

FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN ASOCIADA A GRANDES BORRASCAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Peio ORIA IRIARTE

Delegación Territorial de AEMET en Navarra, C/Iturralde y Suit 13-15, 2º Dcha,

poriai@aemet.es

RESUMEN

Tomando como base los datos de precipitación diaria en un gran número de estaciones pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología, ubicadas en distintas regiones de la Península Ibérica (Mediterráneo, Cantábrico y cuencas del Ebro, Duero, Guadiana, Guadalquivir y Tajo), y que presentan un registro suficientemente completo y homogéneo durante los últimos 50 años, se muestran algunos resultados relativos a la distribución de las precipitaciones extremas a escala diaria en cada una de las regiones. Se emplea un enfoque estadístico para el análisis de los datos basado en la aplicación de varios tests de homogeneidad y un criterio de completitud que posibilitan el cálculo de funciones de densidad de probabilidad (PDF) sobre una variable construida con la suma de las precipitaciones en el conjunto de las estaciones seleccionadas. La conclusión principal es que, en los últimos años, los episodios más extremos (en torno al percentil 99), asociados a grandes borrascas de origen mediterráneo o atlántico están aumentando su probabilidad de ocurrencia y la precipitación acumulada en conjunto.

Palabras clave: Precipitación, tendencia, frecuencia, densidad de probabilidad.

ABSTRACT

Precipitation data for the last 50 years in a large number of stations of the State Meteorological Agency, located in different regions of the Iberian Peninsula (Mediterranean, Cantabrian and the Ebro, Duero, Guadiana, Guadalquivir and Tajo basins) are taken in order to analyze the distribution of extreme precipitation on a daily scale in each of the regions. A statistical approach is used for the analysis of the data based on the application of several homogeneity tests and a completeness criterion that allow the calculation of probability density functions (PDF) on a variable constructed with the sum of the precipitations in the set of selected stations. In recent years, the most extreme episodes (around the 99th percentil), associated with large storms of Mediterranean or Atlantic origin, are increasing their probability of occurrence and the accumulated precipitation.

Key words: Precipitation, trend, frequency, probability density.

1. INTRODUCCIÓN

Mientras existe un razonable grado de consenso en la atribución de temperaturas diarias extremas al cambio climático de origen antropogénico, en general hay mucha

más disparidad en relación a otro tipo de eventos extremos, incluyendo aquellos relacionados con la precipitación. Uno de los argumentos teóricos que suelen esgrimirse para apoyar el aumento de la precipitación extrema está basado en la conocida relación termodinámica de Clausius-Clapeyron y establece que el contenido de vapor de agua que puede albergar una determinada parcela atmosférica aumenta con la temperatura (manteniéndose la humedad relativa constante). De hecho, este incremento se ha constatado en observaciones a nivel global, rondando un 6-7% por grado de calentamiento en la atmósfera (Trenberth et al, 2003), lo que podría conllevar un gran impacto en los sistemas de precipitaciones. Evidentemente, la distribución de este aumento está sujeta a la variabilidad espacial del contenido específico de agua en la atmósfera y es también claramente dependiente de la escala del sistema considerado. Es habitual que los eventos convectivos de limitada extensión espacial y duración de una o pocas horas no estén suficientemente bien representados en los modelos climáticos ni puedan ser capturados por las redes de observación en superficie. Pero es precisamente en esta escala, de acuerdo a determinados experimentos de modelización numérica (Lenderink et al, 2021), en la que se espera que los eventos extremos se hagan todavía más extremos, debido al carácter fuertemente no lineal al rebasar ciertos umbrales predefinidos. De hecho, las relaciones basadas en la observación a veces se desvían sustancialmente de la tasa de Clausius-Clapeyron, en particular para los extremos de precipitación en el rango horario o subhorario (Loriaux et al, 2013). Por otro lado, existe respaldo teórico de que los extremos meteorológicos de cualquier naturaleza aumenten más que los promedios con un cambio climático, sea este tendiente a un calentamiento o enfriamiento, especialmente en las escalas de corta duración (Rahmstorf y Coumou, 2011).

En la región mediterránea, a diferencia de otras del centro y norte de Europa, hay bastante controversia acerca de si la precipitación extrema está aumentando o no, o, en su caso, si va a hacerlo en el futuro. Algunos estudios apuntan a que la distribución de las precipitaciones diarias observadas por encima del percentil 95 (días muy húmedos) en el Mediterráneo occidental podría mostrar tendencias decrecientes en las últimas décadas, tanto en frecuencia como en intensidad (Cohen et al, 2014). En otras referencias (Serrano-Notivoli et al, 2017, Serrano-Notivoli et al, 2018) se han analizado distintos índices definidos por el Equipo Mixto de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) de la OMM (CCI/CLIVAR/JCOMM: 4.º Informe del grupo de expertos, 2011). Estos indicadores se usan para la monitorización y el análisis de tendencias de cambio climático (Donat et al, 2013). En cualquier caso, en las anteriores y otras referencias consultadas los resultados varían de forma importante según la región considerada, la base de datos y el método o técnica empleada (Merino et al, 2016). Por otro lado, en general, no se han explorado las tendencias de percentiles de precipitación en torno al 99 (lo que se denominan eventos de precipitación extrema en el contexto del presente trabajo) y además la mayoría de estudios no cubre los episodios extremos de los últimos años. Otra de las limitaciones proviene de que, en el caso de series de datos en rejilla, puede que el número de estaciones relativas a cada punto de rejilla varíe con el tiempo y que el promedio de

extremos en un punto de rejilla pueda reducir o suavizar señales de cambio (Myhre et al, 2019).

En el presente análisis se evita llevar a cabo análisis de tendencias particularizados para estaciones individuales ya que precisamente los extremos pueden estar muy condicionados por la aleatoriedad de fenómenos convectivos puntuales. Agrupando datos por estaciones conseguimos resultados relativos a sistemas de mayor escala espacial, analizando la precipitación en conjunto y explorando el comportamiento de la suma de las precipitaciones en el extremo de la distribución. Lógicamente de esta manera nos alejamos de las escalas más pequeñas y de resultados individuales, para los que en numerosos estudios la precipitación extrema no aumenta. Por otro lado, se emplean datos a escala diaria por lo que no se explora el comportamiento de las precipitaciones extremas en las escalas temporales más pequeñas. Sin embargo, a nivel nacional hemos comprobado en los últimos años como borrascas de origen mediterráneo y atlántico han causado un enorme impacto en la sociedad por las grandes cantidades de precipitación diaria que han ocasionado. Probablemente el temporal Gloria, acaecido en enero de 2020 (Casanova y Castro, 2020), es uno de los exponentes más notables, aunque borrascas como Elsa (diciembre de 2019), Bárbara (octubre de 2020), Ana (diciembre de 2017) o algunas Danas con especial afección en el área mediterránea también han tenido graves consecuencias, tanto en términos de pérdidas de vidas humanas como de daños materiales. En particular, la precipitación acumulada por el temporal Gloria durante los días 19, 20 y 21 de enero de 2020 marcó un récord para el conjunto del Mediterráneo español en los últimos 50 años si se tiene en cuenta la acumulación en un periodo de 72 horas (3 días consecutivos). Al igual que en el Mediterráneo, en la presente contribución se analiza cómo han aumentado la frecuencia y la intensificación de las situaciones que provocan lluvias muy fuertes o torrenciales y de extensión significativa sobre el conjunto de las grandes cuencas o vertientes peninsulares.

2. MÉTODOS

En el presente trabajo se explora el comportamiento estadístico de las precipitaciones diarias más extremas (en torno al percentil 99) registradas en la Península Ibérica. Para ello se parte de construir una variable correspondiente a la suma de la precipitación diaria sobre un conjunto de estaciones. Para la obtención de los datos y la posterior construcción de las series climatológicas, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) cuenta con distintas redes de observación en superficie: estaciones meteorológicas automáticas, observatorios sinópticos o la red climatológica secundaria (atendida por colaboradores). En este estudio se han seleccionado inicialmente estaciones pertenecientes a las redes principal y secundaria de AEMET ubicadas en la Península Ibérica. Los registros validados de precipitación diaria se han descargado del Banco Nacional de Datos Climatológicos de AEMET seleccionando las estaciones correspondientes a las distintas vertientes o cuencas: Mediterráneo (incluyendo las cuencas del Júcar y Segura, y excluyendo las estaciones de la cuenca del Ebro), Cantábrico y resto de la Península (cuencas del Ebro, Duero, Guadiana, Guadalquivir y Tajo). El criterio empleado para la elección de estaciones es que su fecha de inicio en la toma de datos sea anterior o igual a 1965, sigan

funcionando en agosto de 2021 y posean más de 600 meses con datos. Las series de precipitación diaria para cada una de las estaciones se han sometido a un control de calidad. En primer lugar, se han considerado únicamente series con dato de precipitación en un 88 % de los días del periodo completo (20697 días). En segundo lugar, la homogeneidad de las estaciones a escala diaria se ha comprobado mediante la aplicación sucesiva de tres test estadísticos siguiendo recomendaciones del Proyecto ECAD (European Climate Assessment & Dataset, <https://www.ecad.eu/>): el test SNH (Alexandersson, 1986), el test de Buishand (Buishand, 1982) y el test de Pettitt (Pettitt, 1979). Las estaciones que se consideran homogéneas son aquellas que rechazan la hipótesis nula en el intervalo de confianza del 95 % en dos de los tres test aplicados. Después del control de calidad, un total de 550 estaciones cumplen los requisitos anteriores. La localización geográfica de las estaciones se muestra en la figura 1 (rojo: cantábrico, azul: mediterráneo, amarillo: resto Península). La distribución es aproximadamente homogénea a nivel peninsular.

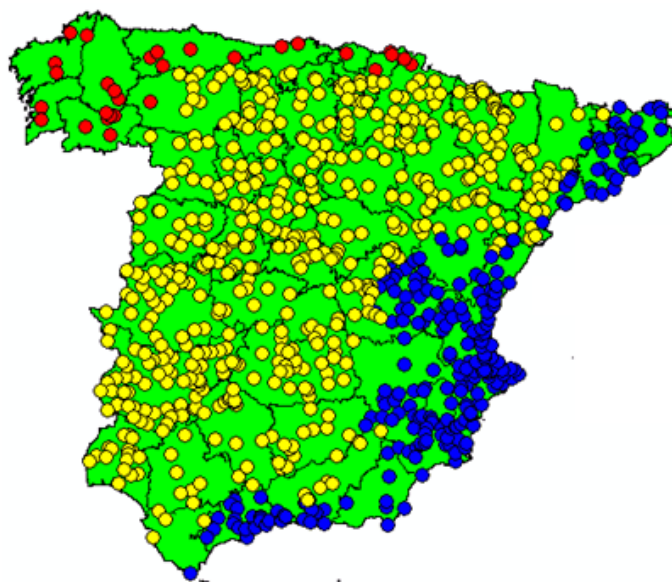


Fig. 1: Estaciones utilizadas para el análisis de la precipitación diaria.

Debido a la marcada variabilidad de las precipitaciones, especialmente en la época cálida del año, se evita llevar a cabo análisis de tendencias particularizados para estaciones individuales ya que los extremos pueden estar condicionados por la aleatoriedad de fenómenos convectivos puntuales y aislados o que se produzcan en escalas muy pequeñas. Como ejemplo, una gran parte de las estaciones presentan el percentil 95 de precipitación diaria en torno a 25-30 mm. Esa es la cantidad que puede asociarse a una tormenta puntual (fuerte), de tal modo que la estadística puede verse afectada por este hecho y producirse marcadas diferencias en zonas cercanas. Por ello el presente análisis analiza la precipitación en conjunto y explora el comportamiento de la suma de las precipitaciones en el extremo de la distribución, en torno al percentil 99.

3. RESULTADOS

El hecho de contar con un periodo suficientemente largo de datos y un número elevado de estaciones repartidas de forma aproximadamente homogénea junto al filtrado que resulta del control de calidad de los datos proporciona, a priori, una base fiable para un análisis preliminar de episodios extremos a escala diaria. La variabilidad en la medida de la precipitación relacionada con irregularidades topográficas o variaciones microclimáticas, y que tiene que ver con la ubicación concreta de cada estación, debe quedar camuflada por una densidad de estaciones que caracterizan suficientemente bien los sistemas de precipitación de gran escala espacial (~ 1000 km) y temporal (uno o varios días) y que son precisamente el objeto de este estudio.

En esencia, en los siguientes apartados se van a mostrar resultados sobre la evolución y la distribución de eventos de precipitación extrema para cada uno de los ámbitos geográficos. Para ello se especificará el número de estaciones empleadas y se representarán figuras en forma de tendencias, histogramas o funciones de densidad de probabilidad (PDF).

3.1. Mediterráneo

En las cuencas peninsulares que vierten al Mediterráneo se tienen un total de 116 estaciones para el análisis. Se excluyen las pertenecientes al valle del Ebro. En los siguientes histogramas (figura 2) se muestran los eventos por encima del percentil 99 con frecuencias acumuladas en 2 y 56 grupos (izqda. y dcha., respectivamente).

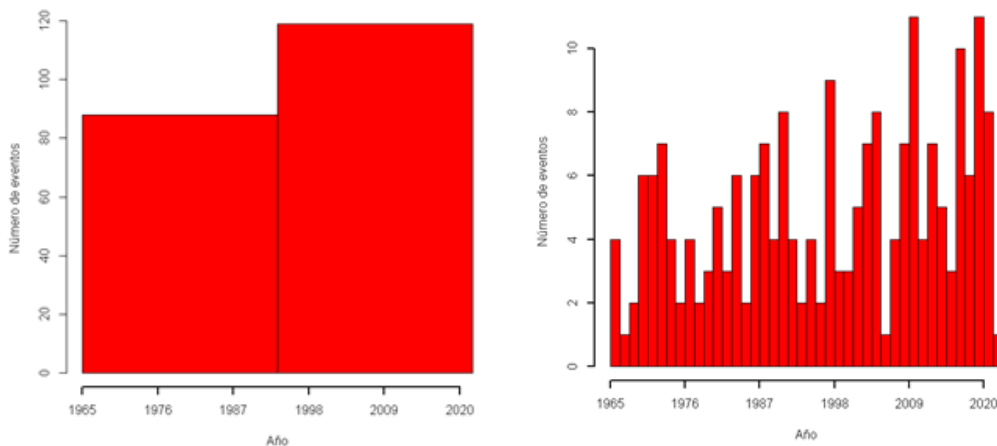


Fig. 2: Histogramas de eventos por encima del percentil 99 para el sector mediterráneo

En el primer caso se observa la diferencia entre la frecuencia de eventos en la primera y segunda mitad del periodo total y en el segundo aproximadamente la evolución anual. Se encuentra una gran cantidad de episodios en la segunda parte del periodo (1993-2021), muy especialmente durante la última década, donde aparecen eventos como Gloria u otros protagonizados por profundas Danas. En el gráfico de la figura 3 se representa la cantidad de precipitación acumulada en las estaciones para los eventos que superan el percentil 99 (dividida por el número de estaciones que presentan dato

para el día en cuestión) junto a una recta de regresión lineal ajustada a los datos. La pendiente de la recta se mueve de 19.8 a 21 mm aunque la tendencia no resulta estadísticamente significativa. No solo ha aumentado por tanto la frecuencia de los eventos más extremos sino también la intensidad ya que la cantidad total de precipitación acumulada en los episodios que superan el percentil 99 crece en el periodo analizado.

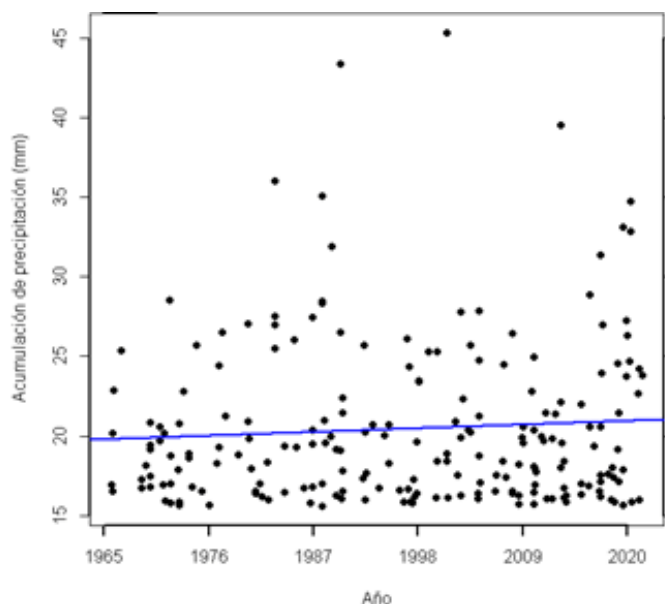


Fig. 3: Acumulación de precipitación en eventos por encima del percentil 99 para el sector mediterráneo. Se muestra en azul una recta de regresión lineal ajustada a los datos.

Los resultados anteriores pueden presentarse conjuntamente si se introduce la función de densidad de probabilidad (PDF). En la parte izquierda de la figura 4 se muestra una PDF teórica. Si se supone que se tienen dos PDF para distintos periodos, uno de referencia y otro para el que se quieren observar los cambios (los dos periodos deben tener la misma duración), para una cierta cantidad de precipitación el desplazamiento entre las dos funciones se puede descomponer entre un aumento de la intensidad (línea azul horizontal) y un incremento en la frecuencia (línea verde vertical). El aumento de la precipitación total por encima de un cierto umbral se observa en el área sombreada en amarillo que combina ambos incrementos. En la parte derecha de la figura se representan las PDF de la suma de las precipitaciones en las estaciones para dos intervalos temporales que comprenden la primera (rojo) y segunda mitad (verde) del periodo. Se han tomado logaritmos de la probabilidad y la precipitación con objeto de que la visualización sea más clara y únicamente se muestra el extremo de las PDF. Las líneas verticales marcan los percentiles 99 en cada uno de los dos periodos. En el recuadro superior derecha se tiene el porcentaje de estaciones sin dato para los 20697 días del periodo total. El aumento del área bajo la curva verde (segundo periodo) para precipitaciones superiores al percentil 99 es notable y puede interpretarse como el incremento de la probabilidad de ocurrencia y de la precipitación acumulada en

eventos extremos sobre el conjunto del Mediterráneo peninsular respecto al primer periodo.

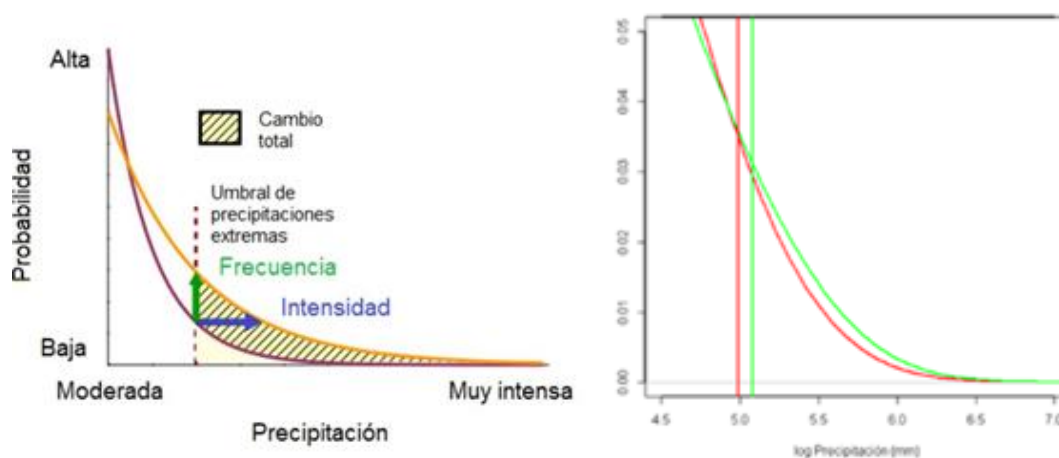


Fig. 4: Izqda: ilustración esquemática de la función de densidad de probabilidad (PDF) de la precipitación diaria acumulada (adaptada de Myhre et al, 2019). Dcha: PDF para la suma de las precipitaciones registradas en las estaciones del Mediterráneo; se muestran los percentiles 99 para los dos periodos, inicial (en rojo) y final (en verde).

Como se puede observar en la figura 3, de los diez episodios más extremos a escala diaria en el Mediterráneo peninsular, cuatro pertenecen a la década de los 80 del pasado siglo y cinco a la pasada década (incluyendo 2020). Se remarca además el gran protagonismo del temporal Gloria (dos de los diez días más extremos). Tanto el episodio de abril de 2019, especialmente severo en la provincia de Alicante y región de Murcia, como Gloria destacan además por producirse fuera del periodo otoñal, más característico de la torrencialidad de las precipitaciones asociada al clima mediterráneo. Esto podría ser una observación importante dado que en el recientemente publicado informe del IPCC aparte de considerar un evento extremo como un patrón especialmente intenso o persistente, también se relaciona con la rareza a la hora de producirse en un determinado lugar y época del año.

3.2. Cantábrico

Para la cornisa cantábrica únicamente se cuenta con 29 estaciones que se extienden desde Galicia hasta el norte de Navarra. Los resultados encontrados también apuntan a un claro incremento de los episodios por encima del percentil 99 durante los últimos años. La pendiente de la recta ajustada a los datos de la cantidad de precipitación acumulada en las estaciones para los eventos que superan el percentil 99 aumenta de 27.7 a 29.1 mm, similar en valor absoluto al hallado para el Mediterráneo. De los diez episodios más extremos, seis pertenecen a la pasada década, entre ellos el de mayor acumulación total, la borrasca Ana, acontecida en diciembre de 2017. La mayoría de los eventos tienen lugar en los meses invernales y han ocasionado problemas de inundaciones debido a la persistencia y generalización de la precipitación. Si atendemos a la acumulación en un periodo de 3 días consecutivos el episodio de

mediados de enero de 2013 es el de mayor precipitación desde los años 60. Destacan asimismo algunos episodios de finales de los 70 y principios de los 80.

3.3. Otras cuencas

Se repiten los análisis anteriores para el conjunto del resto de cuencas peninsulares. Para ello se toman 405 estaciones, de las cuales 182 pertenecen a las Cuencas del Tajo, Guadiana y Guadalquivir, 122 están en la Cuenca del Duero y 101 en la del Ebro. Nuevamente la información extraída de los histogramas conduce a un incremento de los episodios por encima del percentil 99 durante los últimos años, si bien esta vez la tendencia y la diferencia entre la primera y la segunda mitad del periodo es menor. Se destaca el gran número de días por encima del percentil 99 correspondientes al año 1969 y comienzos de 1970. La tendencia en la acumulación de precipitación normalizada por el número de estaciones entre enero de 1965 y agosto de 2021 es de aproximadamente 1 mm para el conjunto de las 405 estaciones. De los diez episodios más extremos destacan nuevamente los de los últimos años, así como los de noviembre de los años 1982 y 1997.

4. DISCUSIÓN

Los eventos que superan el percentil 99 de precipitación acumulada sobre el conjunto de estaciones aumentan su probabilidad de ocurrencia en la segunda mitad del periodo analizado (aproximadamente desde otoño de 1993 hasta agosto de 2021) en todas las regiones analizadas, si bien se trata de aumentos no estadísticamente significativos. Lo anterior se observa especialmente en el Mediterráneo y Cantábrico, y es más leve para las otras cuencas. Esta tendencia es más marcada en el percentil 99.5 si bien el número de eventos es considerablemente menor. Aunque no se muestra, en general no se observan tendencias para percentiles inferiores al 99 ni en la frecuencia ni en la acumulación. En todas las cuencas los eventos de los últimos 10 años marcan la diferencia en las estadísticas de ocurrencias por encima de los percentiles más altos. Tanto en el Mediterráneo como en el Cantábrico, 6 de los 10 episodios más extremos se encuentran en el siglo XXI, y 5 de ellos en el periodo 2012-2020. En el resto de cuencas son 5 los episodios más extremos que pertenecen al presente siglo y 4 a los últimos 7 años. Esto es destacable, ya que son 35 años del periodo los que corresponden al siglo XX y casi 22 al siglo XXI. Algunas de las mayores borrascas asociadas a una elevada cantidad de precipitación acumulada en el conjunto de estaciones tienen lugar en los últimos 4 años (2017-2021). En el Cantábrico destaca sobre todo Ana, en diciembre de 2017, la de mayor acumulación total. En la mitad occidental especialmente Bárbara, en octubre de 2020 y Elsa, en diciembre de 2019. En el caso del Mediterráneo, Gloria es la mayor borrasca si se tiene en cuenta la acumulación en un periodo de 3 días consecutivos. Por otro lado en el Cantábrico es el tren de borrascas de mediados de enero de 2013 el episodio más lluvioso si nuevamente se contabiliza la acumulación en 3 días seguidos. Además, de los últimos años destacan otros temporales como Emma (febrero de 2018) en cuencas como la del Tajo y Guadiana, la DANA de septiembre de 2019 en el Mediterráneo o la situación de mediados de diciembre de 2019 en el Cantábrico. Es importante resaltar que los eventos más extremos no se repiten para las distintas cuencas, es decir las tendencias en cada ámbito geográfico no se ven influenciadas por los mismos episodios sino que

son independientes entre sí. Esto es acorde con las climatologías esperadas en ya que en buena medida tradicionalmente son los temporales atlánticos de componente noroeste los de mayor impacto en la costa cantábrica, las Danas que penetran por el Mediterráneo en buena parte de la zona mediterránea y las borrascas procedentes del suroeste en el resto de la Península. Por otro lado, la época del año donde suceden la mayoría de los grandes sistemas de precipitación es variable para las distintas cuencas: comienzo del otoño para el Mediterráneo, finales de otoño y principios de invierno para el Duero, Ebro, Tajo, Guadiana y Guadalquivir, e invierno para el Cantábrico. Para el caso del Mediterráneo destacan los episodios extremos de abril de 2019 y enero de 2020, fuera de su ocurrencia habitual en los meses otoñales.

Parece por tanto que en los últimos años estamos asistiendo a una mayor frecuencia e intensificación de grandes borrascas de precipitación, tanto de origen mediterráneo como atlántico. Debido a las enormes repercusiones sociales y en otros ámbitos del impacto de este tipo de sistemas (riesgo de pérdidas humanas, afección a infraestructuras y bienes materiales, daños en la agricultura y otras formas de producción, pérdidas y desequilibrios ecosistémicos, desbordamientos de cauces hídricos, deslizamientos de ladera, etc.) es muy recomendable estudiar estas tendencias, y plantear algunas cuestiones acerca de:

1) por qué se están produciendo en los últimos años un elevado número de borrascas de alto impacto y gran acumulación de precipitación en todos los ámbitos geográficos.

2) su relación con otros elementos inherentes a la variabilidad climática a nivel global como oscilaciones decadales, anomalías en la temperatura del agua de mar, etc. o la frecuencia de determinados patrones atmosféricos (bloqueos, ondas de Rossby, patrones de circulación de determinados números de onda, etc.) así como con el calentamiento global u otros aspectos relacionados como alteraciones del transporte de vapor de agua a través de ríos atmosféricos, mayor ocurrencia de DANAs y bloqueos de la CGA o un aumento de la evaporación de origen marítimo.

Sería además conveniente indagar como los escenarios de cambio climático proyectan en el futuro la precipitación de este tipo de sistemas haciendo uso de nuevas técnicas de regionalización o de las ya existentes.

REFERENCIAS

- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate*. 6: 661.
- Buishand, T. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*. 58: 11.
- Casanova, C. y Castro, P. (2020). El comportamiento climático del comienzo del año 2020 y los impactos de la Borrasca Gloria en la Península Ibérica y Baleares. Conferencia: 10.^a Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica.

- CCI/CLIVAR/JCOMM: Informe de la cuarta sesión del Equipo Mixto de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI), (2011). Pacific Climate Impacts Consortium, University of Victoria, Victoria, Canada, 23-25.
- Cohen, J., Screen, J., Furtado, J. y otros (2014). Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature Geosciences* 7, 627-637.
- Donat, M. G., Alexander, L. V. y Yang, H. (2013). Global Land-Based Datasets for Monitoring Climatic Extremes. *BAMS*.
- Lenderink, G., de Vries, H., Fowler, H. J., Barbero, R., van Uft, B. y van Meijgaard, E. (2021). Scaling and responses of extreme hourly precipitation in three climate experiments with a convection-permitting model. *Phil. Trans. R. Soc. A*. <http://doi.org/10.1098/rsta.2019.0544>
- Loriaux JM, Lenderink G, De Roode SR y Siebesma AP. (2013). Understanding convective extreme precipitation scaling using observations and an entraining plume model. *J. Atmos. Sci.* 70, 3641–3655. (doi:10.1175/JAS-D-12-0317.1)
- Merino, A., Fernández-Vaquero, M., López, L., Fernández-González, S., Hermida, L., Sánchez, J. L. y García-Ortega, E. (2016). Large-scale patterns of daily precipitation extremes on the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*. 36: 3873-3891.
- Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C. W. y otros (2019). Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific Reports*, 9, 16063.
- Pettitt, A. (1979). A non-parametric approach to the change point problem. *Journal of Applied Statistics*. 28: 126.
- Rahmstorf, S. y Coumou, D. (2011): Increase of extreme events in a warming world. - *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 108, 44, 17905-17909. <https://doi.org/10.1073/pnas.1101766108>
- Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M. A., Longares, L. A., y De Luis, M. (2017). SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain – an extreme events frequency and intensity overview. *Earth System Science Data*, 9, 721-738.
- Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M. A. y De Luis, M. (2018). Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology*, 38: 4211-4224.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Rasmussen, R. M. y Parsons, D. B. (2003). The changing character of precipitation. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 84, 1205–1217.