

Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante

*Increase of flooding episodes due to hourly intensity rainfall in
Central Sector of Spanish Mediterranean Sea Coast:
analysis of trends in Alicante*

JORGE OLCINA CANTOS

Universidad de Alicante

jorge.olcina@ua.es

RESUMEN

Los episodios de inundación registrados en localidades del litoral mediterráneo español en los últimos años muestran unos rasgos dignos de análisis. Se trata de eventos donde no son necesarias cantidades enormes de lluvia diaria para ocasionar elevados daños económicos y pérdida de vidas humanas. Asimismo, se manifiesta una pérdida en la regularidad estacional de aparición de este tipo de episodios, puesto que se han desarrollado eventos importantes en meses no otoñales, dentro del calendario de riesgo de lluvias abundantes en la fachada este peninsular. Se analiza el episodio de inundaciones ocurrido en marzo de 2017 en la ciudad de Alicante, como ejemplo de este tipo de situaciones que está siendo más frecuente últimamente en esta región. Se avanza un programa de medidas de adaptación que es necesario desarrollar en las ciudades del litoral mediterráneo para reducir los efectos actuales y futuros de estos episodios

Palabras clave: lluvias intensas, inundaciones, litoral mediterráneo, cambio climático.

ABSTRACT

Flood episodes recorded in localities of the Spanish Mediterranean coast, in last years, show some interesting characteristics for its analysis. These are events where huge amounts of daily rainfall are not required to cause high economic damage and loss of human lives. There is a loss in the seasonal regularity of occurrence of this type of episodes, since important events have been developed in non-autumn months, within the risk calendar of abundant rains on this geographical area. This paper analyzes the episode of floods occurred in March 2017 in the city of Alicante, as an example of this type of situation that is being more frequent lately in this region. The paper proposes a series of adaptation measures that must be developed in cities along the Mediterranean coast to reduce the current and future effects of these episodes.

Keywords: hourly intense rain, floods, Mediterranean coast, climate change.

1. INTRODUCCIÓN: DE LAS PRECIPITACIONES TORRENCIALES A LAS LLUVIAS INTENSAS EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO

Diversos estudios (CEDEX, 2012; Marcos García y Pulido Velázquez, 2017; Serrano Notivoli, 2017) han señalado, en los últimos años, el desarrollo de cambios en las precipitaciones ocurridas en el conjunto de la península Ibérica que, por lo común, muestran tendencias de descenso en las lluvias, si bien no uniforme y ni de igual cuantía en todo el territorio español; e igualmente se destaca el incremento en las intensidades de precipitación que resulta notorio en el litoral mediterráneo.

La irregularidad interanual e intraanual de las lluvias es un rasgo propio de la precipitación mediterránea. Y junto a ello la concentración de las mismas en corto espacio de tiempo. Este es un aspecto destacado a efectos de planificación territorial, y especialmente, de las infraestructuras de evacuación de aguas necesarias en entornos urbanos, a efectos de reducir el riesgo de inundaciones. Junto a los climas del ámbito tropical, debido a la génesis de ciclones tropicales o de lluvias de tipo monzónico, el litoral mediterráneo español es una de las áreas geográficas más estacadas del mundo en el registro de intensidades diarias y horarias de las precipitaciones.

Los episodios de inundación significativos, con pérdidas económicas importantes y víctimas humanas, ocurridos desde 1950 han tenido como causa el desarrollo de jornadas de precipitaciones torrenciales, con registro de valores muy elevados de precipitación, generalmente por encima de 200 mm. en 24 h. Los registros oficiales de lluvia en 24 h. en el territorio del litoral mediterráneo español ofrecen valores record por encima de 300 y 400 mm. Pero hay localidades que han superado ampliamente este dato, duplicando o triplicando ese volumen de precipitación diaria acumulada. Todos ellos han ocurrido en condiciones de tiempo atmosférico muy inestables (aire frío en capas altas –vaguadas, gotas frías–). La relación de valores de lluvia extrema, por encima de 400 mm/24 h., en el litoral mediterráneo español se recoge en la tabla adjunta (Tabla I).

El espacio geográfico más afectado por estos sucesos de torrencialidad pluviométrica es el área comprendida entre el norte de la provincia de Alicante y sur de Valencia (comarcas de La Marina Alta y La Safor), no obstante se encuentran valores muy elevados de acumulación de lluvias en 24 h. en el litoral mediterráneo andaluz, Baleares y Cataluña. De manera que ningún área de la franja este peninsular queda libre de la posibilidad de lluvias muy abundantes en condiciones de elevada inestabilidad atmosférica, si bien los condicionantes geográficos (presencia de relieves, trazado de la línea de costa en relación con los vientos dominantes en condiciones de inestabilidad), matizan las cuantías que se pueden registrar.

Tabla I. Valores extremos de lluvia por encima de 400 mm/24 h. en el litoral mediterráneo español

FECHA	LOCALIDAD	PRECIPITACIÓN en 24 h. (mm)
20 octubre de 1982	Casas del Barón (Valencia)	1.121 (estimado)
2 octubre de 1957	Xàbia (Alicante)	871 (no reconocido)
3 noviembre de 1987	Oliva (Valencia)	817
4 noviembre de 1987	Pobla del Duc (Valencia)	790
3 noviembre de 1987	Gandía (Valencia)	720
20 octubre de 1982	Bicorp (Valencia)	632
19 octubre de 1973	Albuñol (Granada), Zurgena (Almería)	600
22 octubre de 1959	Escorca, son Torrella (Mallorca)	536
11 septiembre de 1998	Tavernes de Valldigna (Valencia)	520
4 noviembre de 1987	Sucamarcer (Valencia)	520
11 septiembre de 1996	Benifairó de Valldigna (Valencia)	500
29 septiembre de 1940	Escorca, Gorg Blau (Mallorca)	460
10 octubre de 1994	Alforja (Tarragona)	450
14 octubre de 1986	Cadaqués (Girona)	430
20 octubre de 1982	Cofrentes y Jalance (Valencia)	426
3 noviembre de 1987	Denia (Alicante)	425
12 octubre de 2007	Alcalalí (Alicante)	416
7 mayo de 1982	Vall de Gallinera (Alicante)	412
6 noviembre de 1983	Alginet (Valencia)	410
1 octubre de 1957	Cabo de San Antonio (Alicante)	409

Fuente: AEMET, Gil Olcina y Olcina Cantos (2017). Elaboración propia.

No obstante, la posibilidad de disponer, en los últimos años, de registros horarios de precipitación, con la instalación de pluviómetros o pluviógrafos de intensidad, de la red estatal de observación meteorológica o de los sistemas de información hidrológica en las demarcaciones hidrográficas españolas, ha permitido conocer con mayor detalle la tipología de lluvias que acontecen en eventos de inundación. Hay un dato realmente sorprendente de lluvia máxima diaria en el Sureste Ibérico, que corresponde al estimado en la célebre Riada de Santa Teresa, durante la noche del 14 al 15 de octubre de 1879. Como indica Gil Olcina (1993), en la cuenca del río Vélez, uno de los afluentes del río-rambla Guadalentín, se habría recogido más de 600 mm en una hora. La localidad de Sueca (Valencia) tiene anotada la intensidad más elevada de España en un intervalo de 2 horas y 30 minutos (296 mm, 23 de septiembre de 2008). En 20 minutos, la estación del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) ubicada en la localidad valenciana de Manuel registro 90,6 mm el 1 de agosto de 1993. Y en tan sólo 1 minuto, la intensidad más elevada anotada en España corresponde a la localidad de Montserrat (Valencia) el 10 de octubre de 2008 (10,2 mm).

Serrano Notivoli (2017) en su estudio sobre las precipitaciones en España ha señalado una tendencia negativa significativa en el análisis de la precipitación máxima anual en un día en toda la península Ibérica, para el período 1950-2012. Esto quiere decir que se acumula menos cantidad de precipitación total en los eventos más extremos. Sin embargo, encuentra tendencia positiva en la contribución de la precipitación intensa a los totales anuales acumulados, lo que viene a señalar que los episodios de lluvia intensa son más frecuentes aunque la cuantía acumulada en ellos sea menor. Esto se corresponde con el análisis efectuado en este trabajo para el caso de Alicante (vid. apartado 3).

En el estudio sobre extremos de lluvia en España, para el período 1805-2014, elaborado por Gonzalez y Bech (2017) se muestra cómo los valores más elevados de precipitación en corto intervalo de tiempo –entre 10 y 60 minutos- se han registrado en las últimas dos décadas mientras que los datos record de lluvia torrencial (por encima de 300 mm.) anotados en algún observatorio de la red nacional de AEMET son anteriores a 1990. Es decir, no se ha batido en los últimos veinte años ningún record de cuantía máxima absoluta, pero si se han hecho más frecuentes los valores de precipitación de intensidad en corto intervalo de tiempo. Destaca, asimismo, el hecho de que estos valores record de lluvia por debajo de 60 minutos se han anotado en estaciones meteorológicas situadas en el litoral mediterráneo o en Canarias.

A efectos del presente estudio, se entiende por precipitaciones “intensas” a aquellos registros de lluvia entre 20 y 100 mm. acumulados en un máximo de dos horas. En esta categoría es posible individualizar aquellos eventos de cuantía menor pero de muy elevada intensidad que comprenden las lluvias entre 20 y 50 mm. registradas en tan sólo una hora. Por lluvias “torrenciales” se entiende a aquellos volúmenes superiores a 100 mm. acumulados en 24 h., con intensidades horarias más moderadas. Para el análisis de los primeros es necesario disponer de pluviómetros de intensidad horaria; para los segundos, de totalizadores de lluvia diaria.

En estos tres casos, se trata de valores de intensidad horaria de las precipitaciones que deben conocerse a efectos de calibrar la capacidad de evacuación de las redes de drenaje urbano en las ciudades del litoral mediterráneo y aunque resultan realmente elevados y suponen un indudable encarecimiento de las obras de avenamiento urbano, son valores de salvaguarda de la vida humana y de evitación de elevadas pérdidas económicas para estos espacios urbanos.

Debe tenerse en cuenta, además, que este aspecto del incremento de la intensidad horaria de las precipitaciones, si se confirman los modelos de cambio climático, será un rasgo destacado de las precipitaciones en esta parte de España en las próximas décadas (IPCC, 2014; AEMET, 2015).

2. LAS CAUSAS POSIBLES: EL PAPEL DEL CALENTAMIENTO DE LA CUENCA OCCIDENTAL DEL MAR MEDITERRÁNEO

Desde que se publicó el primer Informe de cambio climático elaborado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 1988) hasta el momento actual, después de tres décadas de investigación de la hipótesis de cambio climático por efecto invernadero, hay una serie de manifestaciones en la atmósfera terrestre, cuya negación resulta cada vez más difícil:

- El incremento de temperaturas que se ha registrado en las tres últimas décadas no encuentra explicación, sólo, por causas exclusivamente naturales (radiación solar). Hay otro factor que está alterando el funcionamiento “normal” del balance energético del planeta, al originar una incentivación del poder calorífico de la radiación de onda larga, originada en la superficie terrestre y marina que no sale a la atmósfera exterior porque queda confinada en los primeros kilómetros de la atmósfera. Y este hecho está en relación con la presencia de gases primarios procedentes de la actividad económica humana (CO₂, óxido nítrico, metano) y depositados en la atmósfera o de la interacción de éstos con otros gases cuya contribución real al balance energético planetario sigue siendo una incertidumbre, como el ozono troposférico.
- Una atmósfera que pierde su equilibrio térmico y se vuelve más cálida o más fría es una atmósfera que registra procesos de reajuste energético más violentos; esto es, los tipos de tiempo cambian con más rapidez e intensidad. Se hace más frecuente la génesis de situaciones de rango extraordinario. Esto es especialmente notable en las latitudes medias al ser el escenario de desarrollo de los movimientos de expansión de las masas de aire frías (de norte a sur) y cálidas (de sur a norte).
- Desde 1980, las temperaturas han subido más en latitudes medias y altas que en las intertropicales, y especialmente, en el hemisferio norte. Ello se refleja tanto en los registros instrumentales de los observatorios como en las termografías realizadas a partir de datos de satélite.

La cuenca del Mediterráneo es una de las áreas mundiales donde se estima que puedan ser más evidentes los cambios en las condiciones climáticas durante las próximas décadas. La subida de temperaturas y el descenso de precipitaciones obliga a tomar medidas para la adaptación para reducir el desconfort térmico previsto y la reducción de recursos de agua convencional que traería consigo una disminución de las lluvias. El estudio sobre “*Proyecciones climáticas para el siglo XXI*” (Aemet, 2015), actualización de las proyecciones elaboradas en 2011, ha manejado tres variables (temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación) en el análisis de la evolución modelizada del clima en España para las próximas décadas. Los resultados vienen a confirmar los datos

apuntados en informes anteriores de la propia Agencia Estatal y de la Oficina Española de Cambio Climático. Para el conjunto peninsular, el incremento en las temperaturas máximas en 2100 se estima entre 1° y 7°C para diferentes escenarios de emisión de gases; en las temperaturas mínimas el aumento se cifra entre 1° y 6° C; y, por su parte, las precipitaciones se reducirían entre un 4 y 8 % respecto a las medias del período 1961-2000, con un margen de incertidumbre del 10%.

Es interesante destacar los valores de diferentes variables térmicas y pluviométricas calculados en este informe, con horizonte 2100, para las regiones del litoral mediterráneo, puesto que de su evolución futura va a depender la planificación de la temporada turística y la propia planificación hidrológica, básica para la garantía de suministro a las áreas turísticas de este gran espacio regional. La Tabla II resume los valores de cambio en las variables de precipitación principales para los territorios de la fachada mediterránea peninsular. El clima en el litoral mediterráneo español, si se cumplen estas previsiones, perderá confort y se incrementarán los eventos extremos de temperatura y precipitación.

Tabla II. Cambios en las precipitaciones¹ de las regiones del Mediterráneo español (RCP 4,5, 6 y 8,5.horizonte 2100)

	CATALUÑA	BALEARES	C. VALENCIANA	MURCIA	ANDALUCIA
Cambio volumen precipitación (%)	-1 a +5	-10 a -20	-7 a -10	-12 a -20	-15 a -25
Cambio precipitaciones intensas (%)	3 a +5	+2 a +7	+2 a +5	+5 a +10	+5 a +10
Duración períodos secos (días)	+1 a +3	+5 a +10	+3 a +10	+5 a +20	+5 a +15
Nº días de lluvia (días)	+1 a -2	-8 a -20	-5 a -12	-7 a -15	-10 a -20

Fuente: AEMET. *Proyecciones climáticas para el s. XXI*. Elaboración propia.

Un aspecto que guarda estrecha relación con el comportamiento térmico y pluviométrico reciente en el litoral mediterráneo, es la temperatura del agua del mar registrada frente a las costas del este peninsular. Se ha comprobado un calentamiento de las aguas del Mediterráneo occidental en los meses cálidos del año prolongándose, asimismo, el

1 Modelización AR5. Regionalización estadística regresión. La interpretación de estas variables se encuentra en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos/ayuda. (Consultado en junio 2017).

período de temperaturas elevadas, por encima de 23 °C, hacia los extremos de los meses centrales de verano, esto es, en mayo-junio y septiembre-octubre. Para el conjunto de la cuenca del Mediterráneo, se ha estimado un incremento absoluto de 0,22 °C por década, desde 1973 a 2008 (Skiriris *et al.*2012). Shaltout y Omstedt (2014) han señalado que el sector marítimo del mar Balear es el que ha experimentado un aumento de temperatura más acusado en la cuenca occidental del Mediterráneo, entre 1982 y 2012, con una tendencia de aumento de 0,033° C/año. Por su parte, Miro Pérez (2014) a partir del uso de datos de satélite pertenecientes a la base de datos de la NOAA/NASA AVHRR *Oceans Pathfinder*, ha calculado el incremento térmico en las aguas del litoral próximo a la Comunidad Valenciana, para el período 1985-2007, estimando una pendiente anual por década de 0,26 °C de incremento (Tabla III). Lo más significativo de su análisis es que la responsabilidad del calentamiento recae especialmente en los meses de primavera e inicio de verano (abril a junio) y, en menor medida, octubre. Se confirma así la tendencia no sólo al aumento de temperatura de las aguas marinas los meses centrales del verano, sino a la prolongación señalada del período anual con aguas cálidas frente a las costas del mediterráneo español (Fig. 1).

Tabla III. Incremento de temperatura en las aguas del Mediterráneo occidental frente a la Comunidad Valenciana (1985-2007)

	Pendiente Sen en °C/década	Magnitud absoluta de cambio entre 1985 y 2007 (según pendiente Sen) en °C
ENERO	0,16	0,36
FEBRERO	0,17	0,39
MARZO	0,21	0,47
ABRIL	0,54	1,24
MAYO	0,68	1,57
JUNIO	0,68	1,57
JULIO	0,40	0,92
AGOSTO	0,11	0,25
SEPTIEMBRE	-0,11	-0,26
OCTUBRE	0,21	0,49
NOVIEMBRE	0,08	0,18
DICIEMBRE	0,07	0,16
AÑO	0,26	0,61

Fuente: Miró Pérez, 2014.

A efectos de confort climático en áreas turísticas del litoral mediterráneo resulta significativo el aumento que se prevé del número de días cálidos, de noches cálidas y duración de las olas de calor en todas las regiones del mediterráneo español. Se trata de

variables que, unidas a valores de humedad atmosférica altos, se relacionan con la génesis de sensaciones térmicas de discomfort. Ello, unido al calentamiento de las aguas del Mediterráneo occidental los meses cálidos del año, puede suponer una pérdida de calidad térmica (confort) los meses centrales de verano. Y esta presencia de aguas más cálidas frente a las costas del Mediterráneo español a lo largo del año supone también el aumento de la peligrosidad de formación más frecuente de tormentas intensas en meses estivales del año, cuando el calendario de riesgo de este tipo de episodios se limitaba, hasta finales del siglo pasado, a los meses tardo-estivales o propiamente otoñales.

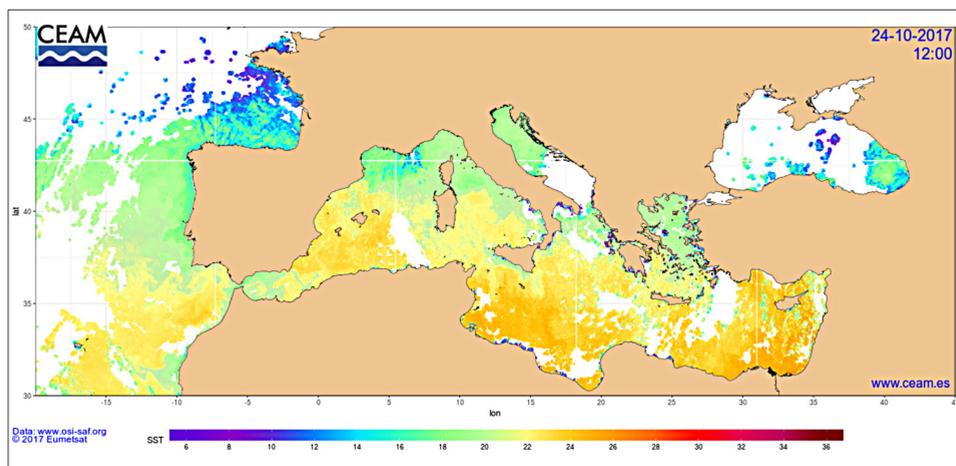


Figura 1. Temperatura superficial marina (TSM) en el Mediterráneo occidental. 24 octubre 2017. (Prolongación hacia el otoño del período de altas temperaturas del mar frente al sector central del litoral mediterráneo español). Fuente: Ceamet.

En relación con la evolución reciente de las precipitaciones y de planificación hidráulica y territorial en el litoral mediterráneo español es necesario destacar dos aspectos de gran importancia:

- Se ha comprobado un incremento de precipitaciones en otoño en la mitad este peninsular. Esto quiere decir que las lluvias de primavera, pierden peso en el reparto anual de precipitaciones y, por contra, gana importancia la cuantía de lluvias acumulada en los meses de otoño. Es uno de los indicadores de cambio climático que está manifestando la fachada mediterránea peninsular en las últimas décadas (De Luis et al., 2010).
- Asimismo, para algunos ámbitos de planificación hidrológica, como el Júcar o Segura, analizando tendencias recientes de precipitación, se comprueba que las lluvias se reducen en la cabecera de estas cuencas hidrológicas mientras manifiestan una tendencia al aumento en las áreas litorales de estos ámbitos (Miró

Pérez, 2014). Esto tiene una importancia destacada puesto que los aportes de cabecera en las cuencas hidrográficas mediterráneas son fundamentales para garantizar el ciclo hidrológico anual (Fig. 2).

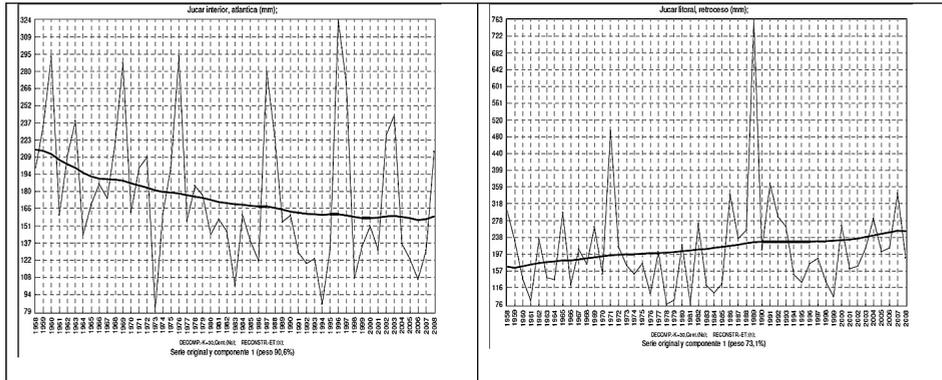


Figura 2. Cambios en los patrones “territoriales” de precipitación en la demarcación hidrográfica del Júcar (1958-2010).

Fuente: Miró Pérez (2014).

Ambos aspectos hablan de una menor efectividad de las lluvias frontales procedentes de borrascas atlánticas que cruzan las tierras peninsulares y, por el contrario, de una tendencia al aumento de las lluvias “mediterráneas” de otoño, de carácter más espasmódico y torrencial, que las hace menos aprovechables a efectos de planificación del agua y su uso para abastecimiento, con las actuales infraestructuras hidráulicas existentes. Y obliga a pensar en actuaciones que vayan adaptándose a este carácter, menos regular y más torrencial, de las lluvias.

En la Comunidad Valenciana una reciente modelización de precipitaciones señala una reducción de lluvias significativa en gran parte de su territorio y singularmente en los meridionales (Miró y Olcina, 2016). No obstante, se muestra una tendencia futura al aumento de lluvias en el ámbito geográfico que, por lo general, más precipitaciones anuales recibe (comarcas meridionales de la provincia de Valencia y septentrionales de la de Alicante). La figura adjunta muestra la evolución prevista en las precipitaciones en el territorio valenciano, con horizonte 2100 (Fig. 3).

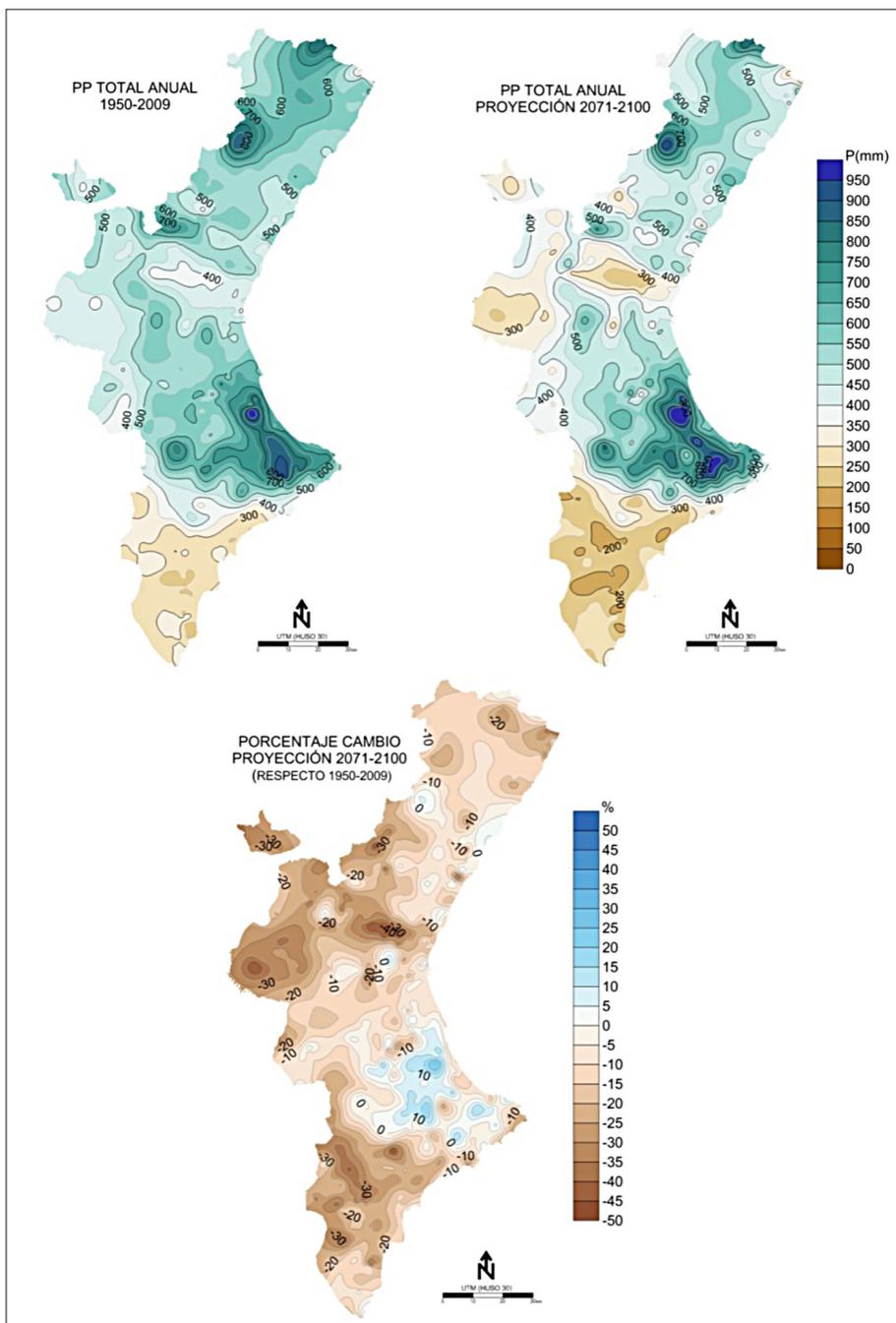


Figura 3. Precipitaciones en la Comunidad Valenciana (1950-2009) y proyección futura con horizonte 2017-2100 (escenario RCP 4.5)

Fuente: Miró y Olcina, 2016.

3. INCREMENTO DE INUNDACIONES POR LLUVIAS INTENSAS EN ALICANTE. EL EPISODIO DE 13 DE MARZO DE 2017

Diversas localidades del litoral mediterráneo español han registrado episodios de inundación en los últimos años, que han tenido como causa el desarrollo de lluvias intensas, cuya cuantía oscila entre 50 y 150 mm., que han precipitado en apenas 60-90 minutos. Como datos últimos, las ciudades de Málaga (56 mm. en 1 hora) y Girona (53 mm. en 30 min.) registraron pérdidas económica elevadas por efecto de este tipo de eventos de lluvia intensa con inundaciones, en diciembre de 2016 y junio de 2017, respectivamente. Asimismo, la ciudad de Alicante registró en marzo de 2017 un episodio de lluvia intensa, con origen en un embolsamiento de aire frío en capas altas (gota fría) en un momento del año poco proclive a este tipo de eventos (invierno), que causó anegamientos e inundaciones, favoreciendo la puesta en marcha de las obras de prevención de riadas que se han ido desarrollando en el término municipal tras el grave suceso de 30 de septiembre de 1997 (Fig. 4).

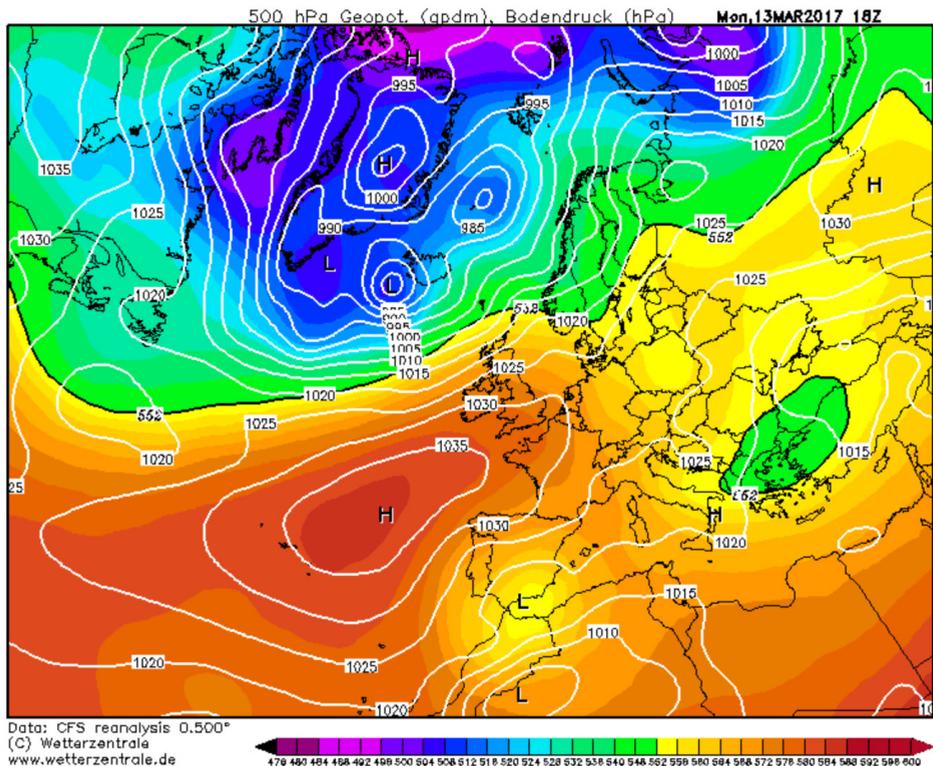


Figura 4. Situación atmosférica (superficie y 500 hPa) de 13 de marzo de 2017 causante del episodio de lluvias de elevada intensidad horaria en la ciudad de Alicante.

Fuente: wetterzentrale.de /CFS Reanalysis.

La ciudad de Alicante ha padecido reiterados episodios de inundación en su trama urbana y en el término municipal en las últimas décadas. Destacan los eventos de octubre de 1982 y septiembre de 1997, que causaron graves daños económicos y pérdida de vidas humanas. En ambos casos, las lluvias acumuladas superaron los 200 mm. en 24 h. En la serie de episodios de inundación relevantes ocurridos en la ciudad desde mediados del siglo XX, se comprueba que, desde 1980, salvo los dos eventos señalados, la ciudad se ve sometida a anegamientos importantes e inundaciones con lluvias intensas que no superan, o lo hacen ligeramente, los 100 mm/24 h. Realmente, se trata de lluvias horarias, donde las máximas cuantías se acumulan en apenas 60-90 minutos (Tabla IV).

Tabla IV. Episodios de lluvias intensas con efectos de anegamiento e inundación en la ciudad y término de Alicante, entre 1950 y 2017

FECHA	PRECIPITACIÓN ACUMULADA (mm)
15 de octubre de 1962	133,8 mm.
15 de septiembre de 1963	40,9 mm.
8 de octubre de 1966	88,5 mm.
4 de octubre de 1969	65,1 mm.
19 de octubre de 1972	52,7 mm.
9 de noviembre de 1978	73,3 mm.
20 de octubre de 1982	233,1 mm.
4 de noviembre de 1987	92 mm.
5 de septiembre de 1989	133,6 mm.
30 de septiembre de 1997	270,3 mm.
3 de mayo de 1999	35 mm.
23 de octubre de 2000	55,4 mm.
21 de septiembre 2007	90,4 mm.
11 y 12 de octubre 2007	49,7 mm. y 42,1 mm.
28 de septiembre 2009	131 mm.
18 de noviembre de 2012	55,2 mm.
13 de marzo de 2017	137,4 mm.

FUENTE: AEMET. Observatorio de Alicante. (Ciudad Jardín).

Del análisis de episodios de lluvia registrados en la ciudad de Alicante, superiores a 20 mm., en el período cronológico comprendido entre los años 1977 y 2016, y a partir de la clasificación de eventos de precipitación “intensa” y “torrencial” realizada (vid. supra apartado 1), es posible destacar los siguientes aspectos:

- La evolución de los episodios de aguaceros cortos e intensos muestra un descenso en su número entre 1977 y 2006, con un repunte realmente significativo durante la última década, con 40 episodios de lluvia entre 20 y 50 mm. registrados.

- Por lo que atañe a los episodios entre 50 y 100 mm., se produce una disminución significativa durante el período de 1987-1996, y a partir de esa década se inicia un aumento en el número de estas situaciones en la ciudad de Alicante.
- Para los episodios de lluvias torrenciales (>100 mm./24 h.) no hay una tendencia definida (Fig. 5).

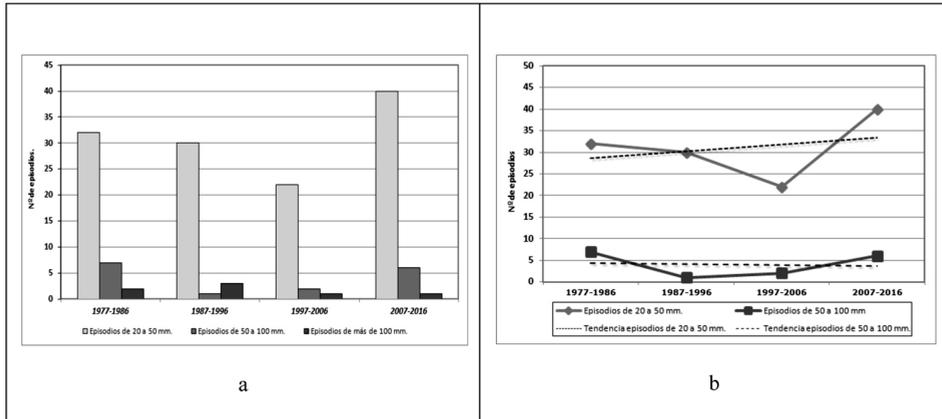


Figura 5. Evolución y tendencia de los episodios de precipitaciones de intensidad horaria en Alicante (1977-2016).

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

3.1. El episodio de lluvias intensas de 13 de marzo de 2017 en la ciudad de Alicante

Desde las inundaciones de septiembre de 1997, la ciudad de Alicante no había registrado un episodio de cuantía y concentración de lluvias importante, para poner a prueba el conjunto de obras de drenaje urbano desarrolladas en las últimas dos décadas. En marzo de 2017, el día 13, se desarrolló un episodio de lluvias torrenciales sobre la ciudad y término de Alicante que permitió evaluar la bondad de las actuaciones llevadas a cabo para reducir el riesgo de inundaciones.

Se trató de un evento singular puesto que no es frecuente que en un mes de invierno se desarrollen lluvias tan intensas. No obstante, debe explicarse su génesis en el contexto de un otoño-invierno 2016-17 algo anómalo en lo atmosférico en la fachada mediterránea española y especialmente en su mitad meridional, con la ocurrencia de eventos de lluvia torrencial con una frecuencia poco común (Málaga, Murcia, Alicante, sur de Valencia). Fue la consecuencia del reajuste atmosférico debido a la finalización de un evento muy intenso de El Niño en el Pacífico y el inicio de una fase positiva de la oscilación nortatlántica (NAO) que favorece la génesis reiterada de situaciones de elevada inestabilidad en esta parte de España y que suele relacionarse con fases negativas de la oscilación del Mediterráneo Occidental (Krichak et al., 2014; Martín Vide y López Bustins, 2006). Se

trata de una situación similar a la registrada en el otoño-invierno de 1989-90, cuando tuvo lugar una reducción muy significativa de precipitaciones en la mitad norte de la península Ibérica y, por el contrario, se registraron lluvias por encima de lo normal en la fachada mediterránea española (Olcina Cantos, 2001).

En definitiva, el episodio de lluvias torrenciales de 13 de marzo de 2017, sin alcanzar la cuantía de las lluvias registradas en octubre de 1982 y de septiembre de 1997, supuso el tercer registro de lluvia en 24 h. más elevado registrado en la ciudad de Alicante, con un valor de intensidad horaria muy destacado. El propio observatorio de Alicante (Ciudad Jardín) anotó un volumen de 136,6 mm. a lo largo de toda la jornada. No obstante, el momento de mayor intensidad de lluvia ocurrió entre las 18 y 21 h. (hora civil) de dicha jornada, cuando se acumuló el 65 % de la lluvia total registrada en ese día (83 mm). De ahí que se pueda caracterizar como un episodio de lluvias intensas y no tanto torrenciales, debido a que la cantidad acumulada se anotó en apenas dos horas.

La cuantía e intensidad de la lluvia caída en este espacio geográfico el 13 de marzo de 2017 tuvo como efecto la salida de barrancos y ramblizos que se ubican en la comarca de L'Alacantí y la formación de áreas de encharcamiento en zonas bajas del área afectada por la tormenta. De manera que su desarrollo ha servido para realizar diagnóstico de la efectividad de las actuaciones de drenaje realizadas en la ciudad desde 1997.

Se trata de un evento de elevada intensidad horaria, que supuso la acumulación de una cantidad importante de agua en poco intervalo de tiempo. Los valores de lluvia registrada en la estación automática del observatorio de Alicante-Ciudad Jardín, muestran una alta concentración de lluvia en la tarde del 13 de marzo (Tabla V).

Tabla V. Valores horarios de precipitación en Alicante (Ciudad Jardín) durante el episodio de 13 de marzo de 2017

FECHA	P (00-24 h.)	P (00-06 h.)	P (06-12 h.)	P (12-18 h.)	P (18-24 h.)
13 de marzo de 2017	137,4 mm.	21,4 mm.	8,4 mm.	24,6 mm.	83 mm.

Fuente: AEMET. Observatorio de Ciudad Jardín (Alicante).

En otras localidades de la comarca los valores de lluvia en 24 h. anotados por estaciones pertenecientes a aficionados (AVAMET², Meteoclimatic³) o entidades públicas oficiales, pero no integrados en la red de observatorios de AEMET, fueron asimismo muy elevados:

- San Vicente del Raspeig: 171 mm.
- Laboratorio de Climatología (Universidad de Alicante): 200 mm.

2 Disponible en el enlace: www.avamet.org

3 Disponible en el enlace: www.meteoclimatic.net

- Agost: 139,3 mm.
- Alicante (cabo de las Huertas): 134 mm.
- Alicante (Playa de San Juan): 138 mm.
- San Joan d’Alacant: 127 mm.

El área de mayor concentración de precipitaciones e intensidad horaria de las mismas, en la tarde del 13 de marzo, fue el eje comprendido entre la ciudad de San Vicente del Raspeig-San Joan d’Alacant-Playa de San Juan. En esta franja de territorio, especialmente, en el área entre Sant Joan d’Alacant y la Playa de San Juan es donde se registraron los daños más importantes por anegamiento de viviendas, edificios y locales allí situados. Especialmente problemática, por la acumulación de agua registrada, resultó la zona entre el Hospital de San Juan y el área residencial del “Hoyo 1” de la Playa de San Juan, así como la franja costera de la misma Playa de San Juan, en el sector septentrional de la avenida de la Costa Blanca.

Por su parte, los datos proporcionados por los pluviómetros que Aguas Municipalizadas de Alicante Empresa Mixta tiene distribuidos en la ciudad arrojan valores similares a los mencionados, observándose cierta diferencia entre la precipitación registrada en el centro de la ciudad, que alcanzó los 143 mm de precipitación acumulada en el período, con intensidades máximas de 140 mm/h, y la medida en la Playa de San Juan, donde se han acumulado hasta 92 mm con una intensidad máxima de 50 mm/h.

Como consecuencia de las citadas precipitaciones, los colectores anti-riadas construidos en la ciudad tras el mencionado episodio de septiembre de 1997, funcionaron con normalidad impidiendo acumulaciones de agua e inundaciones en los sectores urbanos incluidos en su área de influencia. A su vez, las diferentes estaciones de bombeo de aguas unitarias y pluviales distribuidas en la ciudad funcionaron de manera continua, sin paros, llegando a sus niveles máximos de almacenamiento y funcionamiento.

Por su parte, el depósito anti-contaminación ubicado en el barrio de San Gabriel alcanzó su valor máximo de llenado, lo que significa que dicha infraestructura almacenó los 60.000 m³ de aguas unitarias para el que fue diseñado, evitando con ello la llegada de esta cantidad al medio receptor.

La última infraestructura de reducción del riesgo de inundación puesta en marcha en la ciudad, el parque inundable “La Marjal”, ubicado en la playa de San Juan, mostró su eficacia ante lluvias intensas de estas características. En efecto, la balsa inundable de este parque urbano entró en funcionamiento a partir de las 18:00 horas del día 13/03/2017, finalizando su proceso de llenado a las 22:30 horas. En total, el volumen de aguas pluviales almacenado en esta infraestructura alcanzó los 15.500 m³, aproximadamente un 35% de su capacidad de almacenamiento total, lo que constituye el máximo volumen almacenado desde su puesta en servicio en el año 2015 (Fig. 6).



Figura 6. Imágenes del parque inundable de la marjal (Playa de San Juan, Alicante). (*Derecha*, sin agua almacenada. *Izquierda*, después del llenado con 15.000 m³ a consecuencia del episodio de lluvia intensa de 13 de marzo de 2017).

Fuente: Aguas de Alicante.

No obstante, los altos valores de precipitación acumulada a lo largo del día, unido a las altas intensidades de lluvia registradas sobre las 19:40 horas de la tarde, provocaron la aparición de problemas puntuales de evacuación de las aguas pluviales en los puntos bajos y de mayor acumulación de escorrentías, concentrados fundamentalmente en la zona de la playa de San Juan, Avenida de Denia y Albufereta en las proximidades del barranco de Maldo (Fig. 7).



Figura 7. Avenida de Denia cubierta por las aguas de la tromba caída en la tarde del 13 de marzo de 2017. Fuente: Diario Información (Alicante).

En síntesis, el episodio de lluvias intensa de marzo de 2017 puso de manifiesto la bondad de estas obras que han evitado daños importantes en la ciudad y su término municipal. No obstante, se ha manifestado que la evacuación de aguas pluviales en la entrada de la Avda. de Denia (antiguo trazado del barranco de Bon Hivern) requiere de aliviaderos de mayor capacidad bajo el puente del TRAM, junto al centro comercial Plaza Mar 2. Igualmente, este episodio de lluvias confirmó que el sector urbano en torno a la Avda. de Miriam Blasco en el área residencial de la Condomina requiere de actuaciones que mitiguen el nivel de encharcamiento del agua que se alcanza con lluvias superiores a 30

mm. en una hora. Igualmente, el anegamiento que se desarrolló, durante varios días tras el episodio de lluvias en el área de la playa de San Juan comprendida entre la Plaza de la Coruña, la Glorieta de la Democracia y la Avda. de Niza, obligará a desarrollar nuevas actuaciones de evacuación de pluviales en un área compleja por su configuración topográfica (antigua marjal) y proximidad al nivel del mar.

4. CONCLUSIONES

Los extremos atmosféricos del clima mediterráneo suponen un reto para la ordenación territorial y, en particular, para la planificación del ciclo urbano del agua. Las ciudades mediterráneas deben estar preparadas para soportar meses de escasa precipitación y, en sentido contrario, para aguantar lluvias torrenciales que originan anegamientos e inundaciones. Se requiere una planificación hidráulica y territorial “de extremos” que evite la pérdida de vidas humanas y la génesis de pérdidas económicas elevadas a consecuencia de lluvias muy abundantes en corto espacio de tiempo.

Los episodios de precipitación con efectos de inundación en ciudades del litoral mediterráneo, registrados en los últimos años ponen de manifiesto algunos aspectos que deben resaltarse:

- No se puede fijar un periodo fijo y único de lluvias torrenciales en el calendario anual de riesgo de inundación. Este tipo de episodios puede desarrollarse en cualquier época del año y no exclusivamente en otoño como solía ser habitual hasta finales del pasado siglo.
- No son necesarias cantidades desorbitadas de precipitación, por encima de 300 mm/24 h. para ocasionar graves pérdidas económicas o víctimas humanas cuando se desarrollan condiciones de gran inestabilidad atmosférica con descarga de lluvias abundantes. Lluvias entre 50 y 100 mm. que caigan en 60-90 minutos son suficientes para ello.
- No es posible, aún, afirmar que los episodios de lluvia intensa con efectos de inundación ocurridos en la fachada mediterránea española estén estrechamente relacionados con el proceso de calentamiento térmico planetario que se desarrolla en el marco de la actual hipótesis de cambio climático por efecto invernadero de causa antrópica. Lo que sí está comprobado es una subida térmica en la cuenca occidental del mar Mediterráneo, cuya causa est, sin duda, en el calentamiento térmico regional. Este hecho, está en el origen de la intensificación de los procesos de lluvia que se ha registrado, a partir de 2000, en localidades del litoral mediterráneos español.

El posible desarrollo, según indican los modelos de cambio climático, de eventos de lluvia intensa de forma más frecuente en la fachada mediterránea española trae consi-

go una serie de retos para la adaptación de los entornos urbanos y costeros a las nuevas condiciones climáticas. Estos retos de futuro en la planificación urbana y del agua en el litoral mediterráneo en relación con el desarrollo de precipitaciones intensas comprende:

- Construcción de colectores de agua pluvial de gran capacidad
- Adecuación de sistemas tradicionales de alcantarillado a lluvias intensas
- Construcción de depósitos pluviales
- Construcción de espacios públicos (parques, explanadas) inundables
- Sistemas de alerta a las poblaciones (Apps específicas en telefonía móvil)

El litoral mediterráneo, como espacio de riesgo, ha experimentado en las últimas décadas, un incremento de la vulnerabilidad y exposición ante el peligro de lluvias intensas. Las soluciones a esta cuestión deben plantearse y desarrollarse sin dilación para minimizar los impactos actuales de eventos de lluvia abundante y de intensidad horaria. Pero, además, estas condiciones tenderán a agravarse, si se cumplen las previsiones de los modelos de cambio climático para el ámbito mediterráneo, al prever un incremento en los episodios de precipitación intensa; un aspecto que ya se manifiesta en los últimos años y que está originando elevados daños económicos y víctimas humanas en este sector peninsular.

BIBLIOGRAFÍA

- Aemet (Agencia Estatal de Meteorología) (2015): *Proyecciones Climáticas para el siglo XXI en España*. Disponible en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat [Consultado: Junio 2017].
- Casas, M.C.; Rodríguez, R.; Redaño, A. (2010) “Analysis of extreme rainfall in Barcelona using a microscale rain gauge network”, *Meteorological Applications* 17, pp. 117-123. DOI: 10.1002/met.166.
- Cedex (2012) *Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y en las masas de agua*. Informe Técnico para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Centro de Estudios Hidrográficos. Informe Final. Madrid, 46 p.
- De Luis, M.; Brunetti, M.; Gonzalez-Hidalgo, J. C. ; Longares, L.A.; Martin-Vide, J. (2010) “Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005”, *Global and Planetary Change* 74 (1), pp. 27-33.
- Generalitat de Catalunya (2016-17) *Tercer Informe de Canvi Climatic a Catalunya*. Síntesis de los capítulos. 28 p. Disponible en: <http://cads.gencat.cat/ca/publicacions/informes-sobre-el-canvi-climatic-a-catalunya/>
- Gil Olcina, A. (1993) *La propiedad de aguas perennes en el Sureste Ibérico*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 191 p.
- Gil Olcina, A. y Olcina Cantos, J. (2017) *Tratado de Climatología*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 975 p.
- González Herrero, S y Bech, J. (2017) “Extreme point rainfall temporal scaling : a long term (1805-2014) regional and seasonal analysis in Spain : extreme point rainfall temporal scaling in Spain”, *International Journal of Climatology*. DOI: [10.1002/joc.5144](https://doi.org/10.1002/joc.5144)
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (2013-14) *Climate Change 2013 and Climate Change 2014 (3 vols.)* Disponible en : <http://www.ipcc.ch/> (Consultado : febrero 2017)
- Jansà, A.; Campins, J.; Picornell, M.A.; Guijarro, J.A. (2014) “Heavy rain and strong wind events over Spain during HyMeX SOP1”, *Tethys* 11: pp. 25-38. doi: 10.3369/tethys.2014.11.03.
- Krichak, S.O.; Breitgand, J.S.; Gualdi, S.; Feldstein, S.B. (2014) “Teleconnection-extreme precipitation relationships over the Mediterranean region”, *Theor Appl Climatology*, 117, pp. 679-692. DOI: 10.1007/s00704-013-1036-4
- Marcos-García, P. y Pulido-Velázquez, M. (2017) “Cambio climático y planificación hidrológica: ¿Es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?”, *Ingeniería del Agua*, 21,1, pp. 35-52.
- Martin Vide, J. y López Bustins, J.A. (2006) “The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian peninsula”, *Int. J. Climatol*, 26, pp. 1455-1475. DOI: 10.1002/joc.1388

- Meseguer-Ruiz, O.; Olcina, J.; Sarricolea, P.; Martín-Vide, J. (2016) "The temporal fractality of precipitation in mainland Spain and the Balearic Islands and its relation to other precipitation variability indices", *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4744
- Miró Pérez, J.J. (2014) *Downscaling estadístico de series climáticas mediante redes neuronales: Reconstrucción en alta resolución de la temperatura diaria para la Comunidad Valenciana. Interpolación espacial y análisis de tendencias (1948-2011)*. Tesis Doctoral. Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante, Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, y Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia. 523 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2059.1523.
- Miró, J.J.; Estrela, M^a.J.; Caselles, V. y Olcina Cantos, J. (2016) "Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia region, Spain", *Atmospheric Research* 1809, pp. 150-164.
- Monjo, R. (2016) Measure of rainfall time structure using the dimensionless n-index. *Climate Research* 67, pp. 71-86. DOI: 10.3354/cr01359.
- Monjo, R.; Belda, G.; Caselles, V. (2009) "Climatic study of the exponent 'n' in IDF curves: application for the Iberian Peninsula", *Tethys* 6, pp. 3-14. DOI: 10.3369/tethys.2009.6.01.
- Monjo, R.; Gaitán, E.; Pórtoles, J.; Ribalaygua, J.; Torres, L. (2015) "Changes in extreme precipitation over Spain using statistical downscaling of CMIP5 projections", *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4380.
- Monjo R.; Martín-Vide J. (2016) "Daily precipitation concentration around the world according to several indices", *International Journal of Climatology*. DOI:10.1002/joc.4596.
- Olcina Cantos, J. (2001) "Tipología de sequías en España". *Ería* nº 56, pp. 201-227.
- Olcina Cantos, J., (2009) « Hacia una ordenación sostenible de los territorios de riesgo en Europa », en J. Farinós, J. Romero and J. Salom, eds. 2009. *Cohesión e inteligencia territorial. Dinámicas y procesos para una mejor planificación y toma de decisiones*. Valencia, Publicaciones de la Universitat de Valencia, pp. 153-182.
- Olcina Cantos, J. (2013) « Experiences in adapting to Climate Change and Climate Risk in Spain », in *Climate Change Adaptation in practice: from strategy development to implementation* (Philipp Schmidt-Thome and Johannes Klein, eds.), Wiley-Blackwell, pp. 253-268.
- Olcina Cantos, J., Hernández Hernández, M., Rico Amorós, A.M., Martínez Ibarra, E. (2010) "Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain)", *Natural Hazards*, 10, nº 11, pp. 2229-2234.
- Olcina Cantos, J.; Rullán Salamanca, O. (2017) "Consecuencias ambientales de la actividad económica", en *Geografía Humana de España / Romero, J. (coord.) Ed. Tirant Lo Blanch*, pp. 526-641. ISBN: 978-84-16786-65-7.
- Olcina, J.; Sauri, D.; Hernández, M.; Ribas, A. (2016) "Flood policy in Spain: a review for the period 1983-2013", *Disaster Prevention and Management: an International*

- Journal*, vol. 25, nº 1, pp. 41-58. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/DPM-05-2015-0108>).
- Pastor, F., Valiente, J.A., Palau, J.L. (2017). “Sea surface temperature in the Mediterranean climatology, trends and spatial patterns” poster presented in 10th Hymex Workshop in Barcelona (4-7 July 2017), <http://www.ceam.es/VERSUS/publications.html>
- Pérez Morales, A., Gil-Guirado, S. and Olcina-Cantos, J. (2015) “Housing bubbles and the increase of flood exposure. Failures in flood risk management on the Spanish southeastern coast (1975-2013), *Journal of Flood Risk Management* (DOI: 10.1111/jfr3.12207, pp. 1-12.
- Perles Roselló, M.J. (2010) “Apuntes para la evaluación de la vulnerabilidad social frente al riesgo de inundación”, *Baetica*, 32, Universidad de Málaga, pp. 67-87.
- Perles Roselló, M. J. y Cantarero Prados, F. (2010): “Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio: propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 52, pp. 245-271.
- Perles Roselló, M. J. y Mérida Rodríguez, M. (2010): “Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia este de la ciudad de Málaga”, *Scripta Nova* XIV.
- Shaltout, M.; Anders, .O. (2014) “Recent sea surface temperatura trends and future scenarios for the Mediterranean Sea”, *Oceanologia*, 56 (3), pp. 411-443.
- Skirris, N, Sofianos, S, Gkanasos, A, Mantziafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P., Lascatatos, A. (2012) “Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability”, *Ocean Dynam.*, 62 (1) (2012), pp. 13-30. <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-011-0493-5>
- Saurí, D.; Olcina, J.; Vera, J.F.; Martín-Vide, J.; March, H.; Serra-Llobet, A. and Padilla, E (2013): “Tourism, climate change and water resources: coastal Mediterranean Spain as an example”. In: Schmidt-Thome, Philip and Greiving, Stefan (coords.) Schmidt-Thome, Philip and Greiving, Stefan (coords.): *European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A Spatial Planning Perspective*, Willey, pp. 231-252. ISBN: 978-0-470-97741-5.
- Serrano Notivoli, R. (2017) *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones*. Tesis doctoral, inédita. Universidad de Zaragoza. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Zaragoza, 234 pp + anexo cartográfico (inédita).