, en primer lugar, una marcada tendencia a la pérdida de precipitación en los meses de verano (Fig. 6 – arriba) que, por otra parte, son los que históricamente registran este tipo de precipitación (tormentas de verano). Las tendencias negativas son significativas en una mayoría de observatorios. Por el contrario, el resto del año registra el caso inverso, con una tendencia positiva estadísticamente significativa en una mayoría de observatorios. De modo que, durante el periodo estudiado, ha habido una clara tendencia a la migración intra-anual de los eventos tormentosos propios del verano al resto del año.

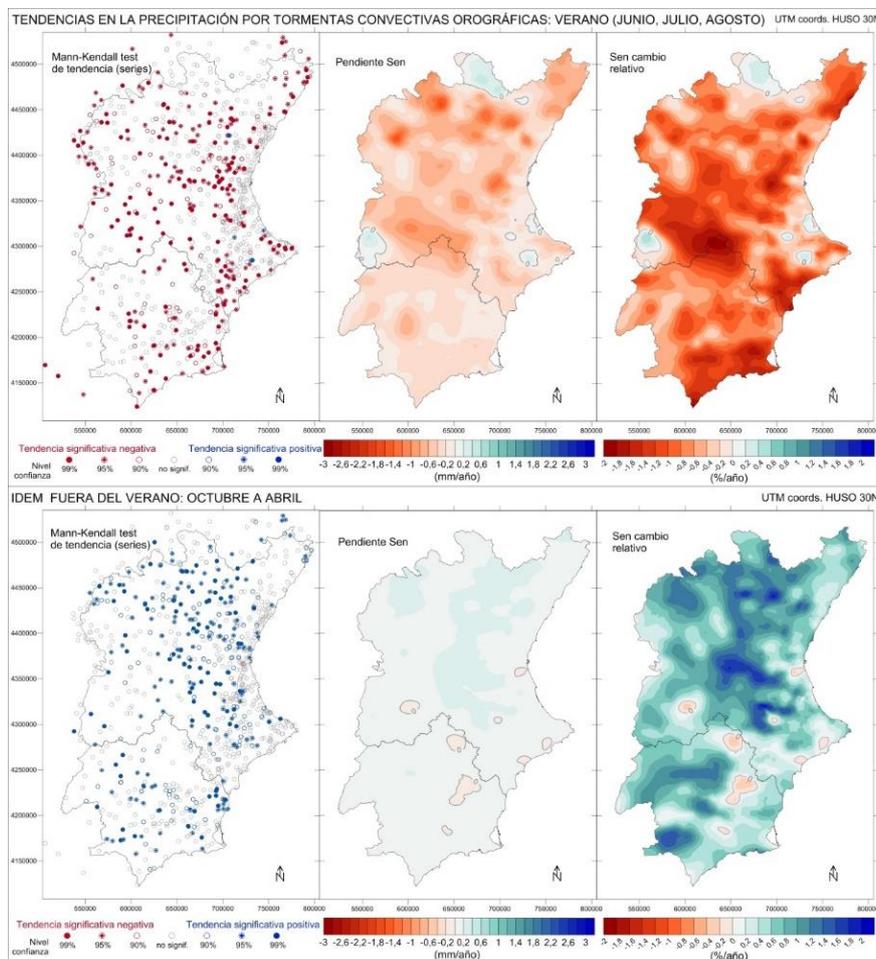


Fig. 6: Tendencias significativas (izquierda), pendientes anuales en mm/año (centro) y pendientes relativas en porcentaje de cambio/año (derecha) para los meses de verano (J, J, A - arriba) y para los meses fuera del verano (abajo) de la precipitación total registrada en días clasificados con el tipo sinóptico de 'situaciones convectivas'. Periodo 1955-2016.

Puesto que este tipo de precipitaciones tormentosas, de tipo convectivo y puntual, tienen una presencia muy escasa durante el invierno, la cuestión clave es determinar si esta migración de tormentas desde el verano se está produciendo en mayor medida hacia la primavera, o bien hacia el otoño. Al respecto, las Fig. 7 muestra las tendencias para la primavera (Marzo a Mayo) en contraste con las de otoño (Septiembre a Noviembre).

A tenor de los resultados en la Fig. 7, es el otoño el que presenta un mayor número de tendencias significativas al aumento de este tipo de precipitaciones. La primavera (Fig. 7 – arriba) muestra en general un predominio de tendencias no significativas, y algunas mixtas, si bien hacia el Norte, en el sector ibérico oriental entre Gúdar y el litoral de Castellón, aparece un sector con predominio de tendencias positivas. Por el contrario, en otoño las tendencias positivas predominan en toda la mitad Sur de la CHJ y en la CHS, mientras que tienden a ser neutras en el sector antes señalado entre Gúdar y Castellón.

Por lo tanto la migración intra-anual de tormentas desde el verano parece estar modulada por el Sistema Ibérico en primavera, y más bien por los mecanismos tardo estivales mediterráneos que afectan al litoral Sureste, en Otoño.

Por otro lado, detrás de este cambio intra-anual podría estar un aumento en el número total de días anuales con una configuración sinóptica clasificada como ‘situación convectiva’ (en el conjunto del área de estudio), puesto que ahora este tipo de configuración tiende a ser más frecuente fuera de los meses de verano. Esto se corrobora en la Fig. 8 (izquierda), con una tendencia estadísticamente significativa al ascenso en su frecuencia anual. Sin embargo, aunque la frecuencia anual de días clasificados con tipo convectivo ha aumentado, en detrimento de los tipos advectivos, el número anual de eventos convectivos que alcanzan a registrar lluvia efectiva (> 10 mm) registra una tendencia negativa significativa (Fig. 8 – derecha). Con lo que, en realidad, estos días se están volviendo más secos y con menos tormentas (afectando especialmente al verano), aunque la lluvia anual causada por ‘convectivas’ se compense en parte por la mayor frecuencia anual de este tipo de configuración sinóptica.

Estos son claros indicadores de una tendencia a un mayor carácter subtropical del clima a lo largo del año, más aún si consideramos la tendencia hacia una mayor irregularidad pluviométrica y aumento en la duración de las rachas secas que se muestra en Miró *et al.* (2018).

4. CONCLUSIONES

La creación de la CDRD-HR-EIP-1955-2016 *database* ha permitido analizar con mejor detalle espacial las tendencias de la precipitación en la CHJ y CHS desde mediados del siglo XX, con resultados que indican un aumento en las condiciones de aridez (Miró *et al.*, 2018). Este aumento de la aridez se ha hecho más patente en verano.

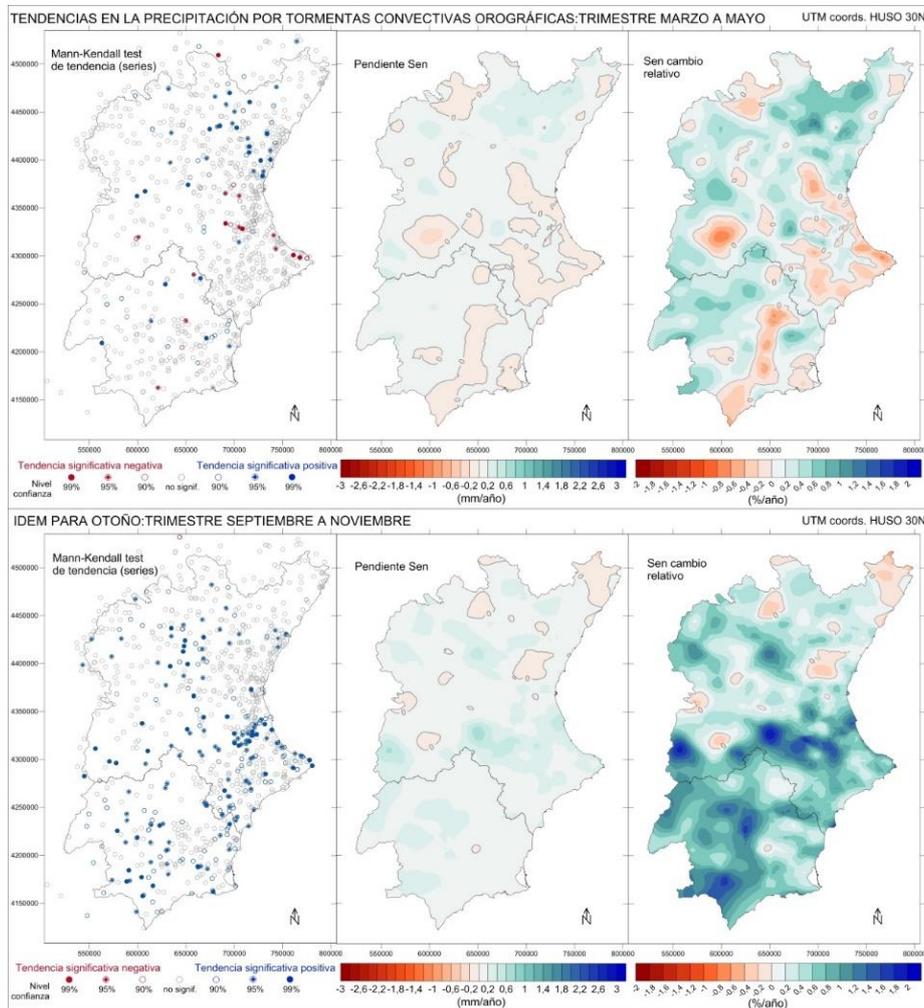


Fig. 7: Tendencias significativas (izquierda), pendientes anuales en mm/año (centro) y pendientes relativas en porcentaje de cambio/año (derecha) para los meses de primavera (M, A, M - arriba) y para los meses del otoño (S, O, N - abajo) de la precipitación total registrada en días clasificados con el tipo sinóptico de 'situaciones convectivas'. Periodo 1955-2016.

El presente estudio se ha centrado específicamente en el tipo de precipitaciones en la región vinculada a episodios tormentosos convectivos propios del verano. Estas precipitaciones han disminuido efectivamente en los meses estivales, conduciendo a una expansión de la aridez estival hacia aquellos sectores donde estas precipitaciones tenían relativa importancia (Sistema Ibérico y cabeceras). Pero asimismo, el periodo anual que presenta el tipo de configuración sinóptica asociada a este tipo de precipitaciones se ha expandido más allá del verano, con lo que estas precipitaciones de carácter puntual, irregular y estival han aumentado en otoño (CHS y Sur de la CHJ) y más puntualmente en primavera (sector ibérico oriental). Sin embargo, un aumento del número total anual de

días bajo la configuración sinóptica clasificada como ‘situaciones convectivas’ se contrasta con un descenso del número total anual de eventos registrando precipitación eficaz, por lo que también la probabilidad de lluvia significativa dentro de los días clasificados bajo este tipo sinóptico ha tendido a disminuir. En resumen, todo ello indica una expansión de las condiciones sinópticas estivales y su comportamiento pluviométrico hacia las estaciones equinocciales, mientras que el verano se vuelve aún más seco y las condiciones generales de aridez e irregularidad pluviométrica han aumentado.

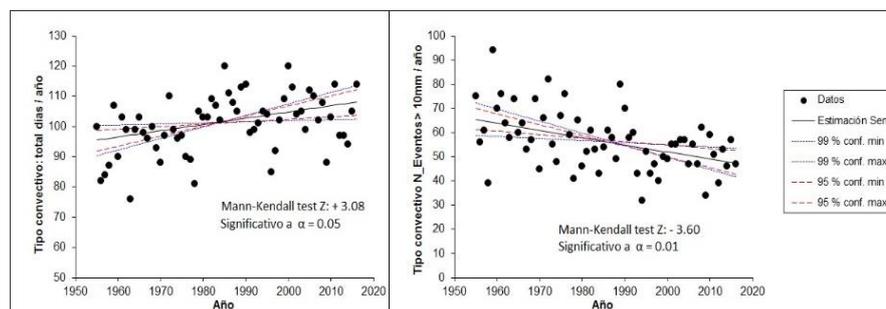


Fig. 8: Tendencia (1955-2016) en la frecuencia anual en el conjunto de la región de días clasificados como ‘situación convectiva’ (izquierda) y el número de eventos > 10 mm (en cualquier estación/día dentro de las áreas CHJ o CHS) clasificados como ‘situación convectiva’ (derecha).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido financiado por la Generalitat Valenciana a través del proyecto PROMETEOII / 2014/086, y por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del proyecto CGL2015-64268-R (MINECO / FEDER, UE). También agradecemos las contribuciones anteriores del Dr. Millán Millán (ahora jubilado) sobre los aspectos sinópticos sin las que el presente trabajo no hubiera sido posible.

REFERENCIAS

- Blade, I., Castro, Y. y 29 autores contribuyentes. (2010). “Tendencias atmosféricas en la Península Ibérica durante el periodo instrumental en el contexto de la variabilidad natural.” En: Perez, F., y Boscoso, R. (eds.), *Clima en España: pasado, presente y futuro*. Red Temática CLIVAR-ESPAÑA 25-42 pp
- De Luis, M., González-Hidalgo, J.C., Longares, L.A. y Štěpánek, P. (2009). Seasonal Precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20th century. *Int. J. Climatol.*, 29: 1312-1323. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1778>

- De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Longares, L.A. y Martín-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Global and Planetary Change*, 74(1): 27-33. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.06.006>
- De Luis, M., González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., y Longares, L. A. (2011). Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 1259-1265. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-11-1259-2011>
- Del Río, S., Herrero, L., Fraile, R. y Penas, A. (2011). Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961–2006). *Int. J. Climatol.*, 31: 656–667. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2111>
- Domonkos, P. (2015). Homogenization of precipitation time series with ACMANT. *Theor. Appl. Climatol.*, 122: 303-314. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-014-1298-5>
- Frauenfeld, O.W. y Davis, R.E. (2003). Northern Hemisphere circumpolar vortex trends and climate change implications. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D14): 4423. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002958>
- González-Hidalgo, J.C., De Luis, M., Raventós, J. y Sánchez, J.R. (2003). Daily rainfall trend in the Valencia region of Spain. *Theor. Appl. Climatol.*, 75: 117–130. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-002-0718-01>
- González-Hidalgo, J.C., López-Bustins, J.A., Štěpánek, P., Martín-Vide, J. y De Luis, M.. (2009). Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *Int. J. Climatol.*, 29: 1415-1429. doi: <https://doi.org/10.1002/joc.1780>
- Held, I.M. y Soden, B.J. (2006). Robust responses of the hydrological cycle to global warming, *J. Climate*, 19: 5686–5699. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3990.1>
- López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M, Gimeno, L. y Nieto, R. (2009). Stability of the seasonal distribution of precipitation in the Mediterranean region: Observations since 1950 and projections for the 21st century. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L10703. doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL037956>
- Millán, M., Estrela, M.J. y Miró, J.J. (2005). Rainfall components: variability and spatial distribution in a Mediterranean area (Valencia Region). *J. Climate*, 18 (14): 2682-2705. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3426.1>
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Pastor, F. y Millán, M. (2009). Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos inputs, entre los dominios hidrológicos del Segura y del Júcar (1958-2008). *Investigaciones Geográficas*, 49: 129-157. doi: <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2009.4>

- Miró, J.J., Caselles, V. y Estrela, M.J. (2017). Multiple imputation of rainfall missing data in the Iberian Mediterranean context. *Atmos. Res.*, 197: 313-330. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.07.016>
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Caselles, V. y Gómez, I. (2018). Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955-2016): Fine-scale trends. *Int. J. Climatol.*, 2018: 1-24. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5689>
- Sánchez, E., Domínguez, M., Romera, R., López-Franca, N., Gaertner, M.A., Gallardo, C. y Castro, M. (2011). Regional modeling of dry spells over the Iberian Peninsula for present climate and climate change conditions. *Clim. Change*, 107(3): 625-634. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0114-9>
- Serra, C., Burgueño, A., Martínez, M.D. y Lana, X. (2006). Trends in dry spells across Catalonia (NE Spain) during the second half of the 20th century. *Theor. Appl. Climatol.*, 85: 165. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-005-0184-6>
- Trenberth, K.E., *et al.* (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.