Nº 73, enero-junio de 2020, pp. 11-29.
ISSN: 0213-4691. eISSN: 1989-9890.
DOI: 10.14198/INGEO2020.CBRVSR

Investigaciones Geográficas
Instituto Interuniversitario de Geografía
Universidad de Alicante

Cita bibliográfica: Camarasa-Belmonte, A.M., Rubio Vila, M., & Salas Rey, J. (2020). Evolución de episodios pluviométricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (1989-2016): del recurso al riesgo. *Investigaciones Geográficas*, (73), 11-29. https://doi.org/10.14198/INGEO2020.CBRVSR

Evolución de episodios pluviométricos en la Demarcación Hidrográfica del Júcar (1989-2016): del recurso al riesgo

Rainfall event trends in the Júcar River Water Authority area (1989-2016): from resource to the risk

Ana M. Camarasa-Belmonte[1*]
María Rubio Vila[2]
Javier Salas Rey[3]

Resumen

Este trabajo aborda la clasificación y evolución diacrónica de los episodios de lluvia (1989-2016) en ambientes mediterráneos, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. En base a datos del SAIH, y siguiendo criterios hidrológicos, se seleccionan 698 episodios, que se caracterizan con indicadores de precipitación acumulada, intensidad y persistencia. Mediante un análisis cluster se identifican tres tipologías (episodios de recurso limitado, de gran recurso a largo plazo y de riesgo) y se analiza su evolución temporal, estableciendo diferencias entre los episodios de interior y de litoral. Los resultados muestran una tendencia hacia el incremento del riesgo en detrimento del recurso en los tres tipos, por descenso de los totales acumulados y aumento de las intensidades. Si bien la frecuencia anual de los eventos crece, la aportación de los de riesgo sube y la de los de recurso baja. Este comportamiento es más acusado en el interior que en la costa. Se apunta, además, un desplazamiento mensual de los tipos de episodios. Los que acumulan grandes totales se están trasladando de octubre a noviembre, donde pueden coincidir con los de riesgo que, a su vez, incrementan su probabilidad de ocurrencia. Esta sinergia entre sucesos copiosos e intensos supone un factor de riesgo añadido.

Palabras clave: Demarcación Hidrográfica del Júcar; episodios lluvia; riesgo; recurso; cuenca mediterránea.

Abstract

This work approaches the study of rainfall events in Mediterranean environments. The area of study is that of the Júcar River Water Authority. More than 600 episodes have been selected (1989-2016) from the original five-minute rainfall information according to hydrological criteria. Episodes have been described by indicators of accumulated precipitation, intensity, and persistence. Through a cluster analysis, the episodes have been classified into three typologies (limited resources, long-term resources, and risky episodes). The temporal evolution of each event class has been analysed, establishing differences between the inland and coastal episodes. The results show a generalised trend towards increasing risk at the ex-

1 Departamento de Geografía. Universitat de València. Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia. Tel: + 34 96 386 42 37. ana.camarasa@uv.es.
* Autora para correspondencia.
2 Departamento de Geografía. Universitat de València. Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia. maruvi2@alumni.uv.es
3 Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá. C/ Colegios, 2, Alcalá de Henares. 28801 Madrid. Tel: +34 91 885 5259. javier.salas@uah.es

Recepción: 23/05/2019. **Aceptación:** 05/02/2020. **Publicación:** 23/06/2020 (***in press***: 25/02/2020).

Este trabajo se publica bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional.

pense of decreased resources – due to less accumulated rainfall and an increase in intensities. Despite an increasing annual frequency of events, the significance of risk events is more important than those of resource events. This behaviour is more pronounced in the inland areas than on the coast. Moreover, a monthly shift in the event type occurrence is observed: events that contribute a great deal of rainfall are moving from October to November, favouring the monthly coincidence of high precipitation episodes and intense episodes. This synergy between copious and intense events is an added risk factor.

Key words: Júcar River Water Authority; rainfall event; risk; resource; Mediterranean basin.

1. Introducción. Análisis pluviométricos en entornos mediterráneos: la trascendencia hidrológica de los episodios de lluvia frente al cambio climático

Los entornos mediterráneos y semiáridos constituyen espacios de transición morfoclimática, donde las precipitaciones son muy irregulares y presentan una gran variabilidad interanual e intranual (Armengot, 2002; Homar, Romero, Ramis y Alonso, 2002). Por ello, los valores medios mensuales o anuales no son representativos de los procesos hidrológicos (Llasat, 2001; Cudennec, Leduc y Koutsoyiannis, 2007; Bengtsson y Milloti, 2010; Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015). A lo largo del año, la precipitación se concentra en unos cuantos episodios que resultan de gran trascendencia, tanto en la evolución geomorfológica de la zona, como en la disponibilidad de recursos hídricos (Lavee, Imeson y Sarah, 1998; Martínez-Mena, Castillo y Albadalejo, 2001; Samuels, Rimmer y Alpert, 2009; Borga, Stoffel, Marchi, Marra y Jakob, 2014). En consecuencia, el análisis de lluvias debe de abordarse a partir de episodios individuales.

Desde el punto de vista morfogenético, la idea de episodio adquiere peso vinculada al concepto de *effectiveness*, definido por Wolman y Gerson (1978) como la capacidad de un evento para cambiar la forma del paisaje. Estos autores comparan cuencas de diferentes ambientes y concluyen que, en los medios semiáridos, los episodios individuales tienen una gran importancia para la configuración del modelado. Profundizando en esta idea, Brakenridge (1988) afirma que los sistemas mediterráneos están dominados por sucesos extraordinarios. Por su parte, Graf (1988) sostiene que los procesos controlan las formas en episodios de gran magnitud, mientras que las formas controlan los procesos en los de baja magnitud.

En lo referente a la generación de recursos hídricos, también los procesos a escala de cuenca dependen en gran medida de la ocurrencia de episodios concretos (Cammeraat, 2004; Conesa, 2005). En este sentido la conectividad hidrológica, entendida como la capacidad del agua de circular a través de los distintos elementos de la cuenca hasta generar caudal en la desembocadura, está condicionada por el contexto morfoclimático (Bracken y Croke, 2007; Bracken *et al.*, 2013). Así, mientras el flujo de base y la humedad antecedente son determinantes en entornos templado-húmedos, en los ambientes semiáridos los factores fundamentales son la duración e intensidad de la lluvia de cada episodio, sobre todo para los casos en que la duración de suceso sea superior al tiempo de concentración de la cuenca o cuando las intensidades sean muy altas (Yair y Kossovosky, 2002; Yair y Raz-Yassif, 2004; Bracken, Cox y Shannon, 2008). El factor intensidad adquiere, pues, relevancia, de manera que no sólo es importante cuánto llueve —en términos de recurso—, sino cómo llueve —en relación con el riesgo— (Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015).

Sin embargo, cuando hablamos de recursos, no sólo es importante la escorrentía superficial, sino que deben incluirse también los aportes subterráneos. De hecho, según la memoria del Plan Hidrológico, la Demarcación Hidrográfica del Júcar presenta una escorrentía media anual de 72 mm, de los cuales, el 83% es de origen subterráneo. En este sentido conviene remarcar que los episodios de lluvia son la fuente primaria del aprovisionamiento hídrico, tanto del agua superficial como subterránea. En la zona de estudio, diversos estudios empíricos sobre balances hídricos en rambla, arrojan umbrales medios de escorrentía en torno a los 62 mm, con coeficientes de escorrentía medios de 6'3% (Camarasa-Belmonte, 2016). Por tanto, la mayor parte del agua precipitada pasa a formar parte del agua almacenada en suelos, reservorios subsuperficiales y acuíferos subterráneos.

La faceta ambivalente entre recurso y riesgo de los episodios es una constante en los entornos mediterráneos. A lo largo de la Historia, las sociedades han ido adaptándose a la situación (Butzer, 2005) y se han mantenido resilientes a las fluctuaciones de magnitud e intensidad de los episodios. Sin embargo, el nuevo escenario que impone el cambio climático anuncia alteraciones preocupantes, tanto en la faceta geomórfica como antrópica.

Son las zonas áridas y semiáridas del planeta las que, según todos los indicadores, van a sufrir los mayores impactos, ya que son áreas de transición donde el balance hídrico es más precario. En este sentido, estudios recientes demuestran que, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, el cambio climático ha producido un aumento de las temperaturas (Estrela, Pérez-Martín y Vargas, 2012; López-García, 2015; Olcina, 2017) y un marcado descenso de las precipitaciones de origen atlántico que afecta, sobre todo, a la zona de interior y al momento de transición entre primavera y verano (Millán, Estrela y Miró, 2005; Miró, Estrela y Olcina, 2015; Pastor *et al*., 2015; Estrela *et al*., 2016; Marcos-García y Pulido-Velazquez, 2017).

Además, como consecuencia de la acumulación de energía en la atmósfera, las lluvias son cada vez más intensas (Alpert *et al*., 2002; Olcina, 2017; Papalexiou y Montanari, 2019). Llegados a este punto conviene aclarar que la Agencia Europea de Medioambiente corrobora el incremento de lluvias intensas para el norte y nordeste de Europa, pero demuestra muchas reticencias en relación a las tendencias de los países del sur (European Environment Agency, 2018). En el mismo informe se reconoce que quizás esto se deba a que los datos diarios son poco adecuados para caracterizar los episodios mediterráneos y se necesitarían escalas temporales más detalladas (Bengtsson and Milloti, 2010; Monjo, 2016).

Efectivamente, diversos análisis empíricos llevados a cabo en la zona de estudio, por Camarasa-Belmonte y Soriano (2015), ponen de manifiesto la importancia de las escalas temporales inferiores a 24 h., para abordar los procesos naturales. Sin embargo, en España se observa una considerable falta de estudios en esta línea, habida cuenta de que hasta 1989 (cuando el Sistema Automático de Información Hidrológica [SAIH] comienza a obtener registros cincominutales) la discretización habitual de los datos de lluvia era diaria.

Con estas premisas, nuestro trabajo aborda el análisis de sucesos entre 1989 y 2016, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, a partir de los datos adquiridos por el SAIH cada cinco minutos (escala temporal adecuada a la naturaleza del proceso). A partir de esta información se han seleccionado episodios (siguiendo criterios hidrológicos de generación de escorrentía superficial) y se han caracterizado mediante indicadores de precipitación acumulada, intensidad máxima puntual, intensidad media reducida y persistencia. A continuación se ha procedido a la clasificación automática de los eventos, mediante técnicas de cluster. Los resultados pueden ser interpretados en términos de episodios con una faceta predominante de recurso o de riesgo. Ello ha permitido sintetizar y cartografiar sucesos tipo y compararlos con los reales. Por último, se ha estudiado su evolución diacrónica, con objeto de observar si existen tendencias de cambio, tanto en el tiempo como en el espacio (dicotomía de comportamiento costa/interior).

2. Metodología

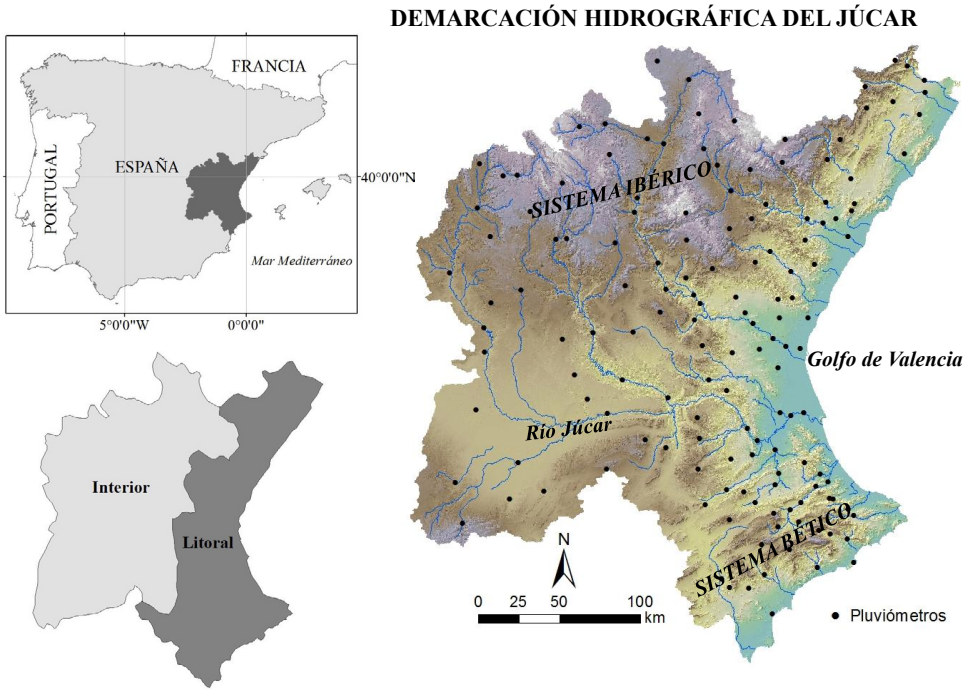
2.1. Área de estudio y datos

El área de estudio abarca el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (42.989 km^2), que constituye un claro exponente de la fachada mediterránea peninsular (Figura 1). Presenta una geografía muy contrastada, con una fuerte dicotomía entre interior y litoral. Desde el punto de vista hidrogeomorfológico, la zona de interior reúne los sectores de cabecera de los cursos fluviales, mientras que la franja litoral está constituida principalmente por las llanuras aluviales y las desembocaduras de los ríos.

En ese contexto, la distribución de episodios de lluvia es desigual. Según Morell y Pérez-Cueva (2000), el volumen de precipitaciones intensas de la zona de litoral es cinco veces superior al producido en el interior. En la misma línea, Camarasa-Belmonte y Soriano (2015) encuentran dos patrones de lluvia diferentes: (i) uno perteneciente al litoral, que agrupa las mayores intensidades, a altitudes no muy elevadas, pero muy cerca del mar y (ii) otro, perteneciente al interior, con precipitaciones de menor intensidad, en zonas alejadas del mar, aunque con mayores altitudes.

Desde el punto de vista antrópico, los grandes almacenamientos de agua (tanto acuíferos kársticos como presas y embalses) se ubican preferentemente en la zona de interior, mientras que la población se concentra en la franja litoral. Si interpretamos esta distribución en términos de recurso-riesgo, podríamos considerar que la zona de interior es fundamentalmente de recurso (ya que agrupa los mayores embalses y presenta una precipitación más regular y de menor intensidad); mientras que el litoral podría ser calificado de riesgo (dado que la intensidad de la lluvia es mayor, la respuesta de las cuencas es muy rápida y la posibilidad de laminar las crecidas disminuye, toda vez que aquí se concentra la mayor cantidad de población).

Figura 1. Localización de la zona de estudio



Elaboración propia

En cuanto al análisis de episodios, se utiliza la información registrada, cada cinco minutos, por la red SAIH-Júcar, en 147 pluviómetros, durante un periodo de 28 años (1989-2016). Con anterioridad a 1989 no se disponía de esta red y la mayor parte de análisis de lluvias se basaba en datos diarios. La puesta en funcionamiento de la misma ha permitido caracterizar los episodios con indicadores de intensidad y persistencia, estimados sobre escalas temporales cinco-minutales. Esto ha supuesto un verdadero cambio en la manera de abordar el estudio de episodios en zonas semi-áridas (Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015).

2.2. *Selección y caracterización de episodios*

A partir de los datos del SAIH, se han detectado episodios de lluvia según los criterios hidrológicos de generación de escorrentía superficial, propuestos por Camarasa-Belmonte y López-García (2006). Estos criterios, basados en umbrales diarios de lluvia acumulada y de intensidad, se han demostrado eficaces en la zona de estudio. Como premisa, los umbrales no deben de ser demasiado bajos porque no producirían escorrentía, ni tampoco demasiado altos, porque de ese modo solo incluirían los sucesos más importantes. Los episodios pueden durar más de un día y deben de tener cierta presencia espacial (de lo contrario no tienen trascendencia hidrológica). Sin embargo, también deben ser tenidas en cuenta las precipitaciones muy intensas (aunque sean locales) porque pueden exceder la capacidad inicial de infiltración del suelo y producir escorrentía.

Una vez establecidos los criterios de selección, Camarasa-Belmonte y López-García (2006) dividieron el área de estudio en 11 unidades espaciales (*zonas*) que, partiendo de las establecidas por la Confederación Hidrográfica del Júcar, atendían a criterios mixtos topográficos e hidrológicos (unidades topográficas de cierta entidad y subcuencas de grandes colectores). Seguidamente propusieron la estimación de dos indicadores de lluvia media areal diaria para cada *zona*: la *precipitación media (P),* estimada a partir de todos los pluviómetros, y *la precipitación media local (PL)*, estimada únicamente a partir de los pluviómetros que registraban lluvia. Según estos indicadores, se consideraba episodio de varios días cuando una *zona* registraba P > 5 mm/día durante 2 o más días seguidos. Se consideraba episodio de día único cuando una *zona* registraba P > 10 mm ó PL > 40 mm (siempre y cuando P < 5 mm en los días anterior y posterior).

Siguiendo la metodología mencionada, en el presente trabajo se han discriminado 698 episodios de lluvia, a partir de los datos diarios. La selección de episodios es cronológica y, dependiendo de la extensión espacial de los mismos, puede cumplir criterios en una o más *zonas* al mismo tiempo. Una vez detec-

tado el episodio, se trabaja en todo el ámbito de estudio (CHJ), en el marco temporal del episodio, y con la información cincominutal de cada pluviómetro. Así, en base a los datos cincominutales, se han estimado, para cada evento, indicadores de precipitación acumulada, intensidad máxima puntual y persistencia, en cada punto de observación. Cada episodio ha sido caracterizado con cuatro indicadores básicos que a continuación se definen:

- Precipitación acumulada (mm): lluvia media areal acumulada en el episodio (estimada a partir del total registrado en cada pluviómetro). Constituye un indicador general de aportación.
- Intensidad máxima puntual (mm/h): intensidad máxima cincominutal absoluta, registrada en cualquiera de los pluviómetros. Constituye un indicador de la energía máxima que ha podido llegar a alcanzarse en el episodio.
- Intensidad media reducida (mm/h): estima la media areal de intensidad, calculada a partir de la intensidad media en cada punto, pero considerando únicamente los intervalos con lluvia.
- Persistencia: es un indicador que muestra la constancia de la lluvia en el tiempo. Para cada punto se estima la probabilidad de que llueva en dos intervalos cincominutales seguidos. El indicador del episodio es una media areal de la persistencia local.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los 698 episodios seleccionados

Indicadores pluviométricos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
Intensidad máxima puntual (mm/h)	2,4	357,6	96,43	60,03
Intensidad media reducida (mm/h)	0,02	17,31	3,74	1,86
Precipitación Acumulada (mm)	0,02	189,9	14,58	17,88
Persistencia (0-1)	0	0,73	0,35	0,16

Elaboración propia

2.3. Clasificación de los episodios

Una vez caracterizados los 698 episodios según los mencionados indicadores pluviométricos se ha procedido a su clasificación a partir de un análisis *cluster,* por ser uno de los métodos más utilizado para eventos climáticos (Halkidi, Batistakis y Vazirgiannis, 2001; Ramos, 2001; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004).

El cálculo de la disimilitud entre grupos se ha basado en la distancia Euclidiana. Como algoritmo de clasificación se ha usado el método jerárquico ascendente de Ward, también conocido como método de la varianza mínima (Ward, 1963). El procedimiento resulta apropiado para este tipo de análisis por su versatilidad y precisión (Blashfield, 1976; Muñoz-Díaz y Rodrigo, 2004).

2.4. Estimación y cartografía de episodios tipo sintéticos. Comparación con episodios reales

El análisis cluster ha distribuido los episodios en 3 clases que, una vez interpretadas, se pueden calificar como: (1) episodios de alta frecuencia y baja magnitud; (2) episodios de baja frecuencia y gran magnitud y (3) episodios de frecuencia intermedia y gran intensidad. A partir de aquí se ha obtenido un episodio sintético tipo por clase. Para ello, se han seguido los siguientes pasos: (1) agrupar los episodios de cada clase; (2) estimar, para cada una y en cada pluviómetro, los valores representativos de los indicadores (medias de precipitación acumulada y máximos absolutos de intensidad máxima puntual) y (3) elaborar una cartografía sintética de episodios tipo.

Una vez analizada esta cartografía se han seleccionado algunos sucesos reales, considerados representativos de cada clase. El estudio comparativo entre episodios sintéticos y reales ha ayudado a discutir los resultados en una primera fase de diagnóstico y clasificación de eventos.

2.5. Tendencia diacrónica de los episodios. Dicotomía litoral/interior

Con objeto de evaluar la tendencia que presentan estos episodios desde 1989, se ha estudiado la evolución de las siguientes variables:

(1) Tendencia anual del número de episodios, en su totalidad y diferenciados por tipos, así como su aportación.

(2) Tendencia de los indicadores de recurso (basados en el total de lluvia acumulada) y riesgo (gravitando en torno a la intensidad máxima) de todos los episodios, registrados en su conjunto y según los tres tipos diferenciados en este estudio.

Como ya se mencionó en la introducción, algunos autores han detectado una evolución diacrónica diferente de los eventos, según ocurran en el interior o en el litoral (Figura 1). Con objeto de comprobar si esta dicotomía se reflejaba en nuestro estudio, se ha estimado la tasa de cambio de los indicadores, desagregados por tipos de episodio, para la zona de interior y para la de costa.

Por otra parte, la distribución mensual de los tipos de episodio también parece estar cambiando a lo largo del tiempo, si bien los 28 años del período estudiado no son suficientes para sustentar esta afirmación. No obstante, con objeto de ilustrar esta idea se ha dividido el período en dos tramos de 14 años cada uno (de 1989 a 2002 y de 2003 a 2016) y se ha calculado la probabilidad de ocurrencia de un determinado tipo de episodio en cada tramo y para cada mes.

3. Resultados

3.1. Tipos de episodio

El análisis Cluster muestra una clara división de los episodios en tres tipologías, cuyos centroides aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación del Análisis Cluster y valor de sus centroides

Clase (Tipo)	Intensidad máxima puntual (mm/h)	Intensidad media reducida (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Persistencia (0-1)	Nº Episodios	% muestra
1	65,1	2,75	8,8	0,29	437	62,61
2	118,48	4,16	58,34	0,53	65	9,31
3	158,97	5,81	12,96	0,43	196	28,08

Elaboración propia

La primera clase aglutina al 62,6% del total, y describe episodios con intensidades máximas puntuales bastante moderadas (65,1 mm/h), con un bajo índice de persistencia (0,29) y que acumulan totales de pequeña cuantía (8,8 mm). Constituye un tipo de episodios de poca energía y gran frecuencia, muy beneficioso, sobre todo, para el mantenimiento del medio natural. Dada su mayor frecuencia a lo largo del año, asegura cierta continuidad del recurso y no implica riesgo (ya que las intensidades son muy pequeñas). Sin embargo, sus totales apenas aseguran la recarga de los acuíferos, embalses y demás elementos de almacenamiento hídrico a medio/largo plazo. Podríamos describir a este tipo como de "*recurso limitado, exento de riesgo*".

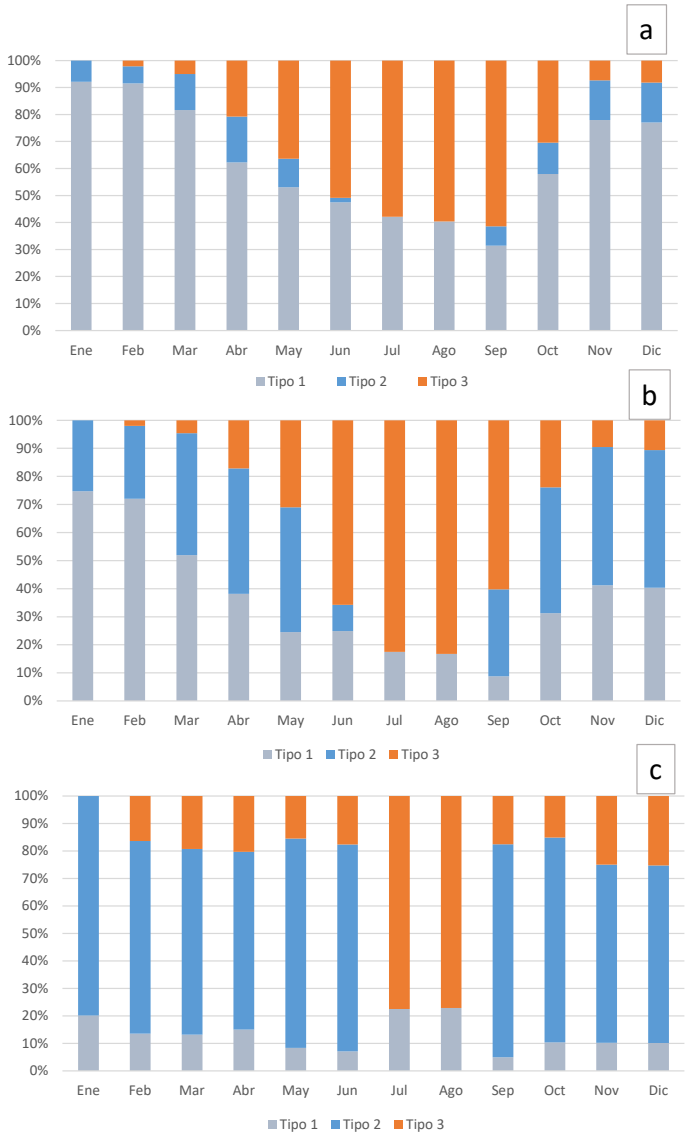
La segunda clase supone apenas el 9,3 % de los episodios. Sin embargo, constituyen los eventos más productivos, ya que son los que más lluvia aportan al sistema (58,34 mm). Ello se debe en parte a su gran persistencia (0,53) y a que precipitan con una intensidad media moderada (4,16 mm/h). Las máximas puntuales, si bien superan los 100 mm/h no son las más altas de la zona (la máxima intensidad puntual registrada alcanzó 357,6 mm/h en el evento de julio de 1993). Desde el punto de vista natural (en que los desbordamientos se consideran beneficiosos para la conectividad hidrológica del sistema) estos episodios rellenan los reservorios (acuíferos, marjales, cursos de agua, …) y aseguran al ecosistema la disponibilidad de agua para los años de escasez. Desde el punto de vista antrópico constituyen el recurso más importante, ya que suponen las mayores aportaciones a ríos y embalses, garantizando la reserva hídrica plurianual. Sin embargo, dependiendo del grado de resiliencia de las sociedades al riesgo de inundación, este tipo puede constituir, además, un riesgo, para poblaciones poco adaptadas. Podría describirse como de "*gran recurso a largo plazo, no exento de riesgo*".

Por último, la tercera clase, con el 28% de los casos, agrupa los episodios más violentos. Son los que mayores intensidades presentan, tanto medias (5,81 mm/h) como máximas puntuales (158,97 mm/h) y, con una persistencia moderada (0,43), acumulan cantidades poco relevantes. Estos sucesos son los que más riesgo entrañan debido a la concentración de lluvia en muy poco tiempo. Según Camarasa-Belmonte y Soriano (2015) la variable crítica de estos eventos, más que la cantidad de lluvia, es la alta intensidad con la que precipita, ya que puede exceder la capacidad inicial de infiltración del suelo, generando escorrentía

superficial, aunque los suelos no estén saturados. Además, según Camarasa-Belmonte (2016) si las máximas intensidades ocurren al inicio de la tormenta, el riesgo aumenta, porque favorece las avenidas tipo *flash-flood* y los problemas por *lluvia in situ*. Este tipo es "*básicamente de riesgo, con bajo recurso asociado*".

Si atendemos a la distribución mensual de las tres clases observamos cierto patrón estacional. La Figura 2 muestra la frecuencia con que se producen (número de episodios por mes); el porcentaje del total de lluvia acumulada y la eficiencia hídrica (total acumulado dividido por número de episodios).

Figura 2. Distribución mensual de los tipos de episodio: (a) frecuencia, (b) totales acumulados y (c) eficiencia hídrica



Elaboración propia

La clase 1 (*recurso limitado, exento de riesgo*) es la que más nº de episodios registra. Se produce durante todo el año, si bien es mucho más frecuente en invierno y otoño, seguido de la primavera. Su número desciende en verano, de junio a septiembre. Aportan la mayor parte del agua precipitada de invierno (sobre todo en enero y febrero) y del otoño tardío. En términos generales, estos episodios resultan muy poco eficientes, a pesar de su constancia durante todo el año.

La clase 2 (*gran recurso a largo plazo, no exento de riesgo*) es la que menor frecuencia presenta. Abunda más en primavera y otoño-invierno. No tiene presencia en verano. Estos episodios totalizan las mayores cantidades de lluvia en otoño (pudiendo llegar a suponer la mitad del total acumulado en el mes de noviembre) y en primavera, con un máximo secundario en invierno. Su aportación durante el verano es

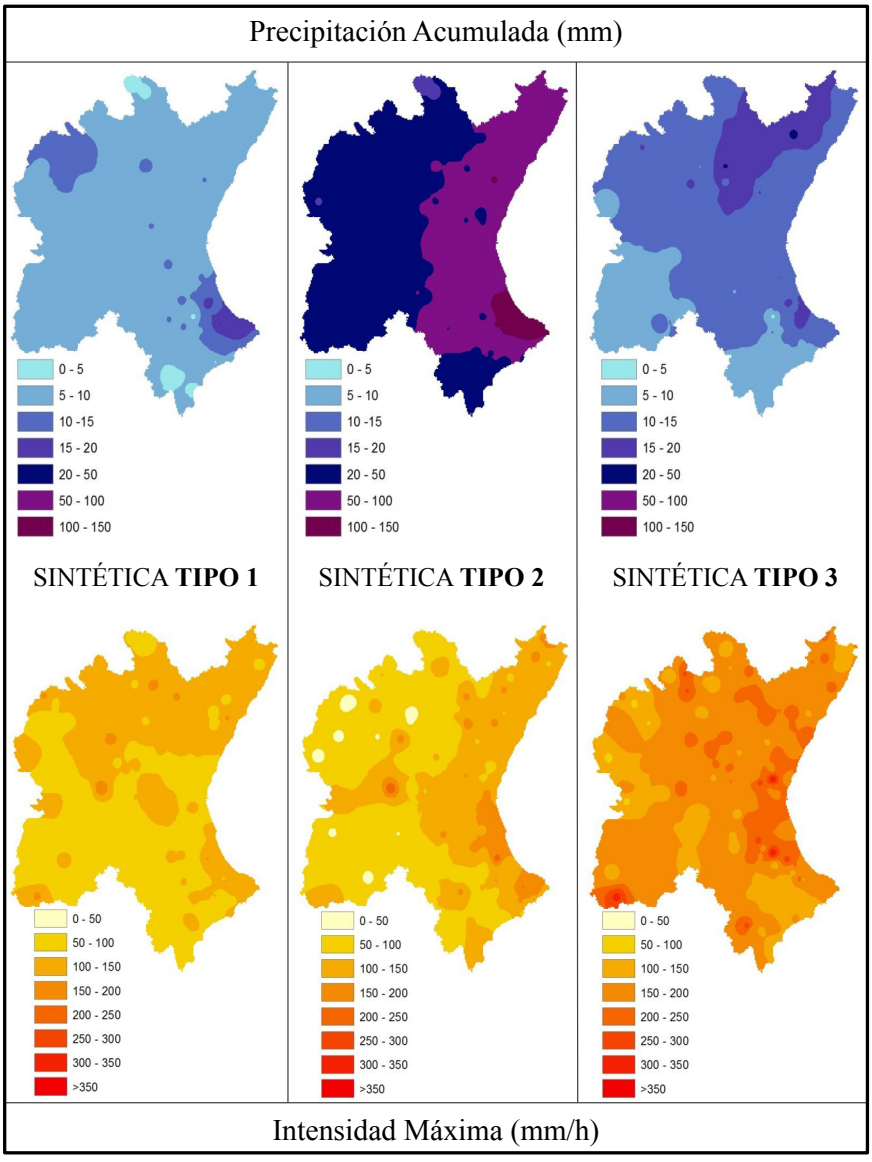
escasa porque apenas tienen presencia. Exceptuando los meses de julio y agosto, estos eventos son los más eficientes durante todo el año.

La clase 3 (*riesgo, con bajo recurso asociado*) resulta dominante en verano y muy frecuente en la transición hacia el otoño y desde la primavera al verano. Apenas tiene importancia en invierno, llegando a desaparecer en el mes de enero. Presenta una frecuencia antagónica con la clase 2. Si bien sus aportaciones en términos absolutos son pequeñas, suponen la mayor eficiencia en los meses de julio y agosto.

3.2. Episodios sintéticos tipo: cartografía y comparación con episodios reales

La Figura 3 muestra la cartografía de los valores medios de precipitación acumulada y máximo de intensidad puntual, para cada clase. Conviene remarcar que estos mapas sintéticos no son representativos de un único evento, ya que reúnen características de todos los de su clase. Por ello, en necesario entender que cada mapa puede reflejar las múltiples situaciones meteorológicas que originan su clase.

Figura 3. Cartografía de los tres tipos de episodios sintéticos (indicadores de lluvia acumulada e intensidad máxima puntual)



Elaboración propia

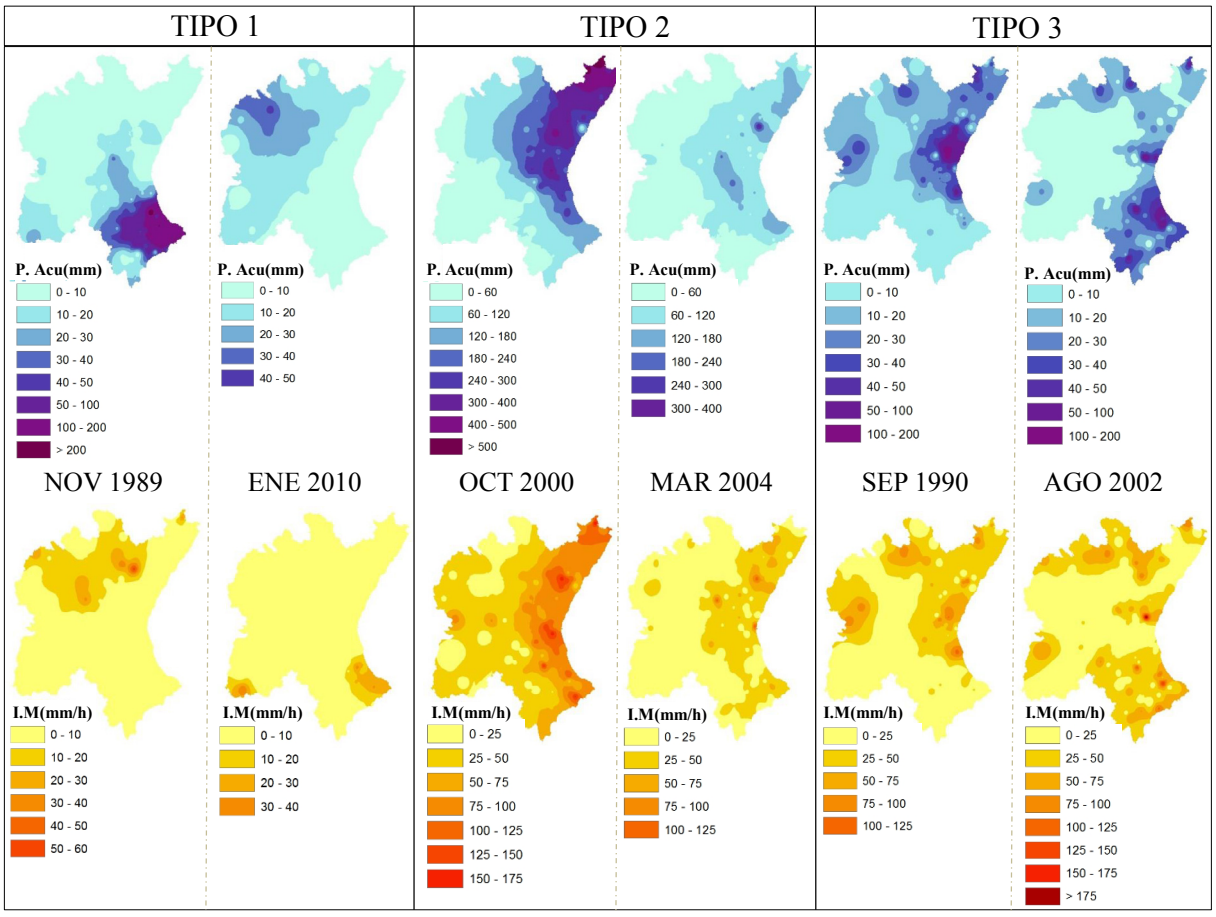
La cartografía tipo de la clase 1 (episodios de alta frecuencia y baja magnitud), muestra una distribución espacial muy marcada por la exposición de la zona de estudio al tipo de temporal que genera el epi-

sodio. En el mapa de precipitación media acumulada la mayor parte del territorio oscila entre 5 y 10 mm. Los valores máximos (en torno a los 15-20 mm) marcan dos zonas. La más importante se encuentra al sur del golfo de Valencia, desde la Albufera hasta el Cabo de la Nau (comarcas de la Ribera, la Safor y la Marina Alta), en relación con temporales de levante (Armengot, 2002; Estrela, Miró y Millán, 2006). La otra zona afecta al NW y se debe a los temporales del W que producen lluvias frontales (Estrela *et al.*, 2006). El mapa de intensidades máximas puntuales muestra valores bajos y zonas muy localizadas, por encima de los 150 mm/h, en relación con la actividad convectiva desarrollada en los entornos montañosos.

La cartografía tipo de la clase 2 (episodios de baja frecuencia y gran magnitud) presenta totales acumulados importantes en todo el territorio, que llegan a superar los 100 mm en el sur del Golfo de Valencia, en el contacto de la llanura litoral con las primeras alineaciones montañosas. Las precipitaciones siguen siendo considerables en la franja costera y van disminuyendo hacia el interior. En estos episodios adquiere gran importancia la proximidad del mar (Camarasa-Belmonte y Soriano, 2015). También las intensidades máximas muestran una disposición paralela a la costa, con máximos puntuales en los puntos de reforzamiento orográfico.

Por último, la cartografía tipo de la clase 3 (episodios de frecuencia intermedia y una gran intensidad) puede que resulte la menos representativa de todas. El mapa de totales acumulados muestra los mayores valores (en torno a 20 mm) en los retablos montañosos de las sierras ibéricas. La parte S y SW de la zona de estudio apenas registra 5 mm de media. En este mapa resulta evidente el efecto orográfico que potencia la actividad de estos episodios, básicamente veraniegos, de corta duración y gran intensidad, que entran desde el mar y se encauzan por los valles abiertos a la costa. Alcanzan las mayores intensidades puntuales, con máximas absolutas de más de 350 mm/h, en puntos cercanos a la costa, donde las alineaciones montañosas favorecen los movimientos convectivos.

Figura 4. Cartografía de episodios reales (indicadores de precipitación acumulada e intensidad máxima puntual)



Elaboración propia

Como ya se ha comentado, esta cartografía tipo recoge una situación (media en el caso de la precipitación acumulada y máxima en el caso de las intensidades puntuales) que engloba en un solo mapa las características de diferentes episodios reales. La Figura 4 muestra una selección de dos episodios reales por cada clase, considerados representativos de las mismas, que permiten contextualizar la cartografía previa. El tipo 1 se compara con los episodios de noviembre de 1989 (días 20-21) y enero de 2010 (días 24-27); el tipo 2 con los de octubre del 2000 (días 21-25) y marzo de 2004 (días 26-30) y, el tipo 3, con los de septiembre de 1990 (días 8-9) y agosto de 2002 (días 23-24).

Los episodios de noviembre de 1989 y enero de 2010 constituyen dos ejemplos típicos de la clase 1, en los que la lluvia se concentra en la zona NW (asociada a lluvias frontales) o en el Golfo de Valencia y parte de Alicante (asociadas a situaciones de levante). En ambos casos, aunque los totales pueden ser localmente importantes (50 mm en noviembre de 1989 y más de 200 mm en enero de 2010), están muy focalizadas en el espacio y no afectan de manera generalizada al ámbito de estudio (que presenta una media de 9,7 mm en el primer caso y 27,83 mm en el segundo). Las intensidades máximas son bajas (53 mm/h en noviembre de 1989 y de 26 mm/h en diciembre de 2010) y muy localizadas.

Para representar a la clase 2 se han seleccionado las tormentas de octubre del año 2000 y marzo del 2004. El episodio de octubre del 2000 es el de mayor magnitud de la serie de datos. Llueve de manera generalizada en toda el área de estudio, alcanzando totales medios de 190 mm y con máximas acumuladas de más 500 mm en la franja litoral. También el episodio de marzo de 2004 tiene una extensión dilatada, con lluvias medias de más de 80 mm y acumuladas puntuales superiores a los 300 mm. La configuración del campo de lluvia muestra, en ambos casos, una gradación de valores descendiente de norte a sur y desde el litoral hacia el interior (evidenciando la influencia de la proximidad del mar como fuente de humedad y el efecto orográfico intensificador de las sierras ibéricas). Por lo que respecta a las intensidades máximas puntuales no son excesivas (165 mm/h en octubre del 2000 y 115 mm/h en marzo de 2004) y se registran sobre todo en zonas del litoral con influencia orográfica (primeras alineaciones montañosas paralelas a la costa y valles abiertos al mar).

Los episodios de la clase 3 corresponden a septiembre de 1990 y agosto de 2002. En ambos casos se trata de eventos de ámbito litoral y de influencia orográfica (sierras ibéricas en el primero y béticas en el segundo). Su extensión espacial es reducida, si bien, en los puntos más activos se llegan a recoger totales acumulados de más de 100 mm en ambos casos. La intensidad máxima se registra cerca de la costa con valores importantes, que llegan a alcanzar 204 mm/h en agosto de 2002.

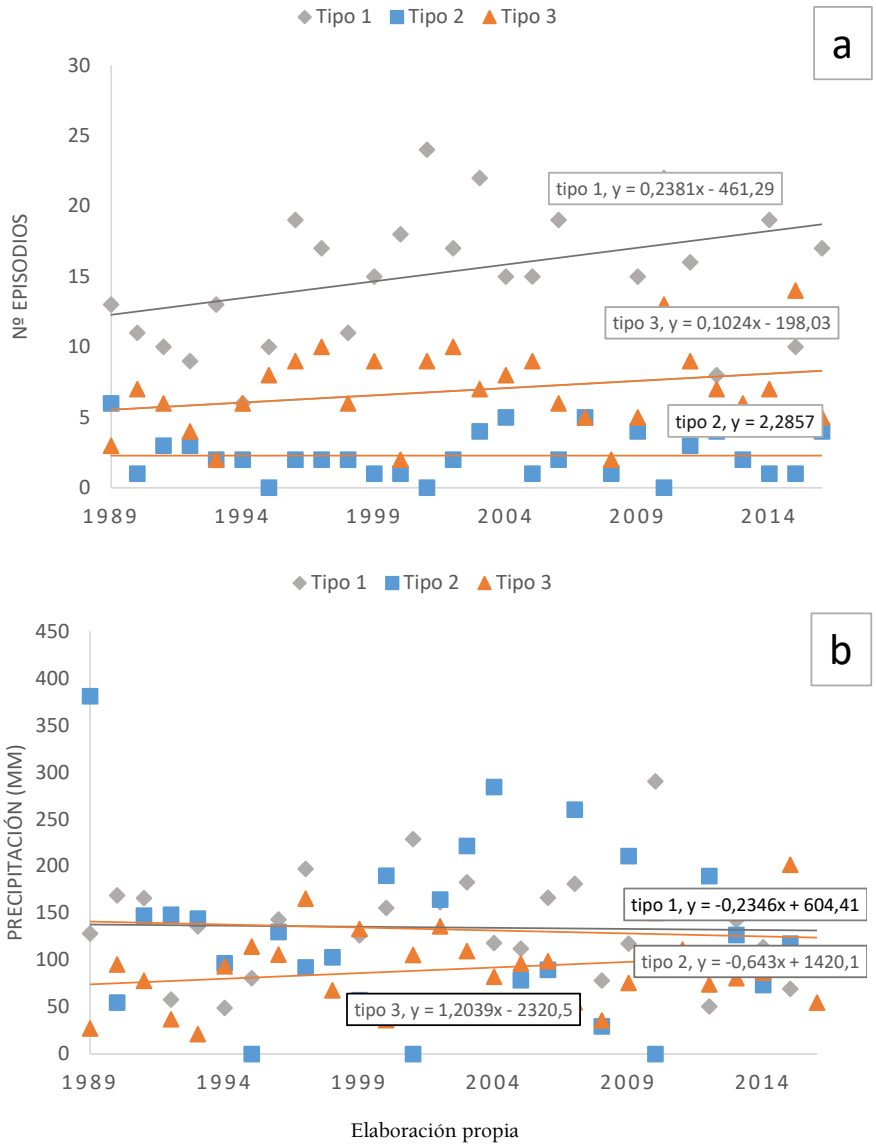
El análisis comparado de la cartografía tipo de cada clase con la de los sucesos reales permite corroborar que los episodios de la clase 1 pueden darse indistintamente en todo el ámbito, si bien tienen mayor eficiencia en el NW y en el SE. Los de tipo 2 afectan de manera generalizada a todo el territorio, aunque con mayor actividad en la zona litoral que en el interior y los de tipo 3 son locales y están muy condicionados por el efecto orográfico.

3.3. Tendencia diacrónica de los episodios: baja el recurso y aumenta el riesgo

La Figura 5 muestra la tendencia de los episodios agrupados por años. En el primer gráfico (Figura 5.a) vemos cómo el número anual de eventos está aumentando, si bien, los de tipo 1 lo hacen a un ritmo mayor que los del tipo 3. La frecuencia del tipo 2 se mantiene estable. El incremento del número de episodios de tipo 1, que en principio podría ser esperanzador debido a que supone un recurso, contrasta con la Figura 5.b, en la que se constata que la aportación de tipo 1 y 2 está disminuyendo, mientras que la de tipo 3 está aumentando. Este hecho pone de manifiesto un incremento del riesgo y una disminución del recurso. Cada vez hay mayor número de episodios de riesgo que además aportan más agua (presumiblemente por un incremento de la intensidad) y una disminución del recurso, por pérdida de eficiencia de los episodios de tipo 1 (que pese que aumenta en número, disminuye en aportación).

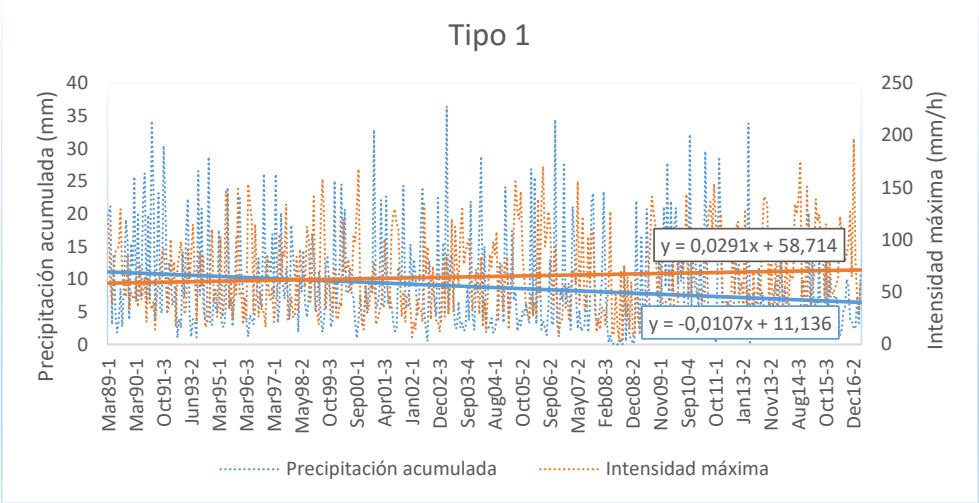
Si analizamos conjuntamente las tendencias de aportación media e intensidad máxima puntual de todos los episodios (Figura 6) observamos cómo los totales precipitados disminuyen mientras que las intensidades aumentan, en los tres tipos de episodios. De nuevo, este comportamiento puede interpretarse como una disminución del recurso y un aumento del riesgo, especialmente preocupante si tenemos en cuenta que la tendencia es más pronunciada en el tipo 2 (que es el que supone mayores recursos y no está exento de riesgo).

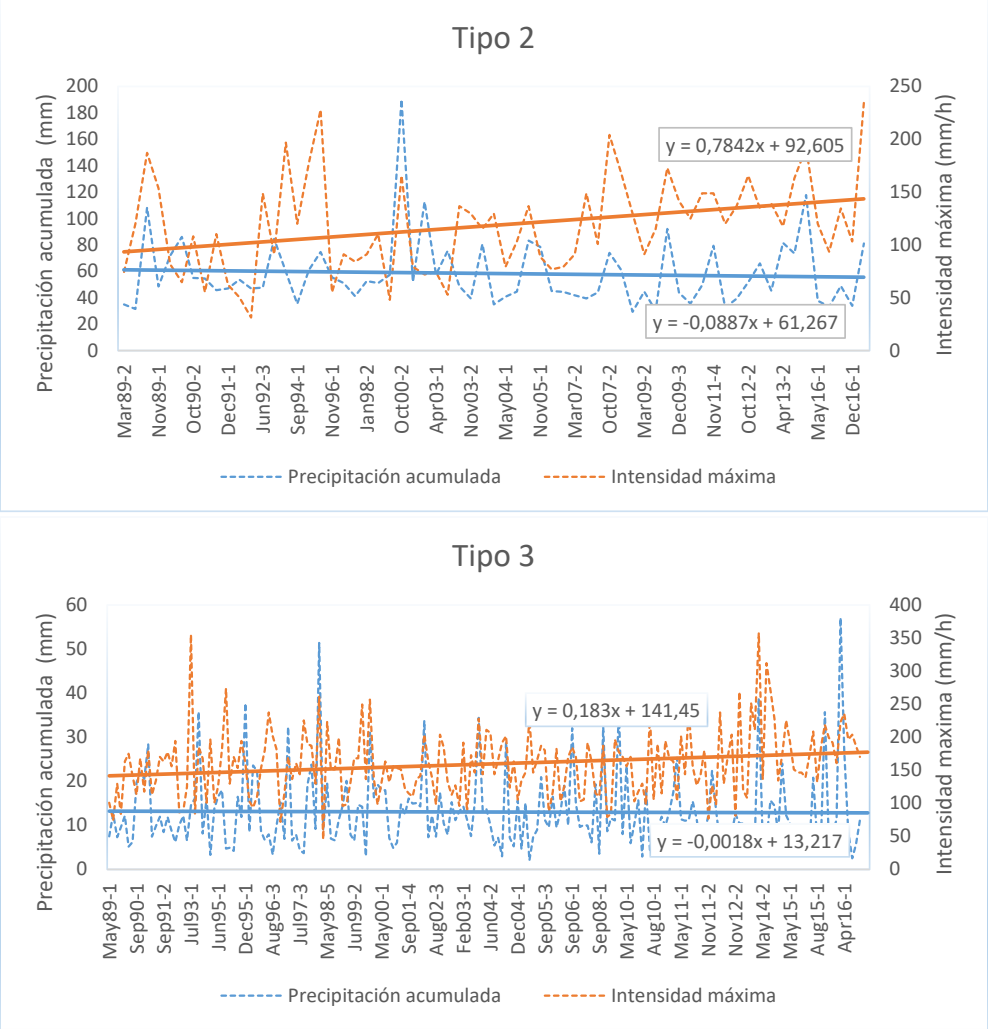
Figura 5. Tendencia anual de los episodios: a) número de episodios; b) aportación media en mm



Elaboración propia

Figura 6. Tendencia del total de episodios por clases





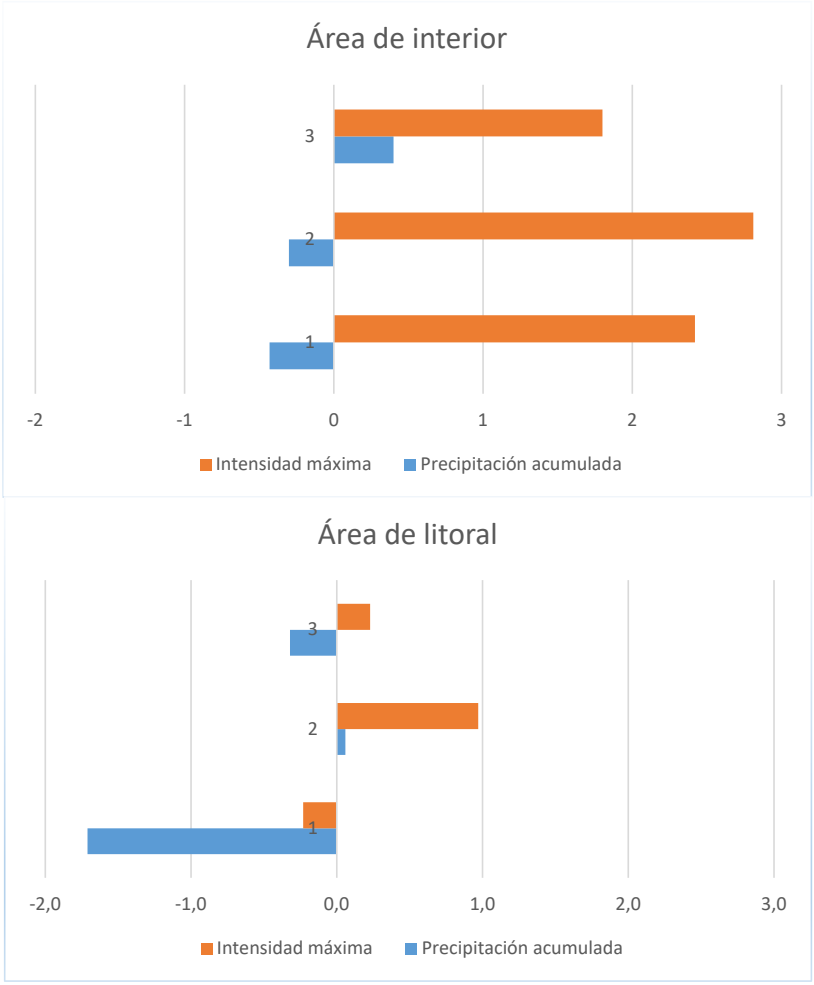
Elaboración propia

3.4. Dicotomía litoral-interior

Con objeto de comprobar si esta tendencia presenta ratios diferentes en las áreas de interior y de costa se han analizado por separado los episodios de ambas zonas (Figura 7). Se observa cómo, en general, los cambios son más pronunciados en el interior, sobre todo en el tipo 2, que experimenta un aumento considerable de la intensidad máxima y un descenso en las aportaciones. El tipo 3 también presenta tendencias más pronunciadas en el interior (incremento de la intensidad máxima y de las aportaciones) respecto del litoral (donde la intensidad aumenta, pero poco, y las aportaciones disminuyen). En el tipo 1 la intensidad máxima se incrementa en el interior y disminuye ligeramente en la costa. Los recursos descienden en ambos ambientes, aunque con mayor ritmo en la costa.

En síntesis, el estudio corrobora que la tendencia al cambio en el comportamiento de los episodios entre interior y litoral presenta ratios diferentes. Las zonas de interior son las que están sufriendo un descenso más importante de los recursos (en relación sobre todo con la pérdida de aportaciones de los episodios de tipo 2) y un mayor incremento del riesgo ligado al incremento de la intensidad de todos los episodios. Llegados a este punto conviene recordar que esta es la zona por excelencia de generación de los recursos hídricos, donde se ubican la mayor parte de los embalses. En cuanto a la zona de litoral, se mantiene más estable, si bien cabe destacar el incremento de intensidad de los episodios de tipo 2 y 3, así como una ligera tendencia de los de tipo 1 a disminuir en aportación e intensidad.

Figura 7. Tasa de incremento (%) de los indicadores pluviométricos, por clases, en el área de interior y de litoral



Elaboración propia

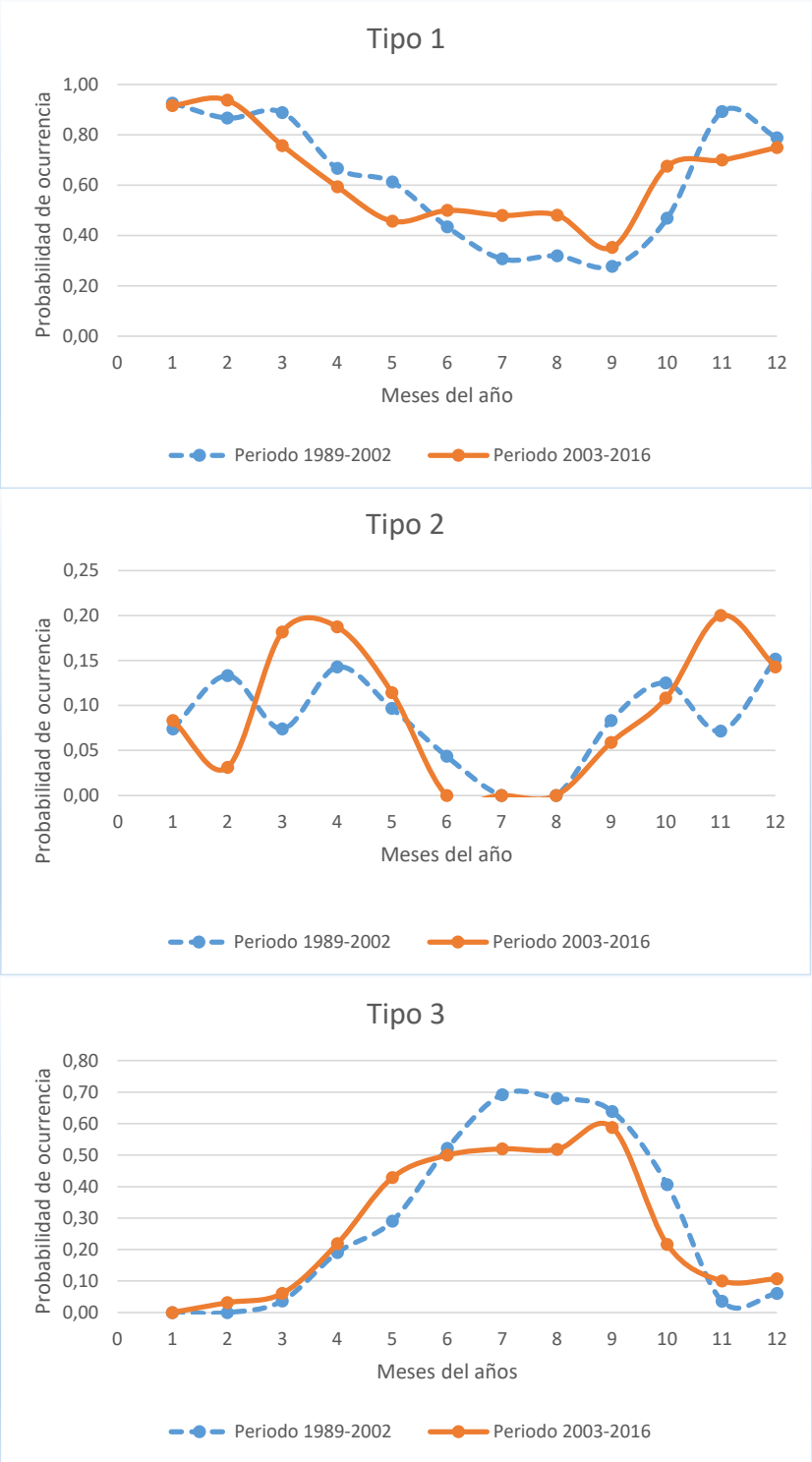
3.5. ¿Se está produciendo un desplazamiento temporal de los episodios?

La distribución mensual de los tipos de episodio también parece estar cambiando a lo largo del tiempo. La Figura 8 muestra la comparación entre la probabilidad de ocurrencia de un determinado tipo de episodio en cada mes, para los dos tramos temporales en que se ha dividido el período de estudio (de 1989 a 2002 y de 2003 a 2016).

Los episodios de tipo 1 (asociados a recurso bajo) parece que se están atrasando en el año, desplazándose desde el invierno hacia el verano. Baja la probabilidad de que se produzcan desde noviembre hasta mayo y asciende entre mayo y octubre. Sin embargo, el máximo otoñal se adelanta desde noviembre hasta octubre. De este modo este tipo de episodios pierde protagonismo durante el invierno, pero asegura el abastecimiento del verano, con un máximo en febrero y otro en octubre. El tipo 2 (recurso alto no exento de riesgo) es el que presenta un desplazamiento más evidente. El máximo de febrero se desplaza a marzo y el de octubre se desplaza a noviembre (en el verano, este tipo de episodio apenas sí tenía incidencia). El tipo 3 (riesgo) está incrementando su probabilidad de ocurrencia en mayo y en noviembre y diciembre. Por lo que respecta al verano (estación en la que abundan estos episodios), está reduciendo su presencia y desplazando el momento máximo de julio a septiembre.

Los cambios en la probabilidad mensual de ocurrencia de cada tipo de evento entre los dos períodos considerados (Figura 9) apuntan hacia un descenso del número de episodios tipo 1 durante el invierno y la primavera, a costa del incremento de los episodios de tipo 2 y 3, cuyo crecimiento coincide peligrosamente, por la sinergia que significan, durante el mes de noviembre. Por el contrario, los episodios de tipo 3 están reduciendo su protagonismo durante el verano a favor de los de tipo 1.

Figura 8. Comparación entre la probabilidad mensual de ocurrencia de cada tipo de episodio en los dos períodos considerados (1989-2002 y 2003-2016)

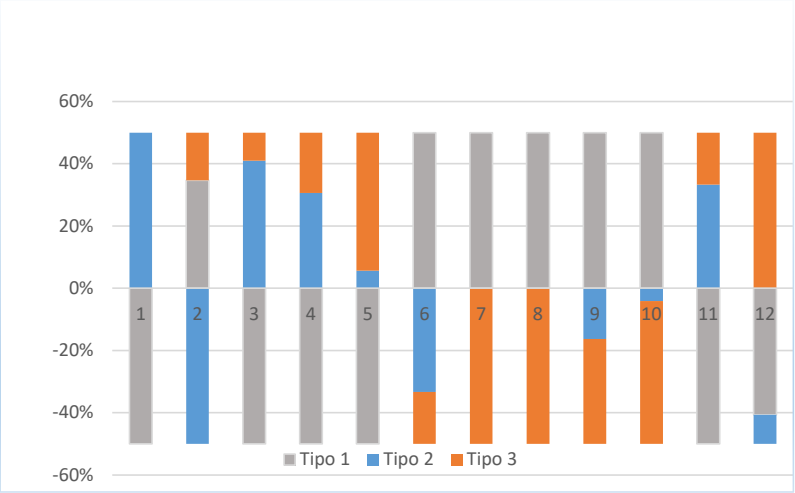


Elaboración propia

Todo ello supone una reducción de la torrencialidad en el verano y un incremento de la misma en los meses de primavera y otoño tardío. Así, durante el verano, los episodios de riesgo están siendo sustituidos por los de recurso bajo, mientras que los más productivos (tipo 2) están incrementando su actividad en invierno y primavera. El análisis anuncia una peligrosa coincidencia entre los episodios 2 y 3, por la

multiplicación de efectos negativos que implica la suma de episodios abundantes no exentos de riesgo, más los de riesgo propiamente dicho. Este caso parece especialmente preocupante durante el mes de noviembre, donde pueden coincidir cantidad e intensidad.

Figura 9. Cambios en la probabilidad de ocurrencia de los tipos de episodio, entre los dos períodos considerados (1989-2002 y 2003-2016)



Elaboración propia

4. Discusión y conclusiones

El análisis de episodios de lluvia con significación hidrológica constituye una de las cuestiones claves para abordar los asuntos de recurso/riesgo en las zonas mediterráneas, habida cuenta que las medias anuales o mensuales no son representativas de los procesos. El equilibrio entre episodios que suponen un recurso y los que implican un riesgo para la sociedad está siendo alterado como efecto del cambio climático, cuyas consecuencias en ambientes semiáridos son muy difíciles de prever (Lionello, Malanotte-Rizzoli y Boscolo, 2006). Según Paeth *et al.* (2017), los modelos de predicción de variabilidad pluviométrica futura están llenos de incertidumbres, que obstaculizan la interpretación de las tendencias. Más aún, los datos diarios no son adecuados para la escala de los procesos mediterráneos y, en consecuencia, se necesita trabajar a una mayor resolución, tanto espacial como temporal (Lionello, 2012; Ruti et al., 2016).

No obstante, a pesar de las múltiples incertidumbres, existe un consenso entre la comunidad científica acerca del hecho de que los episodios intensos están incrementando en número e intensidad (Xoplaki *et al.*, 2012; Barrera-Escoda, Gonçalves, Guerreiro, Cunillera y Baldasano, 2014; Romera *et al.*, 2017). Las precipitaciones a escala horaria y minutal están siendo cada vez más intensas, aún en regiones donde la medias mensuales y anuales están disminuyendo (Westra *et al.*, 2014; González-Herrero y Bech, 2017).

En esta línea, el presente estudio analiza 698 episodios de lluvia a partir de indicadores estimados en base a datos registrados cada cinco minutos. Los episodios han sido clasificados en tres tipos en función de su faceta predominante de recurso o riesgo. Si bien la explicación de los eventos en términos de recurso/riesgo no deja de ser un tanto reduccionista, ofrece un marco general de discusión, habida cuenta de que el modo de llover marca, en última instancia, una diferencia importante entre el recurso y el riesgo. Por una parte, tanto la escorrentía superficial como la subterránea se alimentan de la precipitación. Por otra, intensidades muy fuertes llevan implícito un factor de riesgo importante, porque aceleran e incrementan la generación de caudal, aunque los suelos no estén saturados. Además, independientemente de que se produzcan desbordamientos, dentro del factor riesgo deben considerarse las *lluvias in situ*, asociadas a alta intensidad.

La clase 1, que hemos descrito como "*recurso limitado, exento de riesgo*" es la más frecuente, se produce durante todo el año, si bien se da más durante el invierno y el otoño. Precipita totales reducidos, a intensidades bajas y es la que menor eficiencia presenta. La clase 2, descrita como "*gran recurso a largo plazo, no exento de riesgo*" es la menos frecuente pero más eficiente y productiva. Se da sobre todo en primavera y otoño. Supone las mayores aportaciones para el sistema porque precipita mucha lluvia, pero con

intensidades moderadas. Desde el punto de vista humano, constituyen un gran recurso porque garantizan la reserva hídrica plurianual, pero, a la vez, pueden implicar riesgo para las comunidades poco resilientes a la inundación. Por último, la clase 3, descrita como "*de riesgo, con bajo recurso asociado*" se da sobre todo en verano. Es la que presenta mayores intensidades, si bien su eficiencia es baja, salvo en los meses de julio y agosto, en que supone los mayores aportes para el sistema.

En conjunto, estos resultados son coherentes con el máximo pluviométrico otoñal, descrito para la costa este peninsular por De Castro, Martín-Vide y Alonso (2005) y De Luis, Brunetti, Gonzalez-Hidalgo, Alberto-Longares y Martín-Vide (2010). En efecto, si analizamos los resultados del estudio actual en términos estacionales, el mayor número de episodios (30%) se produce en otoño y la mayor aportación de los mismos (35%) también. Partiendo de esta base común, el presente trabajo permite profundizar en las características de episodios otoñales según tipología. Así, se puede afirmar que en esta estación se registran los episodios más eficientes del tipo 3 (riesgo) y 2 (gran recurso a largo plazo). Cabe destacar, no obstante, que ambos tipos son más frecuentes en otras estaciones: en verano el tipo 3 y en primavera el tipo 2. A pesar de ello, las mayores cantidades de lluvia las precipitan en otoño.

La expresión cartográfica de los tres tipos de episodio muestra una distribución espacial representativa de cada uno, en consonancia con los factores genéticos descritos. El tipo 1 es el reflejo de la exposición de la zona de estudio según la clase de temporal (destacando el sur del golfo de Valencia bajo acción de los temporales de levante y el NW del área de estudio, expuesta a los frentes del W). El tipo 2 está muy condicionado por la cercanía al mar y muestra una disposición paralela a la costa, según describen Camarasa-Belmonte y Soriano (2015). Por último, la incidencia de los episodios más intensos, tipo 3, es muy local y está relacionada con la acción de los vientos húmedos de levante y el efecto puntual de reforzamiento orográfico.

En cuanto a la evolución temporal de los episodios, se pone de manifiesto una propensión general a la disminución del recurso y crecimiento del riesgo. Comparando las tendencias de aportación media e intensidad máxima de todos los sucesos, los totales precipitados descienden y las intensidades aumentan en los tres tipos. Estos resultados concuerdan con la tendencia que encuentran González-Herrero y Bech (2017) en su estudio sobre lluvias máximas en España entre 1805 y 2014. Estos autores constatan una elevación en la frecuencia de las lluvias intensas (sobre todo en el litoral mediterráneo), que no se observa en los totales acumulados. En esta línea, Olcina (2017) también comprueba un aumento de episodios de inundación por lluvias intensas en Alicante, entre 1977 y 2016. Según el presente trabajo, si bien el número anual de eventos está creciendo, mientras que la aportación de los de tipo 3 (de riesgo) está subiendo (por un incremento de intensidad), la de los tipos 1 y 2 (de recurso) está disminuyendo. Estos resultados, sustentados en datos cincominutales, complementan el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (2018) sobre precipitación extrema, en el que no puede establecer un patrón claro de aumento de la intensidad en los países del sur de Europa, porque las escalas temporales con que se ha elaborado el informe son demasiado amplias y se necesitaría mayor detalle temporal.

Las tendencias de cambio en la Demarcación Hidrográfica del Júcar se muestran más pronunciadas en el área de interior que en el litoral. Estos resultados están en consonancia con las investigaciones llevadas a cabo por Estrela *el al.* (2006) y por Marcos-García y Pulido-Velázquez (2017). Según nuestro análisis, las zonas de interior están sufriendo un descenso importante de los recursos (en relación sobre todo con la pérdida de aportaciones de los episodios de tipo 2) y un mayor incremento del riesgo, ligado al aumento de la intensidad de todos los episodios. La zona de litoral, si bien es más estable, muestra un incremento de intensidad de los episodios tipo 2 y 3. Las consecuencias de estas tendencias apuntan a una reducción importante de los recursos que alimentan nuestros embalses, ya que se generan en la cabecera de las cuencas, en la zona de interior. Por otra parte, el aumento de intensidad de los episodios 2 y 3 en el ámbito litoral supone un incremento importante del riesgo por *lluvia in situ*, en un ámbito ampliamente urbanizado.

Otra tendencia preocupante que se apunta en este estudio es el desplazamiento temporal de los tipos de episodios a lo largo del año, que puede dar lugar a sinergias negativas. El tipo 1 (asociado a recuso bajo) parece estar trasladándose del invierno al verano, lo que supone una reducción de la torrencialidad estival y un incremento de la misma en la primavera y al final del otoño. El tipo 2, asociado a altas aportaciones, es el que presenta un desplazamiento más importante de octubre a noviembre, donde puede coincidir peligrosamente con los de riesgo (tipo 3), que, a su vez, incrementan su probabilidad de ocurrencia en los meses de noviembre y diciembre. Estos resultados están en consonancia con el incre-

mento del porcentaje de lluvia en otoño sobre el total anual, encontrado por De Luis *et al.* (2010) en la Península Ibérica entre 1946 y 2005. Llegado a este punto, cabe remarcar que la simultaneidad de sucesos muy productivos con los muy intensos incrementaría considerablemente el riesgo. Este aspecto es muy significativo y deberá tenerse en cuenta de cara a las futuras estrategias de adaptación al riesgo climático en entornos mediterráneos.

Financiación

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto CGL2017-83546-C3-1-R (Subproyecto 1) (financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y fondos FEDER).

Agradecimientos

Las/os autoras/es quieren agradecer a la Demarcación Hidrográfica del Júcar (en particular al Sistema Automático de Información Hidrológcia -SAIH-) la cesión de los datos cincominutales de precipitación.

Referencias

Alpert, P., Ben-Gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Diodato, L., Ramis, C., … y Manes, A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite o decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, *29*(10), 1536. https://doi.org/10.1029/2001GL013554

Armengot, R. (2002). *Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana*. Valencia: Ministerio de Medioambiente.

Barrera-Escoda, A., Gonçalves, M., Guerreiro, D., Cunillera, J. y Baldasano, J.M. (2014). Projections of temperatura and precipitation extremes in the North Western Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution (1971-2050). *Climate Change* 122, 567-582. https://doi.org/10.1007/s10584-013-1027-6

Bengtsson, L. y Milloti, S. (2010). Extreme storms in Malmö, Sweden. *Hydrological Processes*, 24, 3462-3475. https://doi.org/10.1002/hyp.7768

Blashfield, R. K. (1976). Mixture model test of cluster analysis: accuracy of four aglomerative hierarchical methods. *Psychol. Bull.*, 83, 377-388. https://doi.org/10.1037/0033-2909.83.3.377

Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F. y Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518, 194-205. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022

Bracken, L.J. y Croke, J. (2007). The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic system. *Hydrological Processes*, 21, 1749-1763. https://doi.org/10.1002/hyp.6313

Bracken, L.J., Cox, N.J. y Shannon, J. (2008). The relationship between rainfall inputs and flood generation in south-east Spain. *Hydrological Processes*, 22, 683-696. https://doi.org/10.1002/hyp.6641

Bracken, L.J., Wainwright, J., Ali, G.A., Tetzlaff, D., Smith, M.W., Reaney, S.M. y Rou, A.G. (2013). Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews*, 119, 17-34. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.001

Brakenridge, G.R. (1988). River flood regimen and floodplain stratigrafy. *Floods Geomorphology*, 139-155.

Butzer, K. W. (2005). Environmental history in the Mediterranean world: cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1773-1800. https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.06.001

Camarasa-Belmonte, A.M. y López-García, M.J. (2006). Criterios de selección y caracterización de episodios de lluvia. Aplicación a la Confederación Hidrográfica del Júcar (1989-2003). En Publicaciones AEC, *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Serie A, 5, 323-336.

Camarasa-Belmonte, A.M. y Soriano, J. (2015). La intensidad de lluvia en entornos mediterráneos. Valores extremos según la escala de observación. *Boletín de la Asociación de Geógrafos* Españoles, 68, 249-300.

Camarasa-Belmonte, A. M. (2016). Flash floods in Mediterranean ephemeral streams in Valencia Region (Spain). *Journal of Hydrology, 541*(Part A), 99-115. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.019

Cammeraat, E. (2004). Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, 317-332. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.032

Conesa, C. (2005). Les 'ramblas' du Sud-est Espagnol: Systèmes hkydromorphologiques en milieu méditerranéen sec. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 49, 205-224

Cudennec, C., Leduc y C., Koutsoyiannis, D. (2007). Dryland hydrology in Mediterranean regions –a review. *Hydrological Sciences Journal*, *52*(6), 1077-1087. https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1077

De Castro, M., Martín-Vide, J. y Alonso, S. (2005). El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. En *Impactos del cambio climático en España* (pp. 1-64). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

De Luis, M., Brunetti, M., Gonzalez-Hidalgo, J.C., Alberto-Longares, L. y Martín-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitationin the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Global and Planetary Change*, 74, 27-33. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2010.06.006

Estrela, M.J., Miró, J.J. y Millán, M. (2006). Análisis de la tendencia de la precipitación por situaciones convectivas de la Comunidad Valenciana (1959-2004). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones AEC, Serie A, 5, 125-136.

Estrela, T., Pérez-Martín, M.A. y Vargas, E. (2012). Impacts of climate change on water resources in Spain. *Hydrological Sciences Journal*, *57*(6), 1154-1167. https://doi.org/10.1080/02626667.2012.702213

Estrela, M.J., Piró, J.J. y Gómez, I. (2016). Clima y cambio climático en la Comunidad Valenciana. El Territorio Valenciano. *Transformaciones ambientales y antrópicas*, 25-28.

European Environment Agency (2018). *Heavy precipitation, Climate Change Adaptation. Water and Marine Environments*. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/precipitation-extremes-in-europe-3/assessment

González-Herrero, S. y Bech, J. (2017). Extreme point rainfall temporal scaling: a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain. *International Journal of Climatology*, *37*(15), 5068-5079. https://doi.org/10.1002/joc.5144

Graf, W.L. (1988). *Fluvial processes in dryland rivers*. Berlin: Springer.

Halkidi, M., Batistakis, Y. y Vazirgiannis, M. (2001). On clustering validation techniques. *Journal of Intelligent Information Systems*, 17(2-3), 107-145. https://doi.org/10.1023/A:1012801612483

Homar, V., Romero, R., Ramis, C. y Alonso, S. (2002). Numerical study of the October 2000 torrential precipitation event over Spain: analysis of the synoptic-scale stationarity. *Annales Geophysicae*, 20, 2047-2066. https://doi.org/10.5194/angeo-20-2047-2002

Lavee, H., Imeson, A.C. y Sarah, P. (1998). The impact of climate change on geomorphology and desertification along a Mediterranean-arid transect. *Land Degradation & Development*, 9, 407-422. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199809/10)9:5<407::AID-LDR302>3.0.CO;2-6

Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P. y Boscolo, R. (Eds.) (2006). *Mediterranean Climate Variability*. Amsterdam: Elsevier.

Lionello, P. (2012). *The climate of the Mediterranean Region. From the past to the future*. Lecce (Italy): Elsevier.

Llasat, M.C. (2001). An objetive classificationof rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *21*(11), 1385-1400. https://doi.org/10.1002/joc.692

López-García, M.J. (2015). Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast. Towards and earlier and longer summer. *Atmosfera*, *28*(3), 149-160. https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.01

Marcos-García, P. y Pulido-Velázquez, M. (2017). Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para la demarcación? *Ingeniería del Agua*, *21*(1), 35-52. https://doi.org/10.4995/ia.2017.6361

Martínez-Mena, M., Castillo, V. y Albaladejo, J. (2001). Hydrological and erosional response to natural rainfall in a semi-arid area of South-east Spain. *Hydrologial Processes*, 15, 557-571. http://dx.doi.org/10.1002/hyp.146

Millán, M., Estrela, M.J. y Miró, J.J. (2005). Rainfall components: variability and spatial distribution in a mediterranean área (Valencia Region). *Journal of Climate*, *18*(14), 2682-2705. https://doi.org/10.1175/JCLI3426.1

Miró, J.J., Estrela, M.J. y Olcina, J. (2015). Statistical Downscaling and attribution of air temperature change patterns in the Valencia Region (1948-2011). *Atmospheric Research*, 156, 189-212. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.003

Monjo, R. (2016). Measure of rainfall time structure using the dimensionless n-index. *Climate Resesearch*, 67, 71-86. https://doi.org/10.3354/cr01359

Morrell, J. y Pérez-Cueva, A. (2000). Volúmenes hídricos de las precipitaciones intensas en la Confederación Hidrográfica del Júcar. *Cuadernos de Geografía*, 67/68, 261-275. https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/article/view/14556/13293

Muñoz-Díaz, D. y Rodrigo, F.S. (2004). Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912-2000) using cluster and principal component analysis: comparison. *Annales Geophysicae*, 22, 1435-1448. https://doi.org/10.5194/angeo-22-1435-2004

Olcina, J. (2017). Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante *SÉMATA, Ciencias Socias e Humanidades*, 29, 143-163. http://hdl.handle.net/10045/73413

Paeth, H., Vogt, G., Paxian, A., Hertig, E., Seubert, S. y Jacobeit, J. (2017). Quantifying the evidence of climate change in the light of uncertainty exemplified by the Mediterranean hot spot region. *Global and Planetary Change*, 151, 144-151. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.03.003

Papalexiou, S.M. y Montanari, A. (2019). Global and regional increase of precipitation extremes under global warming. *Water Resources Research*, 55, 4901-4914. http://dx.doi.org/10.1029/2018WR024067

Pastor, F., Valiente, J.A., Estrela, M.J. (2015). Sea Surface temperature and torrential rains in the Valencia region: modelling the role of recharge areas. *Natural Hazards Earth System Science Discussion,* 3, 1357-1396.

Ramos, M.C. (2001). Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 57(2), 123-138. https://doi.org/10.1016/S0169-8095(01)00065-5

Romera, R., Gaertner, M.A, Sánchez, E., Domínguez, M., González-Alemán, J.J. y Miglietta, M.M. (2017). Climate change projections of medicanes with a large multi-model ensemble of regional climate models. *Global and Planetary Change*, 151, 134-143. http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.008

Ruti, P.M., Somot, S., Giorgi, F., Dubois, C., Flaounas, E., Obermann, A., … y Vervatis, V. (2016). Med-CORDEX Initiative for Mediterranean Climate Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97, 1187-1208. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00176.1

Samuels, R., Rimmer, A. y Alpert, P. (2009). Effect of extreme rainfall events on the water resources of the Jordan River. *Journal of Hydrology,* 375, 513-523. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.07.001

Ward, J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimise and objetive function. *Journal of the American statistical association,* 58, 236-244. https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

Westra, S., Fowler, V.J., Evans, P., Alexander, L.V., Berg, P., Johnson, F., … y Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 3, 522-555. https://doi.org/10.1002/2014RG000464

Wolman, M.G. y Gerson, R. (1978). Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology. *Earth Surface Processes*, 3, 189-208. https://doi.org/10.1002/esp.3290030207

Xoplaki, E., Trigo, R.M., García-Herrera, R., Barriopedro, D., D'Andrea, F., Fischer, E.M., … y Ziv, B. (2012). Large-Scale Atmospheric Circulation Driving Extreme Climate Events in the Mediterranean and its Related Impacts. In P. Lionello (Ed.), *The Climate of the Mediterranean Region* (pp. 347-417). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00006-9

Yair, A. y Kossovosky, A. (2002). Climate and surface properties: hydrological response of small arid and semi-arid watersheds. *Geomorphology*, 42, 43-57. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00072-1

Yair, A. y Raz-Yassif, N. (2004). Hydrological processes in a small arid catchment: scale effects of rainfall and slope length. *Geomorphology*, 61, 155-169. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.12.003