

# **EFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE EL REGIMEN PLUVIOMETRICO DE LA CIUDAD DE CASTELLON**

Fernando Ginés Llorens

## **Resumen**

*El cambio climático es ya una realidad y una de las regiones del planeta más sensibles probablemente sea la mediterránea. El calentamiento global no solo está afectando a las temperaturas sino que también podría estar comenzando a alterar el régimen pluviométrico. En el presente estudio, analizando los registros de la ciudad de Castellón, se ha intentado responder a las siguientes preguntas: ¿Está incrementándose la frecuencia e intensidad de los episodios de lluvias torrenciales? ¿Ha aumentado o disminuido la precipitación media anual? ¿Las sequías son más frecuentes e intensas actualmente? ¿Se está modificando el patrón de lluvias estacional? Del estudio se desprende que, aunque con los datos disponibles no se puede confirmar un cambio en la intensidad de las precipitaciones máximas diarias ni de las sequías, sí que se observa un ligero aumento anual de la pluviometría, un incremento en la intensidad de los temporales y una “desestacionalización” de las lluvias muy fuertes o torrenciales, todo lo cual es muy probable que sea consecuencia del calentamiento global.*

## **1. Introducción**

El cambio climático se ha convertido en una realidad que está impactando sobre todos los aspectos naturales y sociales de nuestro planeta. Una de las regiones del planeta más sensibles a este cambio probablemente sea la mediterránea y su efecto más evidente es el aumento de las temperaturas. De este modo, las temperaturas medias en los últimos cien años han experimentado un incremento en la ciudad de Castellón de aproximadamente 1°C, un cuarto de grado por encima del estimado a nivel mundial (Ginés, 2013).

Pero el calentamiento global no tan solo puede estar afectando a las temperaturas sino que también podría alterar el régimen pluviométrico, incrementando las lluvias intensas y modificando los registros anuales así como la distribución de las precipitaciones a largo del año.

De acuerdo con la AEMET (2019), el área mediterránea española ha sufrido, desde hace varios años, temporales sin precedentes. A partir de 2019, la frecuencia e intensidad de estos fenómenos adversos, categorizados como históricos, parece haberse disparado, al registrarse tres de ellos en tan solo nueve meses. Esta tendencia se inició en la Semana Santa de 2019 (del 18 al 22 de abril), con un temporal sin precedentes históricos para un mes de abril en el sureste peninsular. Cinco meses más tarde, en septiembre de 2019 (del 11 al 15 de septiembre), también en el sureste, se produjo otro episodio extremo en el que 7 personas perdieron la vida como consecuencia de las lluvias torrenciales. El último de los eventos fue la borrasca Gloria y su sucesora en enero de 2020 (del 19 al 25). El temporal de viento, lluvia, nieve y mar generado, que afectó a todo el levante

español, tuvo un carácter excepcional, tanto por los registros meteorológicos como por los impactos, entre los que hay que destacar la cifra de, al menos, trece fallecidos además de tres desaparecidos, lo que lo convierte el temporal más mortífero del siglo XXI en España tan solo igualado en fallecidos por riada de Sant Llorenç (Mallorca) con 13 muertos en octubre de 2018.

El calentamiento global también podría estar afectando a la precipitación media anual, según pone de manifiesto el informe “Evolución de las precipitaciones en España” realizado por el Observatorio de Sostenibilidad (OS, 2019). De acuerdo con el citado informe, se observa un fuerte descenso de las precipitaciones en el periodo 1981-2018 en el noroeste peninsular (Vigo, -12,8 mm/año) y en el noreste peninsular (Girona, -5,95 mm/año; Barcelona, -5,83 mm/año). En general, en el norte, centro peninsular y Baleares se aprecia un aumento de ligero a moderado (San Sebastián, 3,29 mm/año; Madrid, 0,33 mm/año; Córdoba, 1,28 mm/año; Palma de Mallorca, 2,62 mm/año), mientras que en el levante español se observa una disminución de ligera a moderada (Castellón, -0,9 mm/año; Valencia, -2,45 mm/año; Alicante, -1,52 mm/año; Murcia, -0,51 mm/año). Asimismo, dicho informe pronostica para el año 2050, basándose en el modelo CCSM4 escenario RCP 8.5, que tan solo las Canarias occidentales, la Comunidad Valenciana y Navarra experimentarán incrementos positivos en las precipitaciones. En el resto de España se asistirá a una reducción de la precipitación, especialmente grave en el cuadrante noroeste, con una disminución anual en algunas zonas de Galicia de más de 500 mm, lo que supondría prácticamente una reducción del 50% respecto a los valores actuales.

Así mismo, de acuerdo con el citado informe del OS, los patrones estacionales de distribución de las lluvias también podrían estar modificándose. En el global de la Península, durante los últimos decenios se observa una disminución muy significativa de las precipitaciones en verano y más moderada en invierno mientras que hay un aumento de las mismas en otoño y, especialmente, en primavera. Esta variación, al menos en parte, podría estar relacionada con un cambio en la distribución de los sucesos de alta intensidad. En efecto, desde hace poco más de un lustro se están registrando datos excepcionalmente elevados fuera de la temporada típica de las grandes ciclogénesis, el otoño, desplazándose los episodios al invierno y la primavera. Caben destacar, conjuntamente con la ya comentada borrasca Gloria, los episodios acaecidos en las comarcas castellonenses en marzo de 2015, con registros totales en el interior superiores a los 300 mm, en enero de 2017, con valores totales superiores a los 200 mm, y a finales de marzo de 2020, con acumulados que supusieron efemérides en algunos observatorios, como oficial de Castellón sito en el término de Almassora, en el que se midieron 150,0 mm en 24 h el 31 de marzo.

Finalmente, junto a estos cambios, según algunas proyecciones, como las elaboradas por los investigadores del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, IIAMA-UPV (IIAMA), se debería añadir la intensificación de las sequías tanto meteorológicas como hidrológicas, debido a los efectos combinados de la irregularidad de las

precipitaciones, con una disminución de las mismas, y al incremento de la evapotranspiración.

## **2. Objetivos**

El conocimiento actual y futuro del comportamiento de las lluvias es de vital importancia para la gestión de los recursos hídricos. Así mismo, de cara a la prevención de riesgos climáticos y daños en las poblaciones, resulta trascendental determinar si está aumentando la probabilidad de aparición de lluvias torrenciales y, por tanto, de inundaciones graves.

En el presente trabajo se analiza cómo está afectando el cambio climático al régimen de precipitaciones. El objetivo del mismo, por tanto, ha sido responder a las siguientes preguntas: ¿Está incrementándose la frecuencia e intensidad de los episodios de lluvias torrenciales? ¿Ha aumentado o disminuido la precipitación media anual? ¿Las sequías son más frecuentes e intensas actualmente? ¿Se está modificando el patrón de lluvias estacional?

El trabajo se ha centrado en la pluviometría de la ciudad de Castellón y para ello se ha analizado la evolución de los siguientes parámetros:

- Las precipitaciones máximas registradas en un día y en episodios de varios días.
- Las precipitaciones anuales.
- Las precipitaciones mensuales.

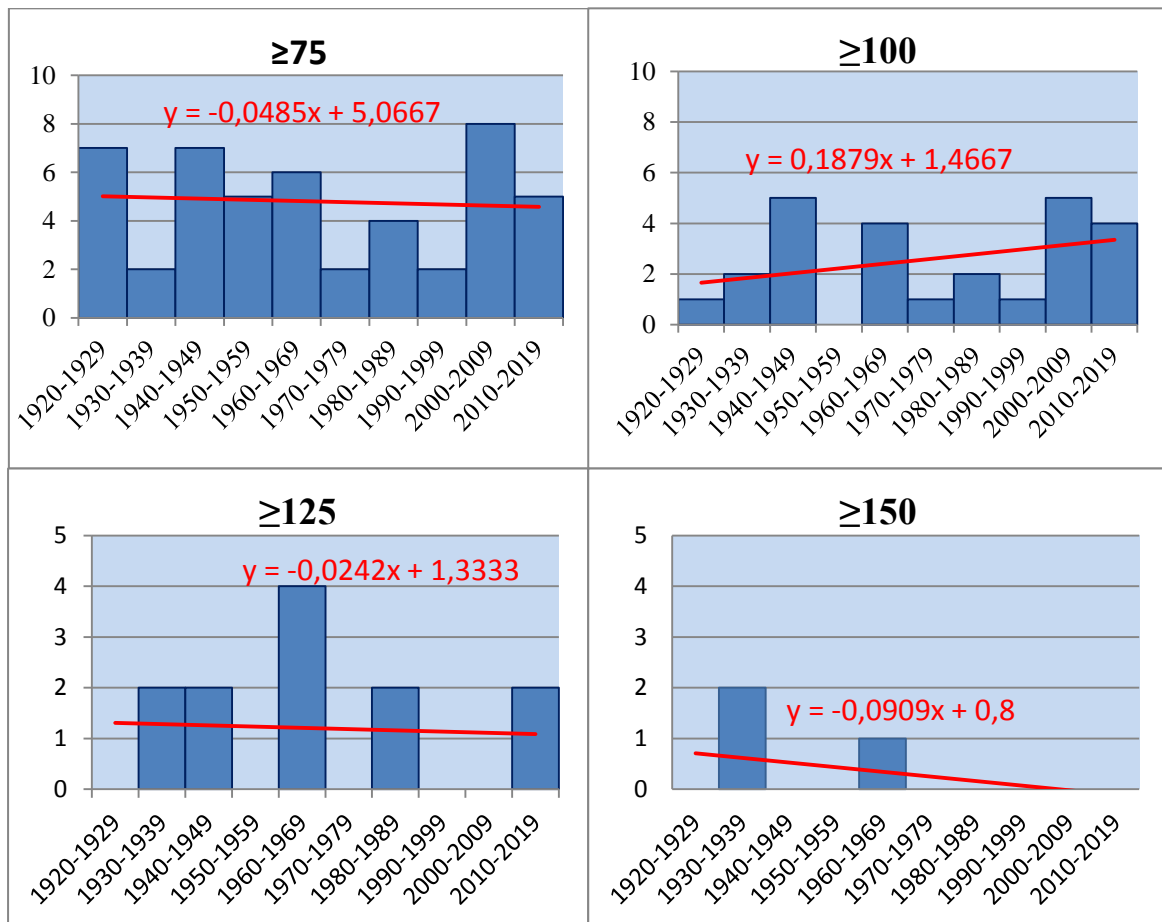
Para realizar el estudio, se han utilizado los datos de precipitación oficiales de la capital de la Plana desde 1912, correspondientes a la estación ubicada en el instituto de enseñanza secundaria Francisco Ribalta (observatorio que denominaremos IFR), que funcionó hasta finales de 1975, y a la estación situada en el término municipal de Almassora (observatorio que denominaremos ALM), que ha funcionado desde principios de 1976 hasta la actualidad. Así mismo, para determinar el posible efecto que tiene la localización del observatorio sobre las precipitaciones, en el estudio también se han incluido los datos de precipitación registrados por el autor durante el periodo 1981-2019, en un pluviómetro ubicado en la ciudad de Castellón (observatorio que denominaremos CS) a escasos 300 m del IES Francisco Ribalta.

## **3. Evolución de las precipitaciones máximas**

De acuerdo con lo comentado en la introducción, el área mediterránea española ha sufrido, desde hace varios años, temporales sin precedentes, registrándose tan solo en el bienio 2019-2020 tres episodios categorizados como históricos.

La irregularidad de las precipitaciones es intrínseca al clima Mediterráneo por lo que resulta complicado determinar si estos episodios se sitúan dentro de la variabilidad típica del clima o si, por el contrario, son consecuencia del calentamiento global. Al objeto de determinar si realmente están aumentando la frecuencia de los días con lluvia

muy fuerte o torrencial, se han contabilizado todos los días<sup>1</sup>, desde 1920<sup>2</sup>, en los que la precipitación alcanzó o superó los 75 mm. En las figuras 1-4 se muestran los resultados obtenidos. Los datos corresponden a la serie IRF/ALM (1920-1975/1976-2019) y, para poder visualizar mejor su evolución, se han organizado por décadas y acumulados ( $\geq 75$ ,  $\geq 100$ ,  $\geq 125$  y  $\geq 150$  mm).



**Figuras 1-4.** Número de días por década en los que se igualaron o superaron los 75, 100, 125 y 150 mm en un día pluviométrico (serie IRF/ALM).

Como puede apreciarse en la figuras, sorprendentemente, la evolución del número de días con precipitaciones intensas, no solo no ha aumentado sino que muestra una tendencia negativa desde comienzos del siglo XX. La excepción son los días con precipitaciones iguales o superiores a los 100 mm que se han incrementado debido sobre todo al aumento significativo de estos eventos en las últimas dos décadas.

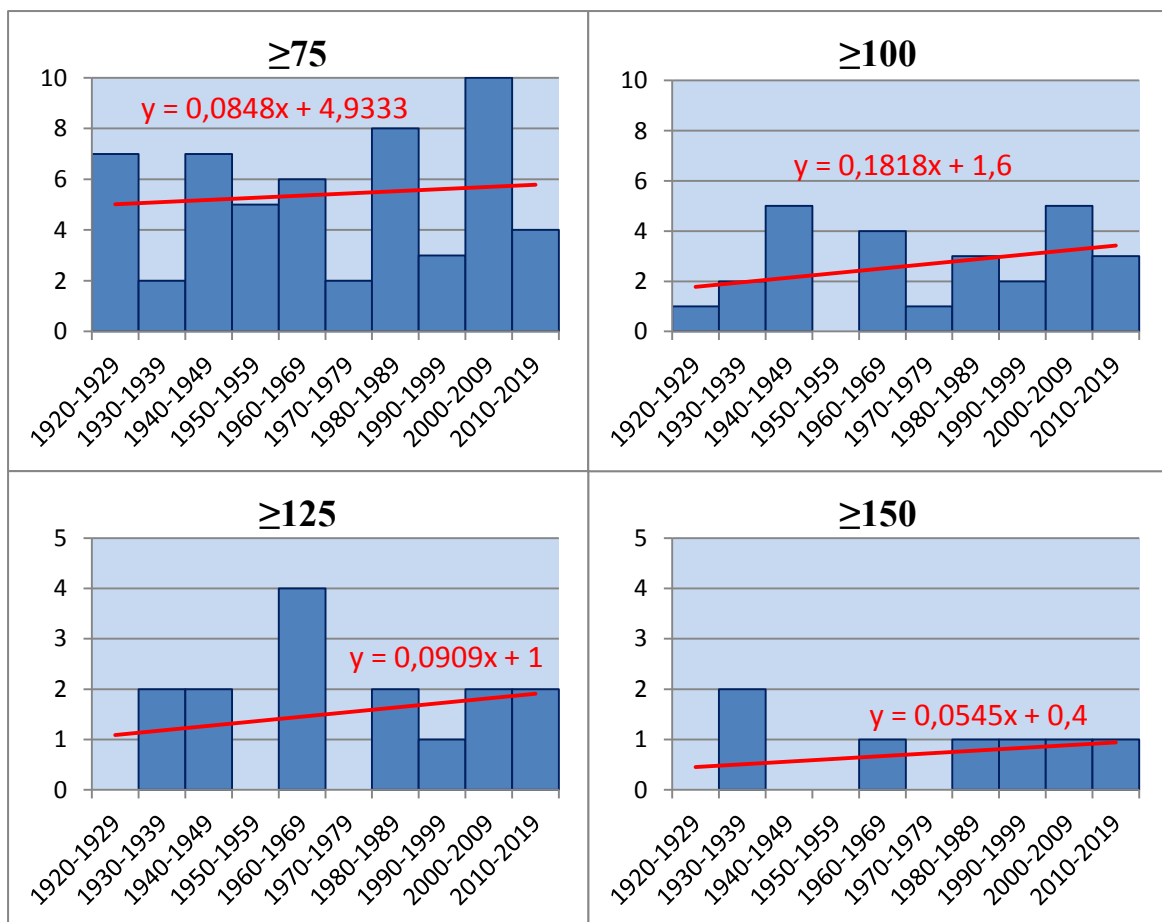
<sup>1</sup> Los datos utilizados se corresponden con el día pluviométrico que va desde la 7:00 UTC de un día a las 7:00 UTC del día siguiente.

<sup>2</sup> Se han contabilizado desde 1920 ya que solo disponemos de datos diarios desde ese año. Por otro lado, indicar que existen algunas lagunas en los datos de la serie correspondientes a la primera parte del siglo XX. A pesar de ello, debido a que, en general, corresponden a años muy secos en el levante español o a meses en los que no son muy propicias las lluvias intensas, consideramos que estas lagunas no van afectar a las conclusiones finales.

Surgen dudas sobre estas conclusiones debido a que en estudios previos (Cerdán, 2013) (Ginés, 2013) se ha constatado la existencia de diferencias apreciables entre las precipitaciones registradas en el observatorio de Almassora (ALM) y las medidas en el centro de la capital de La Plana, especialmente, cuando se producen intensos aguaceros.

Así pues, con el objeto de determinar si esta evolución es consecuencia de la variabilidad climática o hay otros factores que pueden estar afectando, como es el citado cambio de emplazamiento del observatorio, también se han contabilizado los episodios de la serie de datos IRF/CS, donde se incluyen los registros del observatorio CS ubicado a unos 300 m del antiguo observatorio oficial. En las figuras 5-8 se muestran los resultados obtenidos.

Como puede apreciarse en las figuras, la evolución de la serie IRF/CS muestra diferencias significativas respecto a la de la serie IRF/ALM. En efecto, a diferencia de lo que ocurría en esta última serie, la serie IRF/CS presenta, para todos los rangos de precipitación, una evolución positiva, confirmándose como principal causante de estas discrepancias el cambio de ubicación del observatorio oficial. La homogeneidad es vital para determinar la variabilidad climática, por lo que, debido a la mayor cercanía de los observatorios IRF y CS, se ha asumido que la serie IRF/CS es la más homogénea.



**Figuras 5-8.** Número de días por década en los que se igualaron o superaron los 75, 100, 125 y 150 mm en un día pluviométrico (serie IRF/CS).

Volviendo a las figuras 5-8, se puede destacar el aumento de la frecuencia con la que se producen eventos iguales o superiores a los 150 mm, uno por década desde los años ochenta frente a uno cada veinte años durante el periodo 1920-1979. Este hecho, corroboraría la percepción general de que está aumentando la frecuencia con la que se presentan las lluvias torrenciales. Del resto de periodos, subrayar la excepcionalidad de la década 1960-1969, década que duplica al resto en eventos iguales o superiores a los 125 mm y en la que se recogió la mayor precipitación diaria desde que hay registros, el 14 de octubre de 1962.

No quedaría el estudio completo de las lluvias máximas diarias sino se determinara, mediante análisis estadístico, las lluvias máximas para diferentes periodos de retorno. Para el ajuste de los datos, se ha escogido la distribución de Gumbel que ha sido tradicionalmente la más utilizada en España para los análisis pluviométricos (Ministerio de Medio Ambiente, 1998) (Cerdán, 2013). Con el objeto de determinar una posible evolución de las lluvias máximas, las series se han dividido en tres subperiodos:

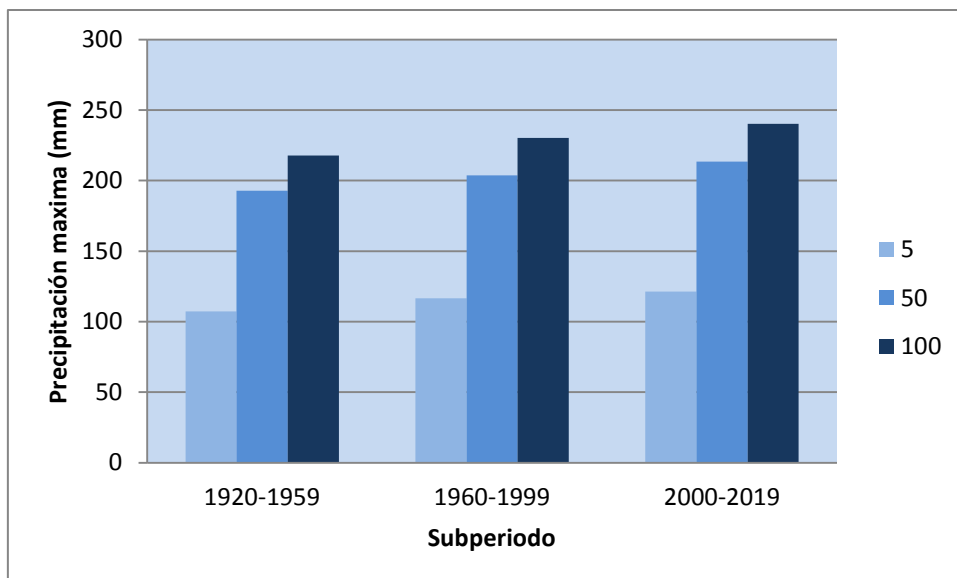
- 1920-1959 (datos del observatorio IFR)
- 1960-1999 (datos de los observatorios IFR/ALM y IFR/CS)
- 2000-2019 (datos de los observatorios ALM y CS)

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

**Tabla 1.** Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.

| Periodo (años) | 1920-1959 IFR | 1960-1999 IFR/ALM | 1960-1999 IFR/CS | 2000-2019 ALM | 2000-2019 CS |
|----------------|---------------|-------------------|------------------|---------------|--------------|
| 5              | 107,2         | 106,5             | 111,6            | 111,6         | 121,4        |
| 10             | 133,9         | 133,5             | 140,3            | 136,3         | 150,1        |
| 25             | 167,7         | 167,5             | 176,7            | 167,4         | 186,5        |
| 50             | 192,8         | 192,7             | 203,6            | 190,5         | 213,4        |
| 75             | 207,4         | 207,4             | 219,2            | 204,0         | 229,1        |
| 100            | 217,7         | 217,8             | 230,3            | 213,5         | 240,2        |
| 150            | 232,3         | 232,4             | 245,9            | 226,9         | 255,8        |
| 250            | 250,5         | 250,5             | 265,5            | 243,7         | 275,4        |
| 500            | 275,3         | 275,3             | 292,1            | 266,4         | 302,0        |

Los resultados, como era de esperar, vuelven confirman las discrepancias entre los observatorios CS y ALM, siendo la evolución de las precipitaciones y las conclusiones obtenidas completamente diferentes en función de la serie analizada. Así pues, se ha decidido continuar el estudio con las series de datos IFR/CS y CS. En la figura 9 se han representado las lluvias máximas para tres periodos de retorno, 5, 50 y 100 años, comprobándose que hay una tendencia al aumento de las precipitaciones máximas diarias desde principios del pasado siglo, siendo los valores actuales un 10% superiores para un periodo de 100 años.



**Figura 9.** Precipitaciones máximas en la ciudad de Castellón en función de los retornos (5, 50 y 100 años) para los subperiodos 1920-1959, 1960-1999 y 2000-2019 (serie IRF/CS).

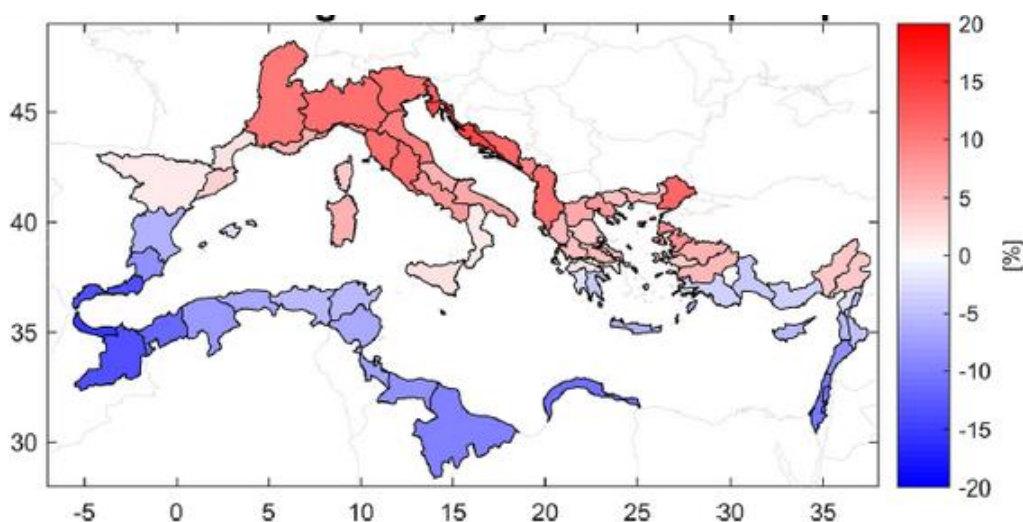
A pesar de que el análisis estadístico pronostica precipitaciones máximas superiores a las registradas en el pasado siglo, lo cierto es que desde hace más de 50 años no se han superado los records alcanzados en el siglo XX. En efecto, en el tabla 2 se muestran algunos de los registros más significativos de los tres observatorios en estudio, comprobándose que las precipitaciones máximas diarias medidas en los últimos decenios quedan muy alejadas de las registradas en 1962 y 1934, con más de 200 mm en 24h. Así pues, aunque sí que es cierto que las precipitaciones superiores a los 100 mm son más frecuentes actualmente (periodo 2000-2019), duplicando a las registradas en el periodo 1920-1959 (siete en 40 años frente a siete en 20 años), desde hace más de 50 años en un día meteorológico no se han superado los 170 mm en la ciudad de Castellón.

**Tabla 2.** Registros máximos diarios en los tres observatorios analizados.

| Fecha      | IRF   | CS    | ALM   |
|------------|-------|-------|-------|
| 14/10/1962 | 210,5 |       |       |
| 2/11/1934  | 201,1 |       |       |
| 15/10/1911 | 187,5 |       |       |
| 13/09/1932 | 176,0 |       |       |
| 22/03/2015 |       | 168,1 | 133,8 |
| 09/10/1994 |       | 164,0 | 118,0 |
| 10/11/2005 |       | 155,0 | 119,1 |
| 04/09/1989 |       | 152,0 | 141,0 |
| 31/03/2020 |       | 146,1 | 150,0 |

Si consideramos los pronósticos que hacen algunos modelos climáticos, como el CCSM4 escenario RCP 8.5, las precipitaciones máximas en el centro-sur del Mediterráneo español podrían disminuir durante el presente siglo (figura 10) (Martín,

2019). En consecuencia, aunque parece que se está incrementando la frecuencia de aparición de episodios con precipitaciones torrenciales, de acuerdo con las citadas proyecciones, éstos podrían no ser tan intensos como lo fueron en el pasado; es decir, podrían ser más frecuentes los eventos de intensidad intermedia (100-175 mm) pero menos los de intensidad elevada (>175 mm). Episodios torrenciales como los de la DANA que asoló el sudeste español en septiembre de 2019 pueden estar en contra de estas proyecciones pero fenómenos puntuales, por si solos, no tienen por qué indicarnos un cambio de tendencia en la intensidad de las lluvias torrenciales, de modo que, con los datos disponibles, resulta muy complicado hacer predicciones a largo plazo sobre la evolución de las precipitaciones máximas diarias.



**Figura 10.** Cambio relativo promedio en 2100 para el valor de precipitación máxima diaria con una duración de retorno de 20 años para 102 cuencas mediterráneas (Martín, 2019).

A pesar de la incertidumbre indicada, lo que sí parece más evidente, desde hace unos años, es la "desestacionalización" de los episodios de lluvias muy fuertes o torrenciales. Las observaciones del último lustro así lo abalan, registrándose casi todos los años uno o varios episodios muy intensos en el Mediterráneo español fuera de los meses típicamente otoñales y, especialmente, durante los meses de enero, marzo y abril.

Como puede observarse en la tabla 3, destacables fueron en Castellón los sucesos de marzo de 2015, enero de 2017, diciembre de 2019 y marzo de 2020, que no solo supusieron efemérides de los meses en los que los ocurrieron sino que, en algunos observatorios, fueron records absolutos. En efecto, como podemos apreciar en la tabla, en el último lustro tan solo uno de los cinco episodios en los que se ha registrado una precipitación diaria superior a los 100 mm ha ocurrido en los meses típicamente otoñales.



**Tabla 3.** Lluvias diarias más intensas desde el año 2015.

| Fecha      | ALM   | CS    |
|------------|-------|-------|
| 22/03/2015 | 133,8 | 168,1 |
| 19/01/2017 | 117,4 | 150,0 |
| 18/10/2018 | 127,0 | 110,7 |
| 04/12/2019 | 105,8 | 90,0  |
| 31/03/2020 | 150,0 | 146,1 |

Los episodios de lluvias fuertes fuera de la época otoñal no son novedad en las comarcas castellonenses pero, de acuerdo con lo comentado, sí que lo está siendo la intensidad y frecuencia con las que se están presentando en los últimos cinco años. En la tabla 4 se muestran los eventos en los que se superaron, en un día meteorológico, los 75 mm en alguno de los observatorios en estudio, desde 1920 a 2014, ambos años inclusive. Como puede apreciarse, históricamente los meses más propicios para que se produjeran intensos aguaceros fuera de la temporada otoñal eran diciembre y febrero<sup>3</sup>. Le seguían en probabilidad el mes de agosto y los meses primaverales. Los acumulados, no obstante, eran siempre inferiores a los de los episodios otoñales, de modo que hasta los años ochenta nunca se registraron 100 o más milímetros en 24 h<sup>4</sup> y desde dicha década hasta finales de 2014 tan solo se registraron dos sucesos de poco más de 100 mm, en abril de 1982 y diciembre de 1992. Si comparamos la tabla 3 con la 4, podemos apreciar el cambio en la frecuencia e intensidad de estos sucesos, que han pasado de ser meramente anecdóticos a registrarse casi todos los años, sobre todo, si consideramos los de lluvias superiores a los 100 mm.

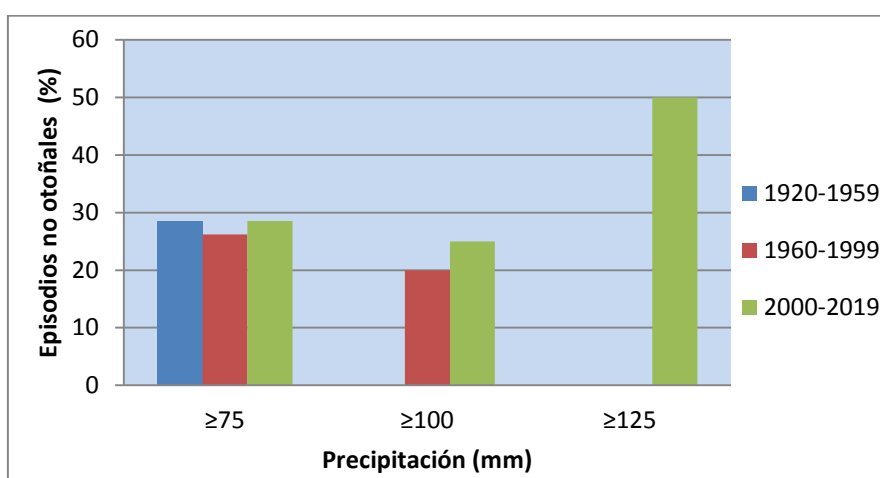
**Tabla 4.** Episodios fuera del otoño en los que se igualaron o superaron los 75 mm diarios en alguno de los observatorios en análisis.

| Fecha      | IRF  | ALM  | CS    |
|------------|------|------|-------|
| 10/08/1921 | 99,0 |      |       |
| 26/02/1928 | 88,0 |      |       |
| 03/02/1929 | 85,0 |      |       |
| 26/02/1948 | 86,0 |      |       |
| 23/12/1948 | 98,0 |      |       |
| 02/12/1955 | 82,4 |      |       |
| 26/03/1982 |      | 81,9 | 75,0  |
| 18/04/1982 |      | 68,8 | 107,2 |
| 22/08/1983 |      | 82,5 | 50,0  |
| 26/12/1989 |      | 64,3 | 75,0  |
| 24/12/1992 |      | 81,2 | 107,5 |
| 06/05/2003 |      | 86,6 | 72,0  |
| 26/02/2006 |      | 66,8 | 82,0  |

<sup>3</sup> Durante los años veinte del pasado siglo se registraron de forma recurrente intensos temporales durante el mes de febrero que, en algunos casos, acumularon más de 150 mm en varios días. Sin embargo, desde hace más de setenta años, la frecuencia con la que se presentan temporales intensos en este mes ha disminuido muy significativamente.

<sup>4</sup> Hablamos lógicamente de un día pluviométrico. Normalmente, las precipitaciones en 24 h suelen ser superiores. Algunos autores proponen multiplicar por 1,13 para determinar los valores que se registrarían de no aplicar un límite horario.

Con el objeto de apreciar mejor esta “desestacionalización”, en la figura 11 se ha representado el porcentaje, sobre el total anual, de episodios de lluvias intensas fuera de la época típicamente otoñal (septiembre, octubre y noviembre) para los subperiodos 1920-1959, 1960-1999 y 2000-2019. Dado que existen diferencias muy significativas entre los registros de la capital de La Plana y el observatorio oficial, nuevamente se ha considerado oportuno realizar el análisis con la serie IRF/CS. Puede comprobarse que, aunque para valores  $\geq 75$  mm, los porcentajes son muy similares para los tres subperiodos, a medida que aumentan las cantidades registradas las diferencias se acrecientan entre el último subperiodo y los otros dos. Así, para precipitaciones  $\geq 125$  mm, los porcentajes son nulos en los dos primeros subperiodos mientras que en el último estos eventos representan nada menos que el 50% del total. Este porcentaje todavía sería mayor si se calcula para el último lustro.



**Figura 11.** Porcentaje de episodios no otoñales, respecto al total, en el que las lluvias diarias igualaron o superaron los 75, 100 y 125 mm durante los subperiodos 1920-1959, 1960-1999 y 2000-2019 (serie IRF/ALM).

Resulta pues más que evidente el desplazamiento de los episodios de lluvias muy fuertes o torrenciales hacia el invierno y la primavera. Algunas hipótesis de trabajo atribuyen dicho desplazamiento al incremento de la temperatura del mar, lo cual podría relacionarse con el actual contexto de cambio climático (Saladié, 2011). A este hecho se debería añadir un aumento en la “desestacionalización” de las DANAS y de las situaciones de viento de levante, que unidos a una temperatura marítima más elevada crean el ambiente propicio para las lluvias torrenciales. Las causas de dicha “desestacionalización”, según algunos autores, estarían en el calentamiento global, que estaría modificando la circulación zonal y, concretamente, incrementando la frecuencia y persistencia de los estados de ondulación de la corriente en chorro (Martín, 2017).

Los registros del primer cuatrimestre de 2020, con dos episodios excepcionales<sup>5</sup>, así lo corroborarían por lo que tenemos bastantes razones para pensar que estos sucesos no han sido puntuales y cada vez van a ser más frecuentes.

Debemos señalar, no obstante, que, a pesar de los grandes valores alcanzados, generalmente, la intensidad de la precipitación no es torrencial ( $\geq 60$  mm/h). En efecto, al menos en lo que respecta a las comarcas litorales castellonenses, los registros horarios durante dichos episodios fueron de intensidad fuerte (15-30 mm/h) o muy fuerte (30-60 mm/h). Así, durante el evento más destacable del último lustro por su intensidad diaria, el de marzo de 2015, los valores horarios se acercaron a los 45 mm pero estuvieron alejados de los 60 mm (AEMET, 2015). Los grandes acumulados en estos episodios se produjeron más por la persistencia de las precipitaciones que por su gran intensidad. De acuerdo con lo indicado, a priori, estos fenómenos deberían ser potencialmente menos peligrosos que los de finales de verano y otoño, sin embargo, los grandes impactos provocados por algunas de las últimas borrascas, como Gloria, nos hacen dudar de esta suposición.

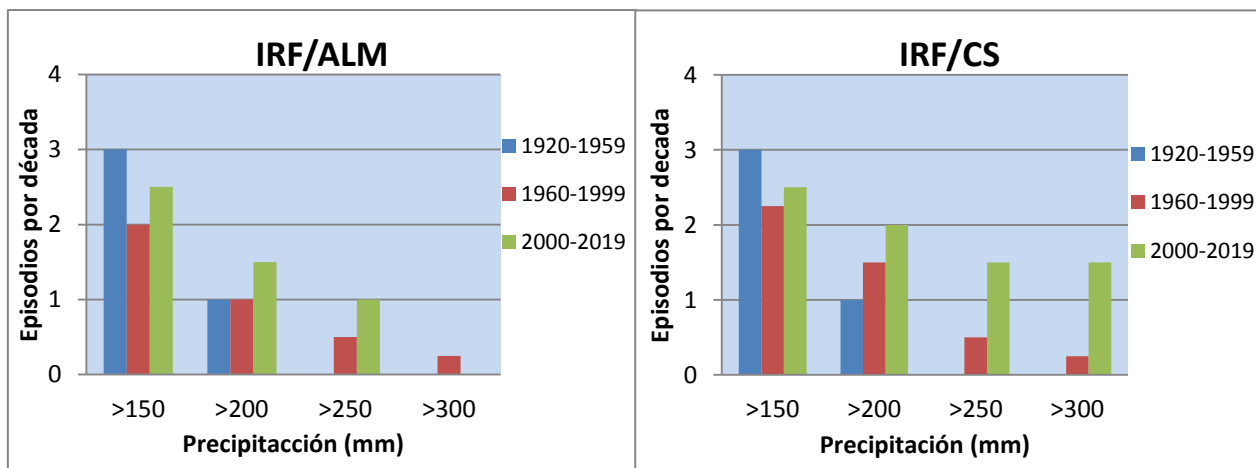
Dentro de este apartado, quedaría por analizar la severidad de los fenómenos que se desarrollan en varios días. En los últimos veinte años, y especialmente durante el primer decenio del siglo XXI, se han registrado varios temporales que han superado los 300 mm, fenómenos que, si analizamos el histórico de registros, no son muy habituales en la ciudad de Castellón (Cerdán, 2013). En las figuras 12-13 se ha representado la frecuencia por decenio de aparición de eventos iguales o superiores a 150, 200, 250 y 300 mm, para los tres subperiodos analizados y las series IRF/ALM y IRF/CS<sup>6</sup>.

En el examen de las figuras se puede constatar nuevamente las discrepancias entre las series IRF/ALM y IRF/CS. Si consideramos que la segunda es la más homogénea, podemos concluir que en la capital de la Plana se está reduciendo el periodo de retorno de aparición de estos eventos, especialmente a partir de precipitaciones superiores a los 200 mm. Así, si comparamos la frecuencia con la que se presentan los temporales con acumulados superiores a 250 mm, en el subperiodo 1920-1959 no se registró ningún evento mientras que en el siguiente aumentó a uno cada 20 años y actualmente se registra más de un episodio por decenio. Así pues, aunque no se observa un incremento claro en la intensidad de las precipitaciones máximas diarias sí que parece haberlo en los acumulados de los episodios de varios días de duración.

---

<sup>5</sup> En el primer cuatrimestre de 2020 se han producido dos episodios excepcionales. En enero, la denominada borrasca Gloria dio acumulados en algunos observatorios de la Plana Alta cercanos a los 230 mm (Benicassim villas: 145 mm en 24h y 229,8 mm en el cómputo total del temporal). Durante el segundo, a finales de marzo y principios de abril, se registró el record absoluto en el observatorio oficial de Almassora.

<sup>6</sup> Las lluvias registradas en noviembre de 2005, entre los días 9 y 15, se han considerado como un único temporal aunque fueron causadas por una doble entrada de aire frío en altura. Sin embargo, aunque no se contabilizase como tal, las conclusiones prácticamente serían las mismas.



**Figuras 12-13.** Evolución de la precipitación superior a 150, 200, 250 y 300 mm durante los episodios de varios días registrados durante los subperiodos 1920-1959, 1960-1999 y 2000-2019.

#### 4. Evolución de la precipitaciones anuales

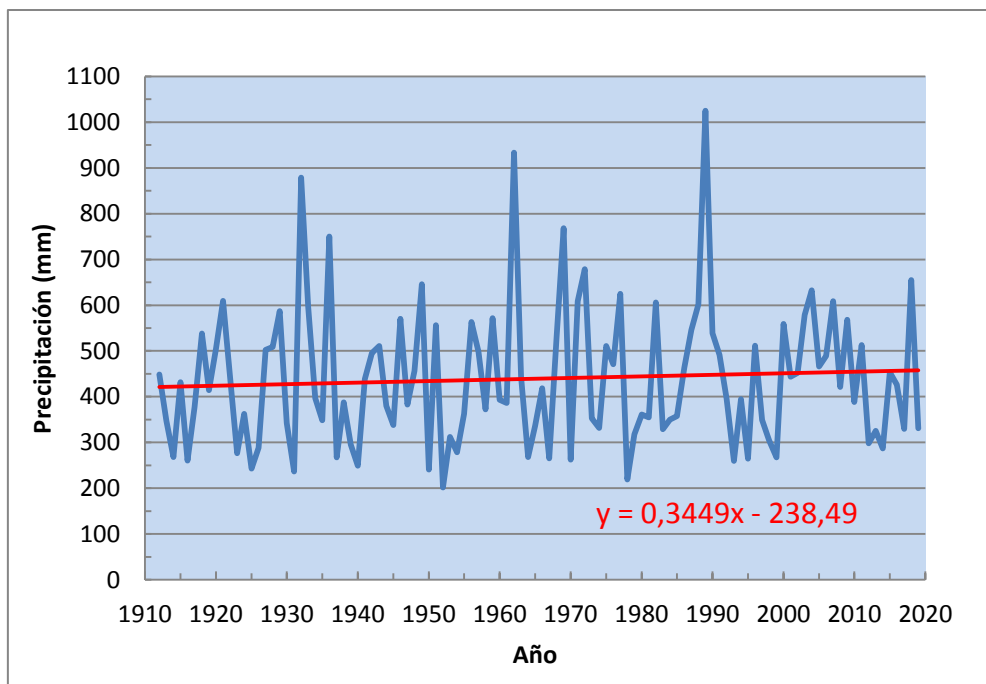
De acuerdo con lo comentado en la introducción, otro de los parámetros pluviométricos que podría verse afectado por el cambio climático es la precipitación anual. En este caso, para realizar el estudio se ha preferido utilizar la serie oficial IRF/ALM ya que, a diferencia de los datos diarios, no parece introducir errores<sup>7</sup> significativos. En la figura 14 se muestra la evolución de esta serie de datos.

Del examen de la representación se pueden destacar dos hechos: por un lado, la gran irregularidad interanual, que se manifiesta en una representación en forma de dientes de sierra; por otro lado, el ligero aumento anual de la precipitación, que ha crecido a un ritmo de 0,345 mm/año, lo que supone cerca de 40 mm desde principios del siglo XX hasta el presente<sup>8</sup>.

Con el objeto de estimar mejor la evolución de la pluviometría a lo largo de los años, se ha dividido la serie en tres subperiodos, dos de 45 años, para el siglo XX, y uno de 20 años, para el siglo XXI. En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos, comprobándose que la mayor parte del incremento se produjo durante la segunda mitad del siglo XX, siendo menos apreciable este aumento durante el presente siglo.

<sup>7</sup> Durante el periodo 1981-2010, el observatorio CS registró una precipitación en promedio 14,5 mm superior a la del observatorio ALM (Ginés, 2013). Estas diferencias apenas llegaron al 5% por lo que fueron muy inferiores a las constatadas para las lluvias diarias y los temporales, que en algunos casos superaron el 25%. Las diferencias entre ambos observatorios tan solo son significativas los años en los que se producen grandes ciclogénesis, siendo mucho menos importantes el resto de años, en los que el observatorio oficial puede llegar incluso a registrar precipitaciones más elevadas.

<sup>8</sup> De acuerdo con lo comentado, este incremento podría ser algo superior por las diferencias observadas entre observatorios pero estaríamos hablando de un aumento que no iría más allá de 0,5 mm/año.



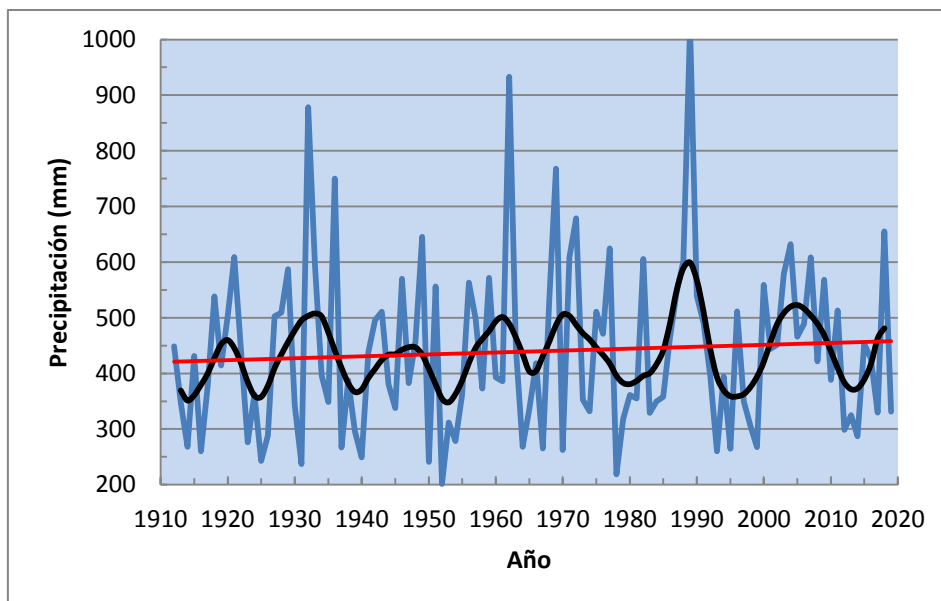
**Figura 14.** Evolución de las precipitaciones desde principios del siglo XX hasta el presente (serie IRF/ALM).

**Tabla 5.** Promedio de las precipitaciones anuales en los subperiodos 1910-1954, 1955-1999 y 2000-2019 (serie IRF/ALM).

| Subperiodo | Precipitación (mm) |
|------------|--------------------|
| 1910-1954  | 419                |
| 1955-1999  | 450                |
| 2000-2019  | 461                |

Así pues, de acuerdo con estos datos, en la ciudad de Castellón no se observa una reducción de las precipitaciones anuales sino todo lo contrario. Entonces, ¿por qué el informe del OS constata una reducción de las precipitaciones de ligera a moderada en la Comunidad Valenciana, que en el caso de Castellón sería de 0,9 mm/año?

Para explicar esta contradicción, es necesario primero realizar un examen más detallado de la evolución interanual de las precipitaciones. Si aplicamos un filtro a la serie de datos (Quereda, 1982) (Ginés, 2013), figura 15, desaparece la evolución en forma de dientes de sierra, pudiéndose apreciar una secuencia bastante nítida en la pluviometría anual, en la que se alternan periodos secos con otros más húmedos. Así, desde hace al menos un siglo, paralelamente al aumento de las precipitaciones medias se observa esta evolución cíclica en la pluviometría, durando el ciclo completo entre diez y dieciocho años, con un promedio de catorce años. Este hecho no excluye que dentro de un periodo seco haya un año con gran pluviometría, como ocurrió en 1982, o que, por el contrario, se dé un año muy seco en un periodo húmedo, como sucedió en 1970.

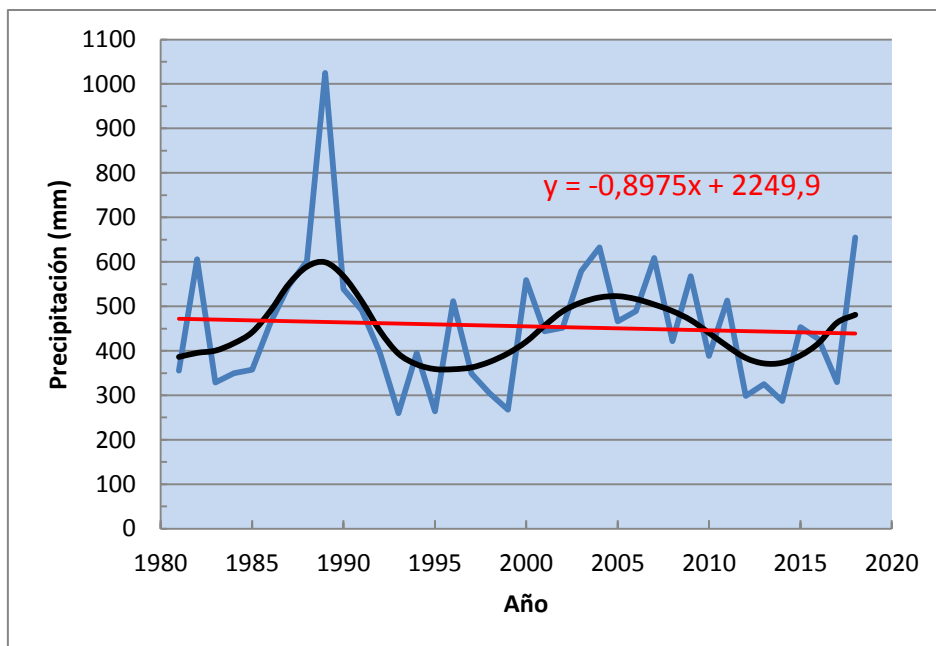


**Figura 15.** Evolución cíclica de las precipitaciones anuales (serie IRF/ALM).

Volviendo al informe del OS, si analizamos la pluviometría durante periodo 1981-1918 (figura 16), periodo utilizado por citado centro para el cálculo de la evolución de las precipitaciones, comprobamos que el máximo de la serie histórica, con bastante diferencia, se registró entre la segunda mitad de los años ochenta y principios de los años noventa. Así pues, aunque, las precipitaciones durante el siglo XXI han sido, en promedio, algo más elevadas que las registradas en la segunda parte del siglo XX, el gran peso que representa un periodo tan lluvioso al principio de la serie<sup>9</sup> provoca que la pendiente de la recta, resultante del ajuste de los datos, sea negativa en  $-0,9$  mm/año.

De acuerdo con lo indicado, podemos concluir que no se está produciendo una disminución de la pluviométrica en la ciudad de Castellón sino un ligero incremento que, en función del periodo analizado, puede resultar enmascarado por la gran variabilidad de las precipitaciones interanuales. Este hecho estaría de acuerdo con los cálculos realizados por el OS para el año 2050, basándose en el modelo CCSM4 en el escenario 8.5, que pronostican un aumento de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana. Dicho incremento sería consecuencia de una intensificación de la circulación meridiana (Quereda, 1994) y, por tanto, de un aumento de la actividad convectiva, lo cual tendría como consecuencia una mayor irregularidad en las precipitaciones.

<sup>9</sup> El periodo lluvioso más destacable desde que hay registros en Castellón ocurrió desde la segunda mitad de los años ochenta hasta principios de los noventa y culminó en el año 1989 con una precipitación máxima de 1.024,9 mm en el observatorio de Almassora (1.212,4 mm en la ciudad de Castellón, observatorio CS). La pluviometría media durante aquellos años (lustró 1987-1991) alcanzó en el observatorio oficial los 640,5 mm, casi 100 mm más que en los siguientes tres lustros más húmedos de la serie (Ginés, 2013).



**Figura 16.** Evolución de las precipitaciones en el periodo 1981-2018 (serie IRF/ALM).

Actualmente, de acuerdo con la evolución observada, tras un periodo seco que ha durado aproximadamente un lustro (2010-2015), desde el año 2016 estaríamos entrando en uno más húmedo, los registros futuros nos confirmarán dicha evolución.

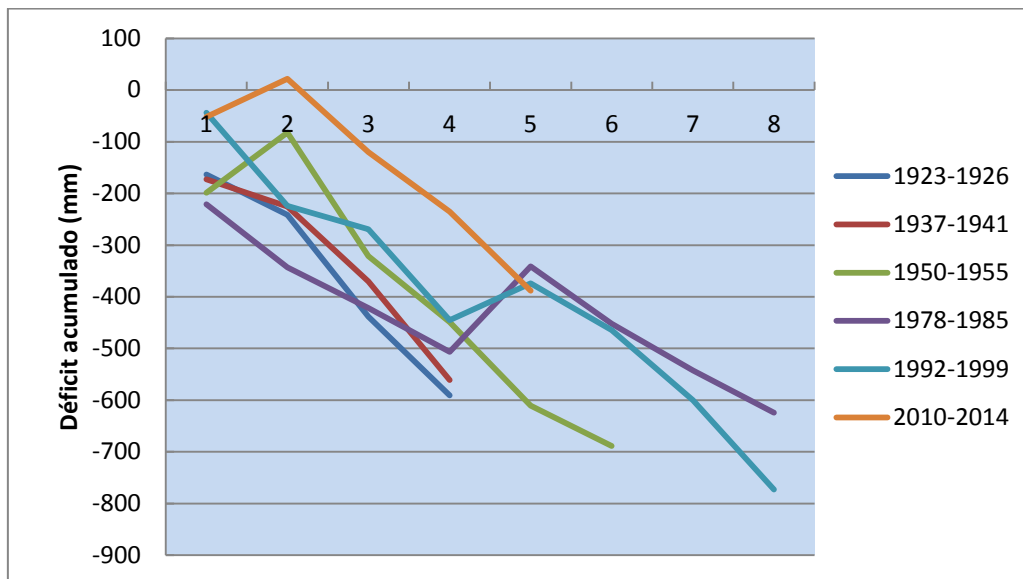
Finalmente, en este apartado quedaría por analizar la frecuencia y severidad de las sequías. El filtro aplicado a los datos anuales nos ayuda a determinar cuándo se produjeron las más intensas por lo que, de acuerdo con la figura 15, éstas se ocurrieron durante los años 1923-1926, 1937-1941, 1950-1955, 1978-1985, 1992-1999, registrándose la última entre 2010 y 2015.

La intensidad de las sequías se puede visualizar con dos parámetros, los años que duró y el déficit total registrado<sup>10</sup>. En la figura 17 se comparan todas las sequías registradas en los últimos ciento diez años. Puede comprobarse, que las más intensas, por los déficits acumulados, fueron las de 1950-1955, 1978-1985 y 1992-1999, con más de 600 mm. Por duración, destacan estas dos últimas, lo que nos permite concluir que fueron las más severas desde que hay registros. Sin embargo, la tendencia de estas dos últimas sequías no ha continuado, siendo el último periodo seco, 2010-2015, el menos intenso desde que hay registros.

Así pues, con los datos disponibles, y aunque las sequías del último cuarto del siglo XX fueron las más severas desde que hay datos, no se puede concluir que haya aumentado la frecuencia e intensidad de estos fenómenos. La sensación general de que se están incrementando los periodos secos no se puede sostener con las observaciones pero lo que sí es cierto es que el aumento de la evotranspiración, consecuencia del calentamiento global, unido a la sobre-explotación de los recursos hídricos,

<sup>10</sup> Aunque el promedio anual de las precipitaciones ha variado a lo largo de los años, para el cálculo del déficit acumulado se ha utilizado el valor promedio desde que hay registros que es de 440 mm.

probablemente generará cada vez más tensiones en dichos recursos, especialmente, durante los periodos secos.



*Figura 17. Sequías más severas desde principios del siglo XX hasta el presente.*

## 5. Evolución de la distribución estacional de las precipitaciones

El régimen estacional en las comarcas castellanense es típicamente mediterráneo, con máximos otoñales y mínimos estivales acusados pero la “desestacionización” de los episodios de lluvias intensas, que son los que suelen aportar buena parte del acumulado anual, puede estar modificando este patrón por lo que vamos a analizarlo en el presente apartado.

Para realizar el estudio, los datos mensuales de la serie pluviométrica IRF/ALM<sup>11</sup> se han dividido en tres subperiodos, dos de 45 años, para el siglo XX (1910-1954 y 1955-1999), y uno de 20 años, para el siglo XXI (2000-2019), calculándose los promedios mensuales para cada uno de los citados periodos.

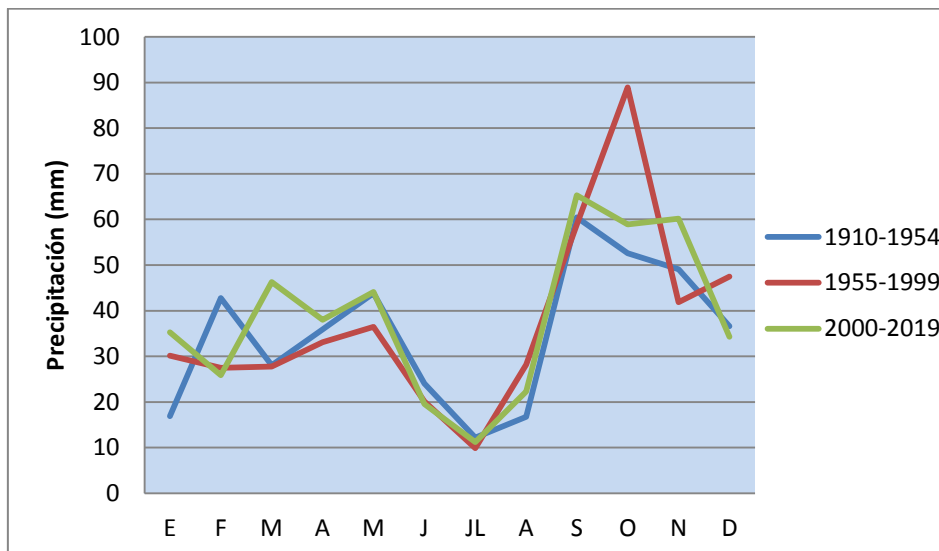
En la figura 18 se han representado los datos obtenidos, comprobándose que la distribución actual es más parecida a la de la primera parte del siglo XX (1910-1954) que a la de la su segunda parte (1955-1999). En efecto, actualmente el máximo otoñal ya no es tan marcado como en el subperiodo 1955-1999 y no está centrado en el mes de octubre, sino que las precipitaciones se distribuyen prácticamente por igual entre los meses de septiembre, octubre y noviembre. Por otro lado, el máximo secundario primaveral es ahora algo más manifiesto que en la segunda parte del siglo XX, cuando casi desapareció.

<sup>11</sup> A pesar de que los datos mensuales de los observatorios ALM y CS pueden presentar en algunos casos diferencias de hasta el 10% (Ginés, 2013), se considera que estas diferencias no deben afectar a las conclusiones obtenidas.



A pesar de esta similitud, también se observan diferencias entre la pluviometría de comienzos del siglo pasado y la actual. En efecto, el mínimo secundario invernal, centrado en enero, ha desaparecido, así como el máximo secundario de febrero, registrándose en los tres meses primaverales prácticamente las mismas precipitaciones.

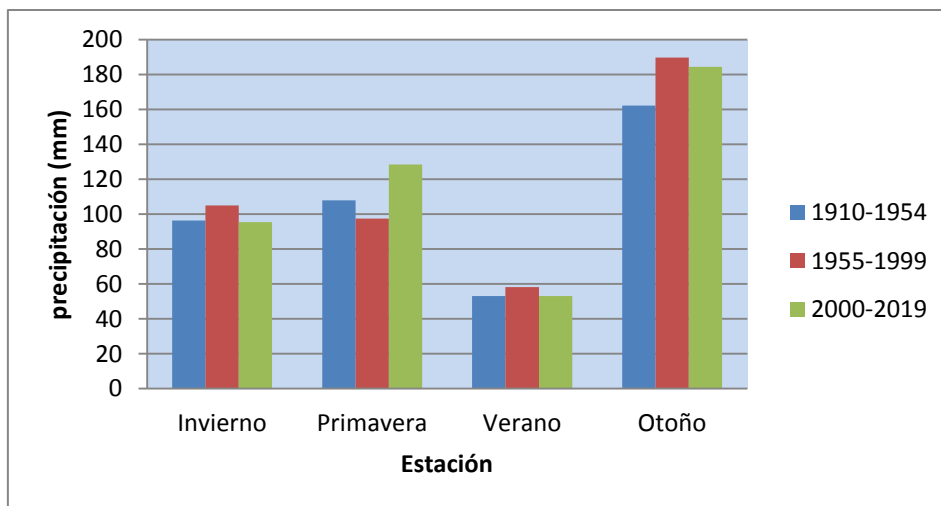
El mínimo acusado de precipitaciones estivales se ha mantenido sin apenas variaciones en los últimos cien años, siendo únicamente destacable, desde la segunda mitad del siglo XX, la ligera disminución que han presentado las precipitaciones en los meses de junio y julio y el aumento del mes de agosto.



**Figura 18.** Promedio de las precipitaciones mensuales en los subperiodos 1910-1954, 1955-1999 y 2000-2019 (serie IRF/ALM).

En conclusión y de acuerdo con lo comentado, aunque el desplazamiento de los episodios de precipitaciones intensas hacia el otoño tardío, la estación invernal y primaveral podrían estar afectando al patrón estacional, no se aprecia una evolución clara desde principios del siglo XX. Así mismo, y a diferencia de lo que indica el informe del OS para el conjunto peninsular, tampoco se observa una disminución de las precipitaciones durante el verano.

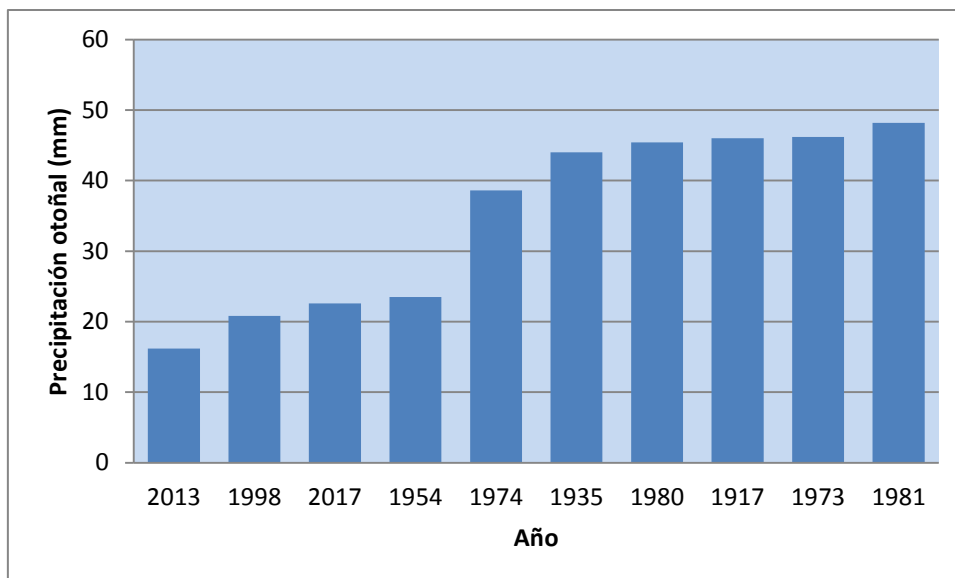
Si comparamos el acumulado de las precipitaciones estacionales, figura 19, las diferencias porcentualmente son todavía menores, manteniéndose prácticamente el mismo patrón desde hace más de cien años, con un ligero incremento en primavera y otoño, que son las estaciones que se han beneficiado del aumento anual observado desde la segunda mitad del pasado siglo.



**Figura 19.** Precipitación estacional promedio en los subperiodos 1910-1954, 1955-1999 y 2000-2019 (serie IRF/ALM).

No obstante, la aparente estabilidad mostrada por los valores promedio otoñales puede ocultar algunas variaciones en el régimen de las lluvias. En efecto, como puede observarse en la figura 19, en el último decenio se han registrado dos de los cuatro otoños más áridos desde que hay registros, con menos de 25 mm acumulados, lo que supone menos del 15% normal. El otoño del año 2013 ostenta el record negativo de precipitaciones, situándose el de 2017 en tercer lugar. Si consideramos los otoños con precipitación inferior a 50 mm (<30% del promedio), observamos que desde los años setenta del siglo pasado, con la excepción del decenio 2000-2009, en todas las décadas tenemos al menos un otoño muy árido. Este hecho contrasta con lo que ocurría antes de la década de los setenta cuando se registraba un otoño de estas características cada dos décadas.

Así pues, aunque los promedios se mantienen, se observa un claro aumento en la frecuencia de aparición de otoños extraordinariamente secos. Este hecho sería indicativo de un aumento en la irregularidad de las precipitaciones que, como hemos señalado podría ser consecuencia del calentamiento global. La irregularidad otoñal de la última década se ha visto compensada por el aumento de las lluvias intensas durante el invierno y la primavera, de modo que, si no se hubieran registrado los episodios extraordinarios de marzo de 2015, enero de 2017 y diciembre de 2019, nos encontraríamos ante una de las décadas más áridas desde que hay registros.



**Figura 20.** Otoños en los que se registraron menos de 50 mm (serie IRF/ALM).

## 6. Conclusiones

En el presente trabajo se ha analizado el posible efecto del cambio climático sobre el régimen de precipitaciones en la ciudad de Castellón, siendo su objetivo responder a las siguientes preguntas: ¿Está incrementándose la frecuencia e intensidad de los episodios de lluvias torrenciales? ¿Ha aumentado o disminuido la precipitación media anual? ¿Las sequías son más frecuentes e intensas actualmente? ¿Se está modificando el patrón de lluvias estacional? Para realizar el estudio se han utilizado la series de datos de tres observatorios, los dos oficiales, que hemos denominado IRF y ALM, y el del autor, que hemos denominado CS.

El primero de los parámetros analizados ha sido el de las precipitaciones máximas diarias, detectándose diferencias significativas entre las series de datos de los observatorios ALM y CS, que algunos casos superan el 30%. La credibilidad de los estudios sobre variabilidad climática debe estar fundamentada en la utilización de datos meteorológicos de calidad y homogéneos, ya que en caso contrario se genera una fuerte de incertidumbre sobre la validez de los resultados obtenidos. Debido a ello, se ha considerado más válida para el análisis de las precipitaciones diarias la serie del observatorio CS, ubicado a escasos 300 m del antiguo observatorio oficial del IES Francisco Ribalta.

Del examen de los datos se constata un aumento en la frecuencia de los aguaceros superiores a los 100, 125 y 150 mm, hecho confirmado con el análisis estadístico, que pronostica para cualquier periodo de retorno precipitaciones máximas más intensas. Sin embargo, desde hace más de 60 años no se han superado en la ciudad de Castellón los 170 mm en un día meteorológico, registro bastante alejado de los records alcanzados durante el pasado siglo. Algunos modelos pronostican una disminución de las precipitaciones máximas en el levante español por lo que, actualmente, con los datos

disponibles, resulta bastante complicado prever la evolución futura de las precipitaciones máximas diarias.

Por el contrario, sí que se ha constatado una “desestacionalización” de los episodios de lluvias muy fuertes. Dicha “desestacionalización” se podría explicar por cambios en la corriente en chorro, que estarían favoreciendo la frecuencia de aparición de DANAS y de situaciones de viento de levante fuera de la temporada otoñal que unidos a una temperatura marítima más elevada crean el ambiente propicio para las lluvias torrenciales.

Así mismo, en el estudio también se ha observado un aumento de la frecuencia de los temporales con registros superiores a los 250 mm, pasando de ser excepcionales en el siglo XX a tener un periodo de retorno inferior a los diez años.

El segundo de los parámetros analizados ha sido el de las precipitaciones anuales. En este caso, debido a que las diferencias entre observatorios son mucho menores que las de las observadas en las precipitaciones diarias, el análisis se ha realizado con la serie IRF/ALM. Se observa un ligero incremento de los registros, de 0,34 mm/año, desde principios del siglo pasado. No obstante, este incremento, en función del periodo que se analice, puede resultar enmascarado por la gran variabilidad de las precipitaciones interanuales. El aumento de las precipitaciones estaría de acuerdo con los cálculos realizados por el OS para el año 2050, basándose en el modelo CCSM4 escenario 8.5, que pronostica un incremento de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana. Dicho incremento sería consecuencia de un aumento de la circulación meridiana y, por tanto, iría unido a una mayor irregularidad en las precipitaciones.

Desde principios del siglo pasado, paralelamente al aumento de las precipitaciones medias se observa una evolución cíclica de la pluviometría, en la que se alternan periodos secos con otros más húmedos. Aproximadamente, cada catorce años se registra un periodo muy seco en las comarcas castellonenses que dura de cuatro a ocho años. Al comparar las sequías ocurridas desde principios del siglo XX, se constata que el último periodo seco, que va de 2010 a 2015, ha sido el más benigno de la serie. Así pues, aunque las sequías del último cuarto del siglo XX fueron las más severas desde que hay registros, no se puede concluir que haya aumentado la frecuencia e intensidad de las mismas. La sensación general de que están intensificando los periodos secos no se puede sostener con las observaciones; sin embargo, el aumento de la evotranspiración, consecuencia del incremento de las temperaturas, unido a la sobre-explotación de los recursos hídricos aumentará con toda probabilidad las tensiones hídricas, especialmente durante los periodos secos cíclicos.

Finalmente, se ha analizado la variación de las precipitaciones mensuales y estacionales. A pesar de la constatada “desestacionalización” de los episodios intensos, no se observa una tendencia clara en la evolución del patrón estacional, pareciéndose el régimen actual más al de comienzos de siglo XX que al de la segunda parte del pasado siglo. No

obstante, a pesar de la relativa estabilidad que nos señalan los promedios, en la última década se han registrado dos de los otoños más secos desde que hay registros. Este hecho, indicativo de un aumento en la irregularidad de las precipitaciones, algunos autores lo relacionan con cambios en la circulación zonal/meridiana. La escasez de precipitaciones observada en algunos otoños de la última década se ha visto compensada por episodios de lluvias muy intensas durante el invierno y la primavera, de modo que, si no se hubieran registrado estos episodios, extraordinarios hasta hace pocos años, nos encontraríamos probablemente ante una de las décadas más áridas desde que hay registros.

Como conclusión final y de acuerdo con lo arriba comentado, podemos señalar que, al margen de la variabilidad típica del clima mediterráneo, desde principios del siglo pasado se han constatado cambios apreciables en el régimen pluviométrico, especialmente en la intensidad de los temporales y en la aparición de lluvias muy fuertes fuera temporada. Estos cambios se relacionan con alteraciones en la corriente en chorro así como con una mayor temperatura atmosférica y marítima por lo que es muy probable que sean consecuencia del actual contexto de cambio climático.

## 7. Bibliografía

AEMET (2015). *Temporal de marzo de 2015 en la Comunidad Valenciana*. Recup. de [https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/estudios/Temporal-marzo2015-cval.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Temporal-marzo2015-cval.pdf).

AEMET (2020). *La borrasca "Gloria" es el tercer temporal mediterráneo en nueve meses que bate récords históricos*. Recuperado de [http://www.aemet.es/es/noticias/2020/01/Tres\\_temporales\\_mediterraneos\\_en\\_nueve\\_meses](http://www.aemet.es/es/noticias/2020/01/Tres_temporales_mediterraneos_en_nueve_meses).

Cerdán Pérez, M.A; Ginés Llorens, F. (2013). *Valores máximos de precipitación en los municipios de Castellón y Benicàssim*. Repositori UJI. Recuperado de <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/63523>.

Ginés Llorens, F. (2013). *Pluviometrías anuales y mensuales en los municipios de Castellón, Almassora y Benicàssim, extremos y su evolución con el tiempo*. Repositori UJI. Recuperado de <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/64973>.

IIAMA. *El cambio climático provocará sequías más frecuentes y severas en la cuenca del Júcar*. Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente, sala de prensa. Recuperado de <https://www.iiama.upv.es/iiama/es/sala-prensa/noticias/el-cambio-climatico-provocara-sequias-mas-frecuentes-y-severas-en-la-cuenca-del-jucar.html>.

Martín León, F. (2017). *La corriente en chorro en un clima más cálido*. Tiempo.com: Revista RAM. Recuperado de <https://www.tiempo.com/ram/325492/la-corriente-chorro-clima-mas-calido/>.

Martín León, F. (2019). *El cambio climático y los episodios de lluvias intensas mediterráneas*. Tiempo.com: Revista RAM. Recuperado de <https://www.tiempo.com/ram/cambio-climatico-episodios-de-lluvias-intensas-mediterraneas.html>.

Observatorio de Sostenibilidad, OS (2019). *Evolución de las precipitaciones en España*. Observatorio de la Sostenibilidad. Recuperado de <https://www.observatorio.sostenibilidad.com/2019/07/18/evolucion-de-las-precipitaciones-en-espana/>.

Ministerio de Medio Ambiente (1998). *Las precipitaciones máximas en 24 horas y sus periodos de retorno en España. Volumen 1*. Madrid, Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente.

Quereda Sala, J. (1982). *Castellon precipitaciones y radiación solar*. Castellón de la Plana, publicaciones del Excelentísimo Ayuntamiento de Castellón.

Quereda Sala, J. (1994) *¿Hacia un cambio climático? Lliçó de apertura del curs 1993-1994*. Castellón de la Plana. Universitat Jaume I.

Saladié, O. (2011). *Cien años de observaciones meteorológicas en la comarca Catalana de Ribera D'Ebre (1911-2011)*. Revista Seug. Recuperado de <https://revistaseug.ugr.es/index.php/cuadgeo/article/viewFile/582/670>