



Geografía: Cambios, Retos y Adaptación

Actas del XXVIII Congreso de la
Asociación Española de Geografía
Logroño, 12 al 14 de septiembre de 2023

Geografía: cambios, retos y adaptación

Editores:

José Arnáez, Purificación Ruiz-Flaño, Nuria E. Pascual-Bellido, Noemí Lana-Renault, Jorge Lorenzo-Lacruz, Adrián Díez Angulo, Natalia Martín-Hernández, Teodoro Lasanta y Estela Nadal-Romero

LIBRO DE ACTAS
XXVIII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE GEOGRAFÍA
Logroño, 12 al 14 de septiembre del 2023

Geografía: cambios, retos y adaptación

Asociación Española de Geografía (AGE)
Universidad de La Rioja



Todas las comunicaciones han sido sometidas a un proceso de evaluación por miembros del Consejo Científico del XXVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía:

Gabriel Alomar Garau (Universidad de Islas Baleares), M. Pilar Alonso Logroño (Universidad de Lleida), Eugenio Baraja Rodríguez (Universidad de Valladolid), Antonio Bento Gonçalves (Universidade do Minho), Adolfo Calvo Cases (Universidad de Valencia), María Teresa Camacho Olmedo (Universidad de Granada), Rafael Cámara Artigas (Universidad de Sevilla), Erik Cammeraat (Universidad de Ámsterdam), M. Carmen Cañizares Ruiz (Universidad de Castilla-La Mancha), Francisco Cebrián Abellán (Universidad de Castilla-La Mancha), Eugenio Cejudo García (Universidad de Granada), Artemi Cerdà Bolinches (Universidad de Valencia), José María Cuadrat (Universidad de Zaragoza), Rafael de Miguel González (Universidad de Zaragoza), Severino Escolano Utrilla (Universidad de Zaragoza), Javier Esparcia Pérez (Universidad de Valencia), Cayetano Espejo Marín (Universidad de Murcia), Joaquín Farinós Dasí (Universidad de Valencia), José María Fera Toribio (Universidad Pablo Olavide), Felipe Fernández García (Universidad de Oviedo), Robert Fletcher (Universidad de Wageningen), José María García Ruiz (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC), Juan Carlos García Codrón (Universidad de Cantabria), José León García Rodríguez (Universidad de La Laguna), Arlinda García Coll (Universidad de Barcelona), Jacinto Garrido Velarde (Universidad de Extremadura), Isabel María Gómez Trigueros (Universidad de Alicante), José Gómez Zotano (Universidad de Granada), Amelia Gómez Villar (Universidad de León), José Carlos González Hidalgo (Universidad de Zaragoza), María José González Amuchástegui (UNED), Angela Hof (Universität Salzburg), Josep A. Ivars Baidal (Universidad de Alicante), Juan Ignacio López Moreno (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC), Juan Antonio Marco Molina (Universidad de Alicante), Javier Martín Vide (Universidad de Barcelona), Antonio Martínez Puche (Universidad de Alicante), José Martínez Fernández (Universidad de Salamanca), Rafael Mata Olmo (Universidad Autónoma de Madrid), José Ojeda Zújar (Universidad de Sevilla), Jorge Olcina Cantos (Universidad de Alicante), Alfredo Ollero Ojeda (Universidad de Zaragoza), David Palacios Estremera (Universidad Complutense de Madrid), M. Pilar Paneque Salgado (Universidad Pablo Olavide), Emma Pérez Chacón (Universidad de las Palmas de Gran Canaria) Fernando Pérez Cabello (Universidad de Zaragoza), María José Piñeira Mantiñán (Universidad de Santiago de Compostela), Ignacio Plaza Gutiérrez (Universidad de Salamanca), María Cruz Porcal Gonzalo (Universidad del País Vasco), Ángel Pueyo Campos (Universidad de Zaragoza), Jean-Yves Puyo (Université de Pau et des Pays de l'Adour), Joaquín Recaño Valverde (Universidad Autónoma de Barcelona), José María Redondo (Universidad de León), José Alberto Río Fernández (Universidad de Porto), Fermín Rodríguez Gutiérrez (Universidad de Oviedo), María Asunción Romero Díaz (Universidad de Murcia), José Damián Ruiz Sinoga (Universidad de Málaga), Francisca Ruiz Rodríguez (Universidad de Sevilla), Onofre Rullán Salamanca (Universidad de Islas Baleares), Roberto Serrano Notivoli (Universidad Autónoma de Madrid), Enrique Serrano Cañadas (Universidad de Valladolid), José Antonio Sotelo Navalpotro (Universidad Complutense de Madrid), Juan Manuel Trillo Santamaría (Universidad de Santiago de Compostela), Jesús Ventura Fernández (Universidad de Sevilla), Sergio M. Vicente Serrano (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC).

© de la edición: AGE y Universidad de La Rioja, 2023

© de los textos: los/las autores/as

© de las imágenes: los/las propietarios/as

Edita: Asociación Española de Geografía y Universidad de La Rioja

Diseño de cubierta: J. Arnáez

ISBN: 978-84-09-53925-3 (pdf)

DOI: 10.21138/CG/2023.lc

EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN LA PROVINCIA DE ALICANTE (1981-2020)

ESTHER SÁNCHEZ ALMODÓVAR ([id](#))¹
JAVIER MARTÍN VIDE ([id](#))²
JORGE OLCINA CANTOS ([id](#))¹
JAVIER MARTÍ TALAVERA ([id](#))¹

¹*Instituto Interuniversitario de Geografía, Laboratorio de Climatología, Universidad de Alicante, Carr. de San Vicente del Raspeig, s/n, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, Spain*

²*Departament de Geografia, Facultat de Geografia i Història, Laboratori de Climatologia, Universitat de Barcelona, 08001 Barcelona, Spain*

Autor de correspondencia: esther.sanchez@ua.es

Resumen. En el litoral mediterráneo español el análisis de los extremos de precipitación es importante no solo por constituir uno de los principales riesgos naturales, sino también para conocer los posibles efectos del cambio climático en la variable pluviométrica de la región. En esta investigación se analizan temporalmente los eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) registrados en 26 observatorios de la provincia de Alicante entre los años 1981-2020, pertenecientes a la red de observatorios de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que para dicho periodo contienen menos de un 5 % de datos faltantes. El análisis de los extremos de precipitación se realizó utilizando el software Rstudio. Los resultados muestran la variabilidad del número de eventos, así como su evolución temporal. No se puede afirmar que exista una tendencia clara al incremento de estos, debido a que la evolución no presenta significación estadística. No obstante, si se atiende a los resultados de diversos informes y estudios, como el IPCC 2022, en los que se abarca una escala territorial más amplia, las ciudades deben adaptarse a los efectos del cambio climático en la pluviometría, dado que previsiblemente tendrá como consecuencia directa en el futuro próximo una mayor ocurrencia de eventos torrenciales.

Palabras clave: lluvias torrenciales, cambio climático, Alicante, datos diarios, calendario climático.

EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN THE PROVINCE OF ALICANTE (1981-2020)

Abstract. In the Spanish Mediterranean coast, the analysis of precipitation extremes is important not only because they constitute one of the main natural hazards, but also to understand the possible effects of climate change on the pluviometric variable in the region. In this research, the extreme precipitation events (≥ 100 mm/day) recorded in 26 observatories in the province of Alicante between 1981-2020, belonging to the network of observatories of the State Meteorological Agency (AEMET), which for that period contain less than 5% of missing data, are analysed temporally. The analysis of precipitation extremes was performed using the Rstudio software. The results show the variability of the number of events as well as their temporal evolution. It cannot be stated that there is a clear trend towards an increase in the number of events, because the evolution is not statistically significant. However, according to the results of various reports and studies, such as the IPCC 2022, which cover a wider territorial scale, cities must adapt to the effects of climate change on rainfall, as it is expected to have a direct consequence in the near future of a higher occurrence of torrential events.

Keywords: torrential rains, climate change, Alicante, daily data, climate calendar.

1. INTRODUCCIÓN

El sexto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021) determina que el calentamiento global observado de 1,1 °C, respecto a la media de la segunda mitad del siglo XIX, ya ha provocado el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos y meteorológicos extremos, como es el caso de las precipitaciones torrenciales en algunas regiones. Además, un informe previo del mismo organismo prevé que con un calentamiento de 1,5 °C las precipitaciones y las inundaciones asociadas serán más intensas (IPCC, 2018). Según las proyecciones futuras del IPCC (2021, 2022), la zona del Mediterráneo será una de las grandes afectadas por el cambio climático.

El análisis de la precipitación diaria es tarea compleja debido a la elevada variabilidad interanual y la irregular distribución espacial, especialmente en el sureste peninsular (Martín Vide y Olcina Cantos, 2001), pero su análisis es clave para la determinación de los riesgos de origen climático. El área mediterránea se caracteriza por una alta concentración diaria de la precipitación en pocos días al año (Martín-Vide, 2004), dando lugar a eventos extremos (Serrano-Notivoli *et al.*, 2018a). La concentración diaria de la precipitación ha sido ampliamente estudiada por Martín-Vide (2004), Benhamrouche y Martín Vide (2012) y Serrano-Notivoli *et al.* (2018b) para la España peninsular. A escala regional, en la Comunidad Valenciana se han realizado estudios que analizan la distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación (De Luis *et al.*, 1996) y los índices de concentración y agresividad de la misma (De Luis *et al.*, 1997). Benhamrouche y Martín Vide (2011) han puesto de relieve que, en el caso de la provincia de Alicante, la concentración diaria de la precipitación alcanza los valores máximos en su zona litoral.

Por tanto, el estudio de los fenómenos extremos ligados a las precipitaciones es de enorme importancia para la región del litoral mediterráneo español, y concretamente para la provincia de Alicante, siendo de utilidad para analizar su influencia en la disponibilidad hídrica en esta área caracterizada por la aridez, y para estudiar cómo los cambios en la modalidad de precipitación influyen en la planificación hídrica. Además, resulta de interés evaluar las posibles situaciones de riesgo derivadas de eventos torrenciales, el aumento de su potencial erosivo, así como su influencia en la actividad turística, de vital importancia para la situación socioeconómica de la región (Olcina Cantos y Vera-Rebollo, 2016a, 2016b). El cambio en la modalidad de las precipitaciones está relacionado con la reducción de la velocidad media (en un 14 %) de la corriente en chorro polar desde 1980 (Francis y Vavrus, 2012), lo que provoca ondulaciones más frecuentes del *Jet Polar*, siendo las precipitaciones de origen convectivo más frecuentes (Llasat *et al.*, 2021), por la presencia de DANAS en las capas medias-altas de la troposfera, circunstancia que refuerza la hipótesis del aumento de fenómenos meteorológicos extremos en las latitudes medias y, en concreto, en la península ibérica (Olcina y Biener, 2019).

En las últimas décadas, las investigaciones realizadas con base en la precipitación han estado enfocadas en la región valenciana al análisis de los eventos más importantes en el periodo de 1971-1995 mediante técnicas estadísticas de clasificación de patrones de distribución de lluvia torrencial (Peñarrocha *et al.*, 2002) y a la variabilidad espacial de la precipitación con el análisis de una base de datos entre 1964-1993 en la costa peninsular española y Baleares, para evaluar tendencias (Romero *et al.*, 1998). Igualmente, se han estudiado los efectos observados del cambio climático en la intensidad de precipitación en la región mediterránea (Olcina y Biener, 2019), siendo cada vez más numerosos los estudios que se centran en el análisis de la evolución y la tendencia del número de extremos en el litoral mediterráneo español (Estrela *et al.*, 2000; Meseguer-Ruiz *et al.*, 2018; Valdés-Abellán *et al.*, 2017), en general, y en la provincia de Alicante (Moutahir *et al.*, 2014; Olcina Cantos, 2017; Valdés-Abellán y Úbeda Müller, 2020) en particular.

Un rasgo propio de la precipitación mediterránea es la irregularidad interanual e intraanual de las lluvias y su concentración en un corto espacio de tiempo. Esta característica resulta de gran relevancia en la planificación territorial y en la gestión de la escorrentía en medios urbanos (Olcina Cantos, 2017). El problema de la gestión de la escorrentía urbana recobra mayor interés si cabe ante el contexto actual de cambio climático en la cuenca del Mediterráneo occidental, donde el efecto de los extremos pluviométricos ya manifiestos son un eje principal de gestión del agua y adaptación de las áreas urbanas (Olcina Cantos *et al.*, 2018). Medios urbanos que han sido especialmente afectados en el litoral mediterráneo español, donde en los últimos años se han registrados episodios de inundación con lluvias intensas entre los 50 y los 150 mm caídas en apenas 60-90 min. (Ribas Palom *et al.*, 2020).

La presente investigación centra su análisis en la evolución del número de eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) en la provincia de Alicante. Para ello, se han obtenido los datos de precipitación diaria para la serie 1981-2020 de 26 observatorios de la red oficial de AEMET en la provincia de Alicante. Por lo tanto, los objetivos de esta investigación son: a) determinar el número de días de precipitación, según los umbrales establecidos para el periodo de estudio; b) construir calendarios climáticos que representan la variabilidad interanual e intra-anual de los eventos extremos en la provincia; c) estudiar la tendencia estadística en la evolución de los episodios de ≥ 100 mm/día en los 40 años de la serie.

2. DATOS Y MÉTODO

Para la elaboración de este trabajo se han obtenidos los datos de precipitación diaria de los observatorios de la provincia de Alicante procedentes del Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) disponibles para el periodo de análisis del 1 de enero de 1981 hasta el 31 de diciembre de 2020, un lapso de tiempo superior a 30 años, que resulta ser el más conveniente para un área de estudio, como es el sureste peninsular, donde la precipitación presenta una variabilidad mayor que en el resto de la península ibérica (Martín Vide, 2003). Los observatorios utilizados de forma inicial para dicho periodo son 29, todos ellos incluidos en la red climatológica primaria y secundaria de AEMET en la provincia de Alicante (Rodríguez Ballesteros, s. f.). Con el fin de trabajar con las series de datos más completas, se establece que, para que un observatorio goce de validez para el análisis, el porcentaje de datos faltantes en cada una de las series de 40 años no puede ser superior al 5 %. Como se advierte en dicha tabla, los observatorios de Chinorlet-Cases del Señor (Monóvar), El Verger Racons (Dénia) y Sella (Sella) superan el 5 % de datos faltantes, y por tanto no se consideran en el posterior análisis. Este criterio favorece que la base de datos objeto de análisis quede por debajo del 1,5 % de datos faltantes en su conjunto. Para los análisis posteriores se han empleado las series de precipitación diaria de 26 observatorios (Tabla 1) distribuidos por el territorio alicantino (Figura 1).

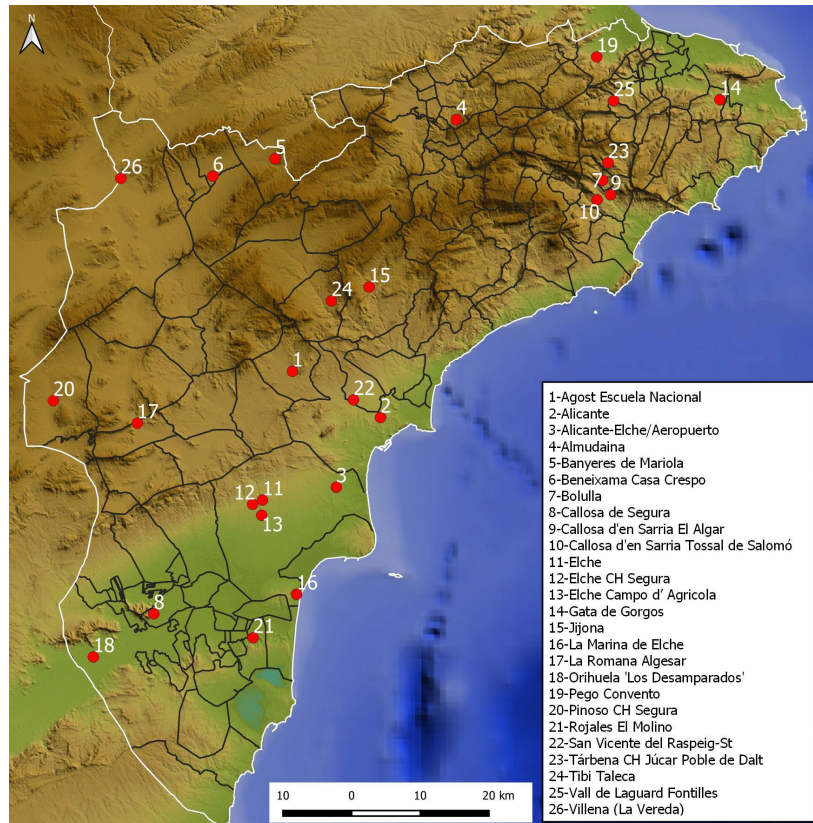
Tabla 1. Código, nombre, coordenadas geográficas, altitud y porcentaje de datos faltantes de los 29 observatorios inicialmente considerados (provincia de Alicante)

Id	Observatorio	Latitud	Longitud	Altitud (m snm)	% valores faltantes
1	Agost Escuela Nacional	38° 26'	0° 38'	306	2,18
2	Alicante	38° 22'	0° 29'	81	0,00
3	Alicante-Elche/Aeropuerto	38° 16'	0° 34'	43	0,07
4	Almudaina	38° 45'	0° 21'	580	0,42
5	Banyeres De Mariola	38° 42'	0° 39'	816	3,54
6	Beneixama Casa Crespo	38° 41'	0° 45'	661	0,68
7	Bolulla	38° 40'	0° 06'	240	4,46
8	Callosa De Segura	38° 07'	0° 52'	18	0,48
9	Callosa D'en Sarria El Algar	38° 39'	0° 05'	95	4,96
10	Callosa D'en Sarria Tossal De Salomó	38° 38'	0° 07'	218	2,01
11	Elche	38° 16'	0° 41'	95	0,67
12	Elche CH Segura	38° 15'	0° 42'	85	1,91
13	Elche Campo D' Agrícola	38° 14'	0° 41'	63	1,68
14	Gata De Gorgos	38° 46'	0° 05'	79	0,81
15	Jijona	38° 32'	0° 30'	484	0,30
16	La Marina De Elche	38° 08'	0° 38'	15	0,57
17	La Romana Algesar	38° 22'	0° 53'	445	1,07
18	Orihuela 'Los Desamparados'	38° 04'	0° 58'	26	1,46
19	Pego Convento	38° 50'	0° 06'	70	0,44
20	Pinoso CH Segura	38° 24'	1° 02'	575	0,79
21	Rojales El Molino	38° 05'	0° 42'	31	1,49
22	San Vicente Del Raspeig-St	38° 23'	0° 32'	115	1,96
23	Tarbena CH Júcar Poble De Dalt	38° 41'	0° 06'	587	0,93
24	Tibi Taleca	38° 31'	0° 34'	538	0,48

25	Vall De Laguard Fontilles	38° 46'	0° 05'	250	4,34
26	Villena (La Vereda)	38° 41'	0° 55'	533	0,08
27	Chinorlet-Cases Del Senyor	38° 24'	0° 57'	578	9,61
28	El Verger Racons	38° 51'	0° 01'	4	6,95
29	Sella	38° 36'	0° 16'	436	6,93

Fuente: Banco Nacional de Datos Climatológicos (BNDC) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
Elaboración propia.

Figura 1. Ubicación geográfica de los observatorios meteorológicos en la provincia de Alicante



Fuente: ICV (cv05) y AEMET. Elaboración propia.

La metodología seguida para el análisis de los umbrales se llevó a cabo mediante el software Rstudio, realizando un filtrado y extracción del número de días con precipitación apreciable por observatorio (mes y año), para obtener el número de días de precipitación con base en los siguientes umbrales:

- Número de días con precipitación $\geq 0,1$ mm
- Número de días con precipitación ≥ 10 mm
- Número de días con precipitación ≥ 30 mm
- Número de días con precipitación ≥ 50 mm
- Número de días con precipitación ≥ 100 mm

Obtenidos los eventos extremos de los 26 observatorios se clasificaron dichos episodios según el mes de ocurrencia, pero, teniendo en cuenta que el mismo evento pudo ser registrado por diversos observatorios de la provincia para una misma fecha, se realizó un filtrado total por año y mes para agrupar aquellos episodios que se repetían en diversos observatorios. De esta manera, se dispone, como resultado final, del número de fechas o días en que se registraron eventos extremos por año y mes, para realizar una evolución temporal anual. De la evolución de extremos en escala temporal anual se calcula la media móvil con el intervalo de 7 en 7, eliminando así las irregularidades no significativas, fruto del azar, pero sin ocultar aquellas que sí presentan comportamientos climáticos significativos (Martín Vide, 2003). Para determinar si existe o no significación estadística en la evolución de los extremos de precipitación,

se aplica el test no paramétrico de Mann-Kendall. Para el cálculo, se ha utilizado el macro Makesens 1.0 desarrollado por el Instituto Meteorológico Finlandés en 2002.

3. RESULTADOS

Si se analizan los datos resultantes de filtrar la base de datos por umbrales de precipitación y año (Tabla 2), obtenemos los días de precipitación registrados por todos los observatorios para el periodo de estudio. Para la clase 0,1-0,9 mm/día fue el año 2010 el que registró mayor número de días de precipitación, 1.465 días para el conjunto de las series. En las siguientes dos clases, 10-29,9 mm/día y 30-99,9 mm/día, es el año 1989 el que cuenta con las cifras máximas, siendo 373 y 86 días, respectivamente. En los umbrales superiores a 50 y 100 mm/día el año que obtuvo mayores registros fue 2019, con 61 y 29 días, respectivamente. En cuanto a las cifras totales hay que destacar que 1989 fue el año que más días de precipitación registró en todos los observatorios, ascendiendo a 1.912 días.

Tabla 2. Número de registros de días con precipitación en el conjunto de observatorios según umbral por años de la provincia de Alicante (1981-2020)

AÑO	P0,1	P10	P30	P50	P100	TOTAL
1981	822	143	28	6	1	1.000
1982	730	217	78	43	8	1.076
1983	621	132	20	8	0	781
1984	982	191	36	6	2	1.217
1985	868	208	33	29	17	1.155
1986	919	166	52	31	23	1.191
1987	964	182	46	32	15	1.239
1988	1.027	301	44	23	6	1.401
1989	1.375	373	86	50	28	1.912
1990	1.132	321	60	26	2	1.541
1991	1.035	193	70	37	3	1.338
1992	932	195	65	37	23	1.252
1993	887	257	61	39	16	1.260
1994	652	168	31	8	2	861
1995	834	152	24	21	1	1.032
1996	984	244	42	11	3	1.284
1997	1.200	267	40	35	23	1.565
1998	782	170	27	12	0	991
1999	936	175	18	5	3	1.137
2000	794	99	25	17	9	944
2001	1.020	298	69	19	2	1.408
2002	1.071	200	40	15	12	1.338
2003	1.018	223	61	30	12	1.344
2004	989	261	41	39	13	1.343
2005	894	166	23	4	0	1.087
2006	944	261	56	20	6	1.287
2007	1.095	332	78	59	20	1.584
2008	1.157	272	65	18	4	1.516
2009	1.108	262	63	38	23	1.494
2010	1.465	255	51	21	5	1.797
2011	1.087	197	52	38	10	1.384
2012	756	200	44	38	11	1.049
2013	771	248	46	16	7	1.088
2014	834	136	20	7	0	997
2015	893	160	45	25	0	1.123
2016	904	206	47	23	11	1.191
2017	666	107	59	49	14	895

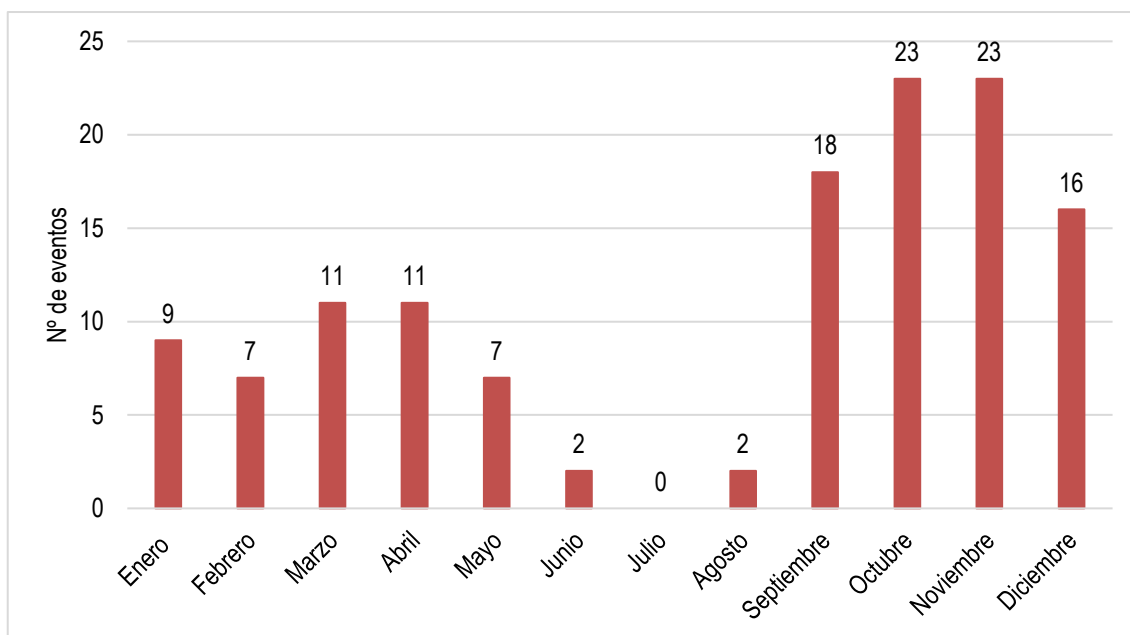
2018	1.224	210	47	32	0	1.513
2019	744	212	61	61	29	1.107
2020	1.073	211	38	20	11	1.353

Fuente: AEMET. Elaboración propia.

En el análisis de eventos extremos se ha estimado conveniente emplear la metodología propuesta por Martín-Vide (2003) relativa a los calendarios climáticos, que tienen como objetivo representar una variable climática con resolución diaria. Con el interés de analizar los episodios extremos, se escogieron los eventos registrados durante todo el periodo de 1981-2020, utilizando como umbral de intensidad ≥ 100 mm/día. La cifra inicial (columna P100 de la Tabla 2) del primer filtrado se corresponde con los eventos ≥ 100 mm/día observados en todas las estaciones meteorológicas. Se obtuvieron 375 registros por encima del umbral, clasificados por observatorio y mes de ocurrencia. El siguiente paso fue depurar los registros totales por fechas, ya que un mismo evento es registrado por varios observatorios en el mismo día, resultando que los 375 registros quedan agrupados en 129 días. Por tanto, para una serie compuesta por 14.610 días, tan solo en 129 días (0,88% del total) se produjeron eventos extremos ≥ 100 mm/día. Aun así, suponen un nada despreciable 3,2 días por año

En cuanto a la distribución mensual, los eventos durante toda la serie se concentran, principalmente, en la época otoñal (Figura 2): septiembre, con 18 extremos, y octubre y noviembre con 23 extremos en cada caso. No se puede afirmar que haya una preponderancia absoluta de estos episodios en la época otoñal, puesto que también destaca el mes de diciembre, con 16 extremos. En primavera destacan los valores de los meses de marzo y abril, con 11 eventos cada uno. Hay que indicar que, para el periodo de 40 años, en ninguno de los 26 observatorios analizados se produjeron eventos extremos durante el mes de julio.

Figura 2. Número de eventos extremos de precipitación (≥ 100 mm/día) por meses para la provincia de Alicante (1981-2020)



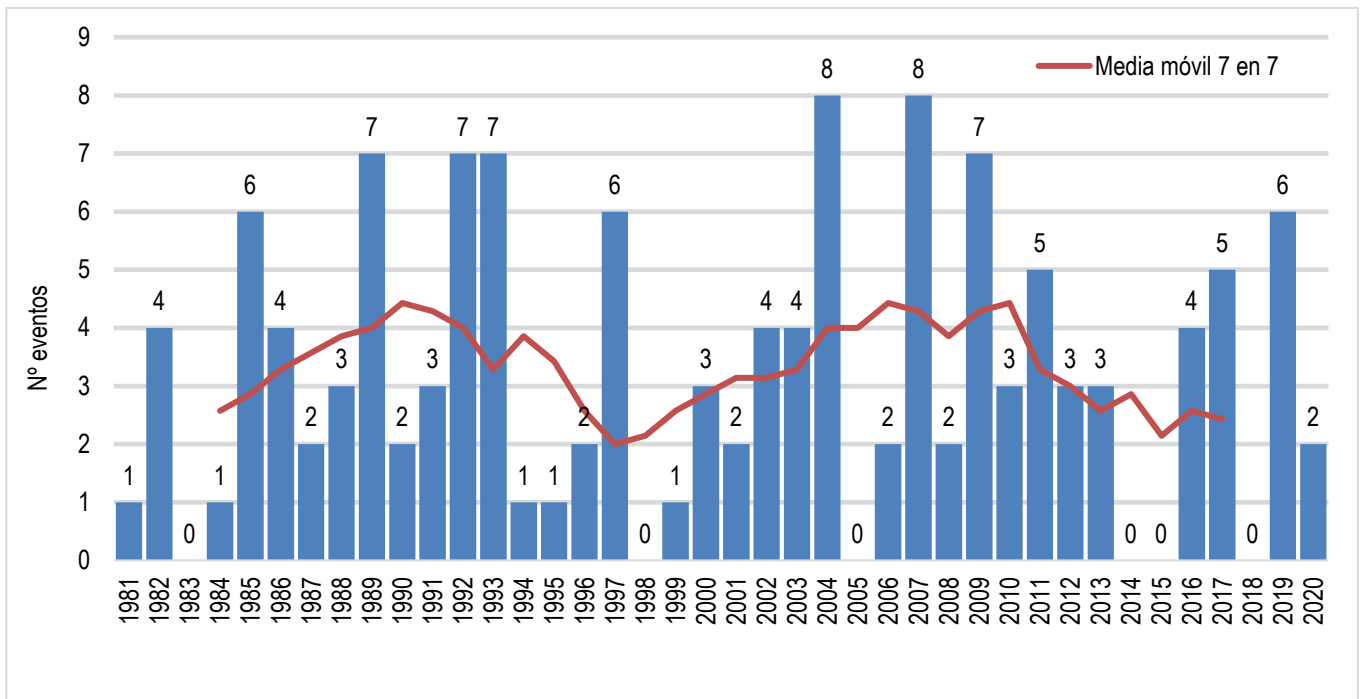
Fuente: AEMET. Elaboración propia.

Si se atiende a la distribución anual de los eventos extremos observados en la provincia para el periodo 1981-2020, se observa la cantidad de dientes de sierra que generan las irregularidades debido al azar. Para suplir dichas irregularidades se hallan las medias móviles centradas en cada año con intervalos de 7 en 7 (Figura 3) (Martín Vide, 2003). Si se hace referencia a los valores absolutos, la primera década del presente siglo estuvo marcada por un gran número de eventos extremos en el periodo de 2001-2010, cuando se produjeron 40 episodios extremos, siendo los años 2004, 2007 y 2009 los de mayores registros. En segundo lugar, las décadas de los años noventa y ochenta del siglo pasado

registraron prácticamente el mismo número de extremos, 31 y 30, respectivamente. En la primera, los años en los que acontecieron más eventos extremos fueron 1992 y 1993, con 7 episodios, y 1997, con 6. La segunda presenta dos máximos en los años 1985, con 6 episodios, y 1989, con 7. Por último, la década de 2011-2020 presenta un reparto más equitativo de los episodios, aunque con ausencia total de estos en los años 2014, 2015 y 2018 (Anexo 4). La media móvil refleja la suavidad de la evolución de los eventos extremos, donde se diferencian dos curvas de ascenso, a finales de la década de 1980 y principios de la de 1990, con pico en 1990 (valor medio de 4,43), y a mediados de la primera década del presente siglo hasta el inicio de la segunda década, con pico en los años 2006 y 2010 (valor medio de 4,43).

Por último, para detectar si existe una tendencia con significación estadística en la evolución anual del número de extremos para el periodo dado de 1981-2020, se ha aplicado el test no paramétrico de Mann-Kendall. En este caso, la evolución del número de episodios extremos para el periodo completo de 40 años (n=40, 1981-2020) presenta una significación estadística dudosa, con menos de un 90 % de significación ($\alpha > 0,1$). Los subperiodos 1981-2000 (n=20) y 2001-2020 (n=20) no tienen significación estadística, al igual que tampoco la tiene la evolución por décadas (n=10). Solo se ha encontrado una evolución temporal de al menos 10 años con significación estadística: el periodo 1981-1993 (n=13), con un nivel de confianza del 95. Para este subperiodo puede afirmarse que existe una tendencia positiva significativa en el número de eventos extremos.

Figura 3. Eventos extremos (≥ 100 mm/día) por años en la provincia de Alicante (1981-2020)



Fuente: AEMET. Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La presente investigación ha permitido conocer la distribución de los días de precipitación según umbrales para la serie de 40 años más reciente en el territorio alicantino, así como la evolución como temporal de los valores superiores (≥ 100 mm/día). Entre todos los años destaca 1989 como el año con el mayor número de días de precipitación registrados, al igual que el mayor en las clases 10-29,9 mm/día y 30-99,9 mm/día.

El número de eventos extremos (≥ 100 mm/día) acontecido en el territorio alicantino para los 26 observatorios y en el periodo de 40 años ha sido de 129, es decir, 3,2 por año. Atendiendo a su evolución temporal no se puede afirmar que exista una tendencia clara al incremento de estos eventos, debido a

que la evolución no presenta significación estadística. A este respecto, hay que destacar que, de momento, no se aprecia el aumento de la frecuencia y severidad de estos eventos extremos, derivado del calentamiento global, en el área de estudio, como sí afirma en su último informe para la región mediterránea el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

Los calendarios climáticos ejemplifican el régimen pluviométrico característico del área de estudio. En el reparto estacional de los eventos torrenciales destacan los meses de octubre y noviembre, siendo el máximo en otoño, y el mínimo en verano, particularmente en el mes de julio, en el que no se ha registrado ningún evento de los analizados en esta investigación. El otoño ha sido el periodo que siempre se ha fijado como característico para el acontecimiento de lluvias de fuerte intensidad horaria en la región mediterránea, pero actualmente pueden producirse en cualquier época del año, como puede apreciarse en esta investigación, en la que el número de eventos extremos en invierno y primavera también es notable.

Agradecimientos: Esta investigación es resultado de la obtención de una beca de formación de profesorado universitario (FPUA2019-54) por parte del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Alicante. Se agradece a la AEMET el conjunto de datos de precipitación diaria proporcionado para este estudio.

REFERENCIAS

- Benhamrouche, A., Martín Vide, J. (2011). Distribución espacial de la concentración diaria de la precipitación en la provincia de Alicante. *Investigaciones Geográficas*, 56(56), 113. <https://doi.org/10.14198/ingeo2011.56.06>
- Benhamrouche, A., Martín Vide, J. (2012). Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. *Anales de Geografía*, 32, 11-27. https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2012.v32.n1.39306
- De Luis, M., González-Hidalgo, J. C., Raventós, J., Sánchez, J. R., Cortina, J. (1997). Distribución Espacial de la Concentración y Agresividad de la lluvia en el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuatremario y Geomorfología*, 11(3-4), 33-44.
- De Luis, M., González Hidalgo, J. C., Sánchez, J. R. (1996). Análisis de la distribución espacial de la concentración diaria de precipitaciones en el territorio de la Comunidad Valenciana. *Cuadernos de Geografía*, 59, 47-62.
- Estrela, M. J., Peñarrocha, D., Pastor, F., Millán, M. (2000). Torrential rain events on the Spanish Mediterranean coast: Relationship between spatial precipitation patterns and synoptic conditions. In *Mediterranean Storms. Proceedings of the EGS Plinius Conference* (pp. 97-110). Bios.
- Francis, J. A., Vavrus, S. J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical Research Letters*, 39(6), 1-6. <https://doi.org/10.1029/2012GL051000>
- IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change* (T. W. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, eds.).
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Llasat, M. C., del Moral, A., Cortès, M., Rigo, T. (2021). Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. *Atmospheric Research*, 257, 105581. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105581>
- Martín-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology*, 24(8), 959-971. <https://doi.org/10.1002/joc.1030>
- Martín Vide, J. (2003). *El tiempo y el clima* (1ª). Rubens Editorial, S.L.

- Martín Vide, J., Olcina Cantos, J. (2001). *Climas y tiempos de España* (J. Martín Vide, J. Olcina Cantos, eds.). Alianza Editorial, S. A.
- Meseguer-Ruiz, Ó., López-Bustins, J. A., Arbiol-Roca, L., Martín-Vide, J., Miró, J., Estrela, M. J. (2018). Episodios de precipitación torrencial en el este y sureste ibéricos y su relación con la variabilidad intraanual de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) entre 1950 y 2016. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53–63.
- Moutahir, H., de Luis, M., Serrano-Notivoli, R., Touhami, I., Bellot, J. (2014). Análisis de los eventos climáticos extremos en la provincia de Alicante, sureste de España. *Cambio Climático y Cambio Global*, 9, 457–466. <https://doi.org/10.13140/2.1.1999.4564>
- Olcina Cantos, 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 Sociales e Humanidades*, 29, 143–163. <https://doi.org/10.15304/s.29.4213>
- Olcina Cantos, J., Campos Rosique, A., Casals del Busto, I., Ayanz López-Cuervo, J., Rodríguez Mateos, M., Martínez Puentes, M. (2018). Resiliencia en el ciclo urbano del agua. Extremos pluviométricos y adaptación al cambio climático en el ámbito mediterráneo. *Universidad de Alicante*, 8. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/76370>
- Olcina Cantos, J., Vera-Rebollo, J. F. (2016a). Adaptación del sector turístico al cambio climático en España. La importancia de las acciones a escala local y en empresas turísticas. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 36(2), 321–352. <https://doi.org/10.5209/AGUC.53588>
- Olcina Cantos, J., Vera-Rebollo, J. F. (2016b). Cambio climático y política turística en España: diagnóstico del litoral mediterráneo español. *Cuadernos de Turismo*, 38(38), 327–363. <https://doi.org/10.6018/TURISMO.38.1471>
- Olcina, J., Biener, S. (2019). ¿Está cambiando el clima valenciano? Realidades e incertidumbres. En J. Olcina, E. Moltó (Eds.), *Climas y tiempos del País Valenciano* (pp. 162–170). Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Peñarrocha, D., Estrela, M. J., Millán, M. (2002). Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: The Valencia region. *International Journal of Climatology*, 22(6), 677–695. <https://doi.org/10.1002/joc.747>
- Ribas Palom, A. M., Olcina Cantos, J., Sauri Pujol, D. (2020). More exposed but also more vulnerable? Climate change, high intensity precipitation events and flooding in Mediterranean Spain. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(3), 229–248. <https://doi.org/10.1108/DPM-05-2019-0149>
- Rodríguez Ballesteros, C. (n.d.). *Las estaciones termopluviométricas de la red climatológica de AEMET*. www.divulgameteo.es
- Romero, R., Guijarro, J. A., Ramis, C., Alonso, S. (1998). A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the spanish mediterranean regions: First exploratory study. *International Journal of Climatology*, 18(5), 541–560. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0088\(199804\)18:5<541::aid-joc270>3.0.co;2-n](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0088(199804)18:5<541::aid-joc270>3.0.co;2-n)
- Serrano-Notivoli, R., Beguería, S., Saz, M. Á., De Luis, M. (2018a). Recent trends reveal decreasing intensity of daily precipitation in Spain. *International Journal of Climatology*, 38(11), 4211–4224. <https://doi.org/10.1002/joc.5562>
- Serrano-Notivoli, R., Martín-Vide, J., Saz, M. A., Longares, L. A., Beguería, S., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., de Luis, M. (2018b). Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set. *International Journal of Climatology*, 38, e518–e530. <https://doi.org/10.1002/joc.5387>
- Valdés-Abellán, J., Pardo, M. A., Tenza-Abril, A. J. (2017). Observed precipitation trend changes in the western Mediterranean region. *International Journal of Climatology*, 37, 1285–1296. <https://doi.org/10.1002/joc.4984>
- Valdés-Abellán, Javier, Ubeda Müller, M. (2020). Revisión de los eventos máximos diarios de precipitación en el dominio climático de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante). En M. I. López-Ortiz, J. Melgarejo (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes* (pp. 109–126). Universitat d' Alacant. <http://hdl.handle.net/10045/109017>