

¿EVOLUCIÓN ACELERADA DE LOS EPISODIOS DE PRECIPITACIÓN EXTREMA EN LA CUENCA DEL EBRO?

Jesús ABAURREA, Jesús ASÍN, Ana C. CEBRIÁN y Alberto CENTELLES
Departamento de Métodos Estadísticos
Universidad de Zaragoza

RESUMEN

En este trabajo se analizan diversos índices que reflejan las características de los episodios de precipitación extrema en la Cuenca del Ebro, con el objetivo de establecer si su ocurrencia o intensidad evolucionan de un modo lineal o acelerado respecto de la señal de lluvia. De acuerdo con el IPCC TAR (2001), los episodios extremos de precipitación se incrementan o disminuyen cuando lo hace la lluvia acumulada, a una tasa mayor que la de ésta; a este efecto es al que hemos denominado “aceleración”. La base de datos que analizamos está constituida por 22 series diarias correspondientes al periodo 1941-2002, cuyas longitudes están entre los 18 y 61 años y que han pasado estrictos controles de calidad. Los índices son similares a los empleados en los proyectos europeos STARDEX o ECA, aunque se han ajustado respecto a la cantidad total anual para facilitar el análisis. La metodología aplicada consiste en análisis de correlación y tendencia y, finalmente, en modelos de regresión que permiten determinar si existe o no un comportamiento acelerado de los extremos y estimar la intensidad de dicho efecto. Los resultados obtenidos hasta el momento indican que el efecto aceleración se observa claramente en la ocurrencia de los episodios, no en su intensidad, y que no se produce simultáneamente en todo el territorio: se detecta en la parte oriental de la Cuenca a partir de 1941 y en el resto a partir de los años 70.

Palabras clave: Sucesos de Precipitación Extrema, Efecto Aceleración, Precipitación diaria, Análisis de tendencias, Cuenca del Ebro.

ABSTRACT

Precipitation extreme indices are analysed in the Ebro river basin in order to assess if the frequency or the intensity of extreme events are evolving in a linear or an accelerated way with regard to the rainfall signal. According to the IPCC TAR (2001), the extreme precipitation events increase or decrease as the rainfall does but at a steeper rate; we call this effect “acceleration”. Our dataset consists of 22 daily precipitation series, with lengths between 18 and 61 years, which cover the period 1941-2002 and overcame severe quality controls. The analysed indices are similar to the ones used in the STARDEX or ECA projects but they have been relatively adjusted with respect to the total amount. The methodological tools are correlation and trend analysis and, finally, regression models, which allow us to assess if there exists an accelerated behaviour and to estimate its intensity. The results show that an acceleration effect is observed in the occurrence process but not in the event intensity. This effect does not occur simultaneously all over the territory: in the eastern part of the basin we detect this effect from 1941, while in the rest of the region it becomes noticeable only from the 70’s onwards.

Key words: Extreme precipitation events, Acceleration effect, Trend analysis, Daily precipitation, Ebro river basin.

1. INTRODUCCIÓN

Las conclusiones del IPCC TAR (2001) relativas a la evolución de los episodios extremos de precipitación señalan que en aquellas regiones donde la precipitación anual media aumenta, la tasa de incremento de la proporción de precipitación recogida en los episodios extremos es significativamente mayor; un efecto contrario tendría lugar donde la precipitación anual media disminuye. Algunos autores, KARL y KNIGHT (1998) por ejemplo, encuentran ese tipo de efecto pero otros, como ZHANG *et al.* (2001), consideran que los episodios de precipitación extrema evolucionan paralelamente con la señal de la precipitación.

KLEIN TANK y KÖNNEN (2003), analizando las series de precipitación de la base de datos ECA (*European Climate Assessment project*), encuentran que, de 35 observatorios con tendencia creciente significativa, al nivel 0.05, en la cantidad total acumulada, en el periodo 1946-99, 11 muestran un incremento significativo del porcentaje de la lluvia global correspondiente a los episodios de intensidad superior al percentil 95; sin embargo, no encuentran signos de aceleración en los observatorios cuya precipitación decrece de forma significativa.

En relación con la Cuenca del Ebro, GONZÁLEZ-HIDALGO *et al.* (2004) analizan para el periodo 1931-2000 y en observatorios del centro del valle y del Pirineo Aragonés, la proporción de la lluvia anual que supone la acumulación de los valores máximos observados en cada mes, obteniendo que, en el valle, esa proporción disminuye o permanece constante, mientras en el Pirineo se incrementa. ABAURREA *et al.* (2005) estudiaron este tema utilizando 8 observatorios con diferente patrón de precipitación y un índice areal basado en 28 estaciones distribuidas por toda la Cuenca. Constataron la evolución paralela de las propiedades de los episodios extremos y la precipitación total y estudiaron el efecto aceleración en 1986-2002, un periodo de evolución monótona en esos observatorios, encontrando que el efecto se observaba en algunas regiones pero que no era generalizado.

En este trabajo volvemos a analizar este problema utilizando una base de datos ampliada que contiene series de todas las áreas de la Cuenca con una diferente evolución de la precipitación, ABAURREA *et al.* (2002). Empleamos una metodología mejorada que permite estudiar el efecto en un periodo arbitrario, con una evolución no necesariamente monótona de la precipitación. En la sección 2 se presenta la base de datos de trabajo y en la 3 los índices considerados y la metodología empleada; en la sección 4 se analizan las características, periodos y regiones donde se detecta aceleración y se estima su intensidad. La última sección recoge las conclusiones metodológicas y climáticas.

2. BASE DE DATOS UTILIZADA

El análisis del posible cambio en los episodios de precipitación extrema requiere de series de precipitación diaria prolongadas, registradas con criterios homogéneos y precisión suficiente. La falta de constancia o rigor en la toma de datos, junto con eventuales cambios de observador o aparato, inevitables cuando se analizan periodos amplios, provocan que la calidad de los datos se modifique, pudiendo volverse inadecuados para el estudio. Un ejemplo de los problemas que plantea una base de datos diarios cuya calidad no ha sido suficientemente controlada, puede verse en MÖBERG y JONES (2005) quienes, al analizar los resultados relativos a 6 índices de precipitación extrema basados en percentiles de la precipitación diaria, en observatorios de la base ECA, advierten que hay problemas de

¿EVOLUCIÓN ACELERADA DE LOS EPISODIOS DE PRECIPITACIÓN EXTREMA EN LA CUENCA DEL EBRO?

inhomogeneidad en las series, por lo que los resultados que toman en cuenta se refieren al signo de las tendencias y cambios relativos, sin dar crédito a los resultados numéricos.

Las series usadas en este trabajo fueron seleccionadas tras un estricto proceso de control de calidad y homogeneidad, ABAURREA *et al.* (2004), que analizó más de 100 series de la Cuenca, con registros entre 1941 y 2002. El control de calidad estuvo basado en: (i) un control de de las series anuales de precipitación acumulada y de frecuencia de días de lluvia; (ii) un contraste posterior de la series que superaron la fase anterior, donde se analizó cada serie aisladamente y en relación con las de observatorios muy próximos.

Como resultado, las series se clasificaron en tres categorías: A, formada por aquéllas que pasan todos los controles requeridos en el periodo en que se encuentran activas o en un subperiodo muy amplio; B, series de calidad inferior, que habitualmente no miden con precisión las cantidades pequeñas y que pueden servir de apoyo a las primeras y C, series que no se consideran útiles. Señalemos que en la formación de la base de datos no se ha realizado ningún proceso de ajuste u homogeneización.



Fig. 1: Mapa con los observatorios utilizados

La base de datos proporciona una visión aceptable del fenómeno a partir de 1951, ver fig 1 y tabla 1. De las 22 series de calidad A, 5 tienen más de 40 años de longitud, 9 cuentan con datos del primer periodo considerado, 1951-85, y 8 del segundo, 1968-2002. Hemos trabajado con 8 series de calidad B, 3 del primer periodo y 5 del segundo. Si se analiza el mapa y la tabla vemos que la representación que proporciona la base de datos es, en ciertas épocas y regiones, insuficiente: faltan estaciones para analizar el primer periodo en el NW de la Cuenca y series con las que estudiar lo que ocurre a partir de los años 90 en la franja oriental.

Observatorio	Periodo	Observatorio	Periodo	Observatorio	Periodo
Miñón	1969-2002	Terrer	1944-1974	Estangento	1945-1968
Villarcayo	1972-2002	Daroca	1945-2000	Capdella	1968-1991
Soto en Cameros	1979-2002	Tornos	1951-2001	Adrall	1945-1978
Olite	1970-1994	Calamocha	1963-1984	Tora	1952-1976
Fitero	1956-1996	Cella	1970-1991	Lérida	1949-1982
Sabiñánigo	1963-1980	Zaragoza	1947-2002	Cabaces	1952-1982
Aniés	1968-2002	Santolea	1941-1964	Tortosa	1941-2002
Boltaña	1974-2002				
Salinas de Añana	1971-2001	Torla	1974-2002	Terradets	1964-1989
Logroño	1953-1979	Salinas de Bielsa	1961-1985	Pena	1966-2002
Alagón	1951-1982	Pallaruelo de Mo.	1979-2002		

Tabla 1: PERIODO ANALIZADO EN LOS OBSERVATORIOS A (ARRIBA) Y B (ABAJO) DE LA BASE DE DATOS

3. METODOLOGÍA

Siguiendo una regla habitual que pretende evitar problemas provocados por el diferente criterio de los observadores en el registro de las cantidades pequeñas, hemos considerado un *día húmedo* aquél en el que la precipitación recogida es superior o igual a 1 mm y un *día seco* aquél que no registra precipitación o ésta es inferior a ese valor umbral. Para las series de calidad B, ha sido necesario identificar un umbral, a partir del cual hemos considerado que todos los datos han sido observados sistemática y correctamente. No todos los índices relativos a episodios extremos pueden calcularse en este tipo de observatorios pero se ha establecido un procedimiento de estimación de los percentiles de referencia, a partir de la distribución truncada por el umbral identificado en cada uno, que permite definir varios “índices extremos”.

3.1. Análisis de la evolución observada en los sucesos extremos

En este tipo de análisis, las características de los episodios se resumen en un conjunto de índices; hemos considerado los siguientes:

- (i) Globales: F_w , el número anual de días húmedos y la cantidad total de precipitación registrada en esos días, C_w .
- (ii) Relativos a la intensidad de los episodios: Max , la máxima precipitación diaria observada en cada año, $Max5$, el máximo valor anual de la precipitación acumulada en 5 días consecutivos, $Ip90$ e $Ip95$, la intensidad media en los días en que la cantidad medida supera los percentiles 90 y 95 de referencia. Dada la estructura de la base de datos, se han utilizado dos periodos de referencia, 1952-71 y 1972-91.
- (iii) Relativos a la frecuencia: $Fp90$ y $Fp95$, el número de días cuya cantidad de precipitación supera, respectivamente, los percentiles 90 y 95 de referencia.
- (iv) De localización: $p90$ y $p95$, los percentiles 90 y 95 de la distribución de cantidades de precipitación diaria medidas en cada año.

En las series de calidad B los percentiles de referencia se estiman a partir de la distribución truncada por su umbral de medición, después de comparar en varios observatorios de calidad A próximos del observatorio B problema, la distribución de las cantidades diarias y la distribución truncada por ese umbral.

En una primera fase de análisis se comparan la evolución de los índices extremos y de la cantidad total, C_w , mediante un análisis gráfico de sus señales suavizadas y un estudio de la correlación entre las respectivas series, ver tabla 2.

3.2. Análisis de la hipótesis de aceleración

En una segunda fase, se analizan las propiedades que muestran una evolución paralela a la de C_w , utilizando índices relativos; esta aproximación permite analizar las series globalmente, sin necesidad de trocearlas en periodos de tendencia monótona en C_w . P_{fp90} , P_{fp95} y P_{max5} son, respectivamente, el cociente, cada año, entre los valores de F_{p90} , F_{p95} , $Max5$ y C_w . Además, se estudian los índices P_{p90} y P_{p95} , el porcentaje de C_w correspondiente a aquellos días donde la precipitación es mayor que los percentiles 90 y 95 de referencia.

Para determinar dónde y cuándo aparece el efecto aceleración, se analiza la correlación entre esos índices relativos y C_w , utilizando periodos móviles de 20 años. Las series de los coeficientes de correlación móviles, ver fig. 3 y 4, indican cuándo y en qué observatorios tiene lugar la aceleración y cómo evoluciona ésta.

Al haber retirado de los índices el efecto de C_w , la correlación positiva entre la evolución de los nuevos índices y C_w puede interpretarse en términos de aceleración. Veamos un ejemplo con F_{p90} :

$$P_{fp90} = \alpha + \beta C_w \Leftrightarrow F_{p90} = \alpha C_w + \beta (C_w)^2$$

La presencia en el modelo de P_{fp90} de un efecto lineal significativo en C_w , equivale a la necesidad de un término cuadrático en la relación entre F_{p90} y C_w y, en consecuencia, a la existencia de un efecto aceleración estadísticamente significativo; si el término β no es distinto de 0, estaremos ante una evolución paralela de F_{p90} respecto de C_w .

Para obtener resultados comparables en las localidades de una misma región con distinto nivel pluviométrico, hemos calculado las pendientes utilizando la serie estandarizada de C_w , $z.C_w$. Para poder comparar las pendientes obtenidas en índices diferentes, los modelos se han estimado también usando como respuesta los índices estandarizados.

4. RESULTADOS

4.1. Evolución de las propiedades de los episodios extremos

La evolución de la precipitación en el periodo y territorio analizados no ha sido homogénea, ABAURREA *et al.* (2002); en la fig. 2 se muestra dicha evolución en 6 observatorios de diferentes regiones, usando curvas *LOWESS* con un parámetro de ventana equivalente a 20 años.

Para mostrar el grado de similitud entre la evolución de la precipitación total y la de los índices extremos considerados, la tabla 2 resume las distribuciones de las muestras de

coeficientes de correlación índice-Cw en los 30 observatorios. Los índices de frecuencia, Fp90 y Fp95, son los más correlacionados y significativos, al nivel 0.01, en todos ellos; en un segundo nivel se encuentran los índices correspondientes a los valores máximos, p90 y p95 y, finalmente, los índices relacionados con la intensidad media de los episodios. Pese a la escasa correlación de los índices de intensidad, ésta es significativa en algunos observatorios, que se concentran en ciertas regiones: la zona central del Valle (Soto, Olite, Fitero, Alagón, Zaragoza, Pallaruelo) y dos áreas en la parte oriental, el Pirineo catalán (Estangento y Adrall) y la desembocadura del Ebro (Tortosa y Pena).

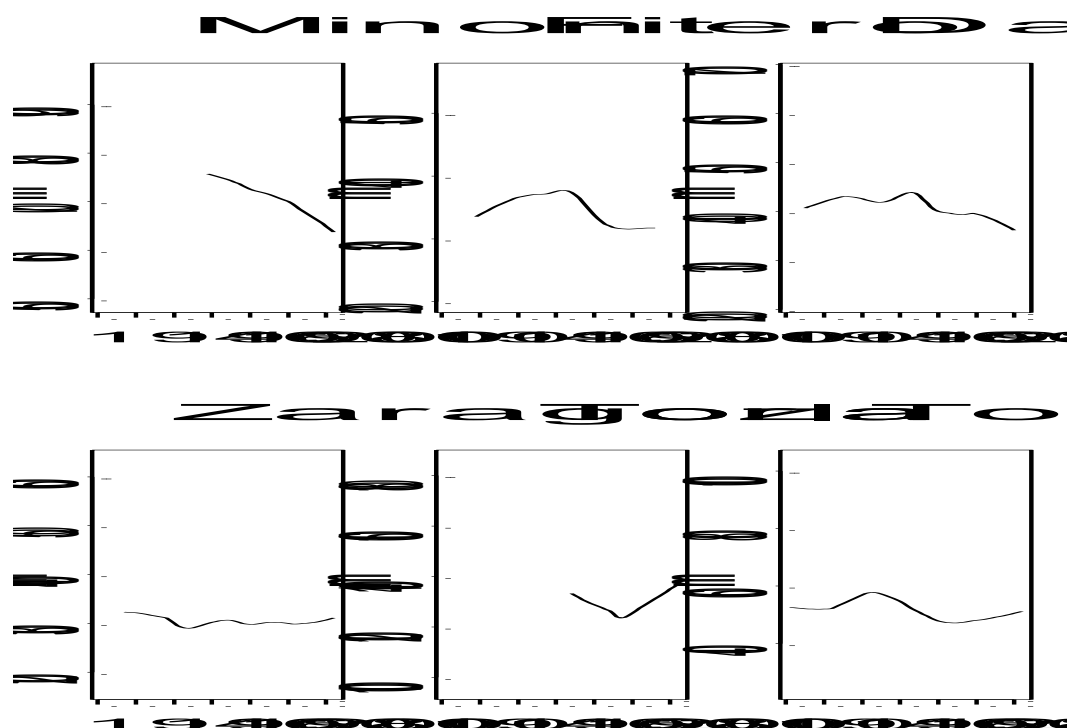


Fig. 2: Precipitación anual y valor medio suavizado en 6 observatorios

	Fp90	Fp95	Ip90	Ip95	Max	Max5	p90 ⁽¹⁾	p95 ⁽¹⁾
3er cuartil	0.82	0.78	0.46	0.39	0.60	0.62	0.61	0.62
Mediana	0.80	0.71	0.30	0.24	0.47	0.50	0.57	0.53
1er cuartil	0.76	0.63	0.16	0.15	0.36	0.39	0.45	0.42
Nº coef. sign. nivel 0.01	30	30	9	4	16	16	15	15
Nº coef. sign. nivel 0.05	30	30	12	10	19	22	19	18
Nº coef. sign. nivel 0.10	30	30	14	11	22	25	20	21

Tabla 2: DISTRIBUCIÓN DE LOS COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES Y CW ⁽¹⁾ CALCULADOS CON LOS 22 OBSERVATORIOS DE CALIDAD A

4.2. Análisis exploratorio del efecto aceleración

La detección del efecto aceleración se realiza en los índices que muestran mayor similitud con C_w , es decir, los de frecuencia y valores máximos, seleccionando un representante de cada clase, F_{p90} y $Max5$, respectivamente. Se analiza además P_{p90} , un índice que combina el efecto de la frecuencia y la intensidad.

P_{max5}

Los coeficientes de correlación $P_{max5}-C_w$ son positivos en 8 observatorios, en ninguno de ellos significativamente distintos de 0 al nivel 0.05. Las series de coeficientes móviles de este índice se representan en la Figura 3; a la vista de los resultados concluimos que la evolución de $Max5$ es paralela a la de C_w y que no existe efecto aceleración. Aparentemente, la relación entre los índices de máximos y C_w se establece a través de la frecuencia de días de precipitación, F_w ; cuando C_w cambia, lo hace la frecuencia de días húmedos y, con ella, los valores máximos de los episodios que están relacionados con el tamaño de muestra.

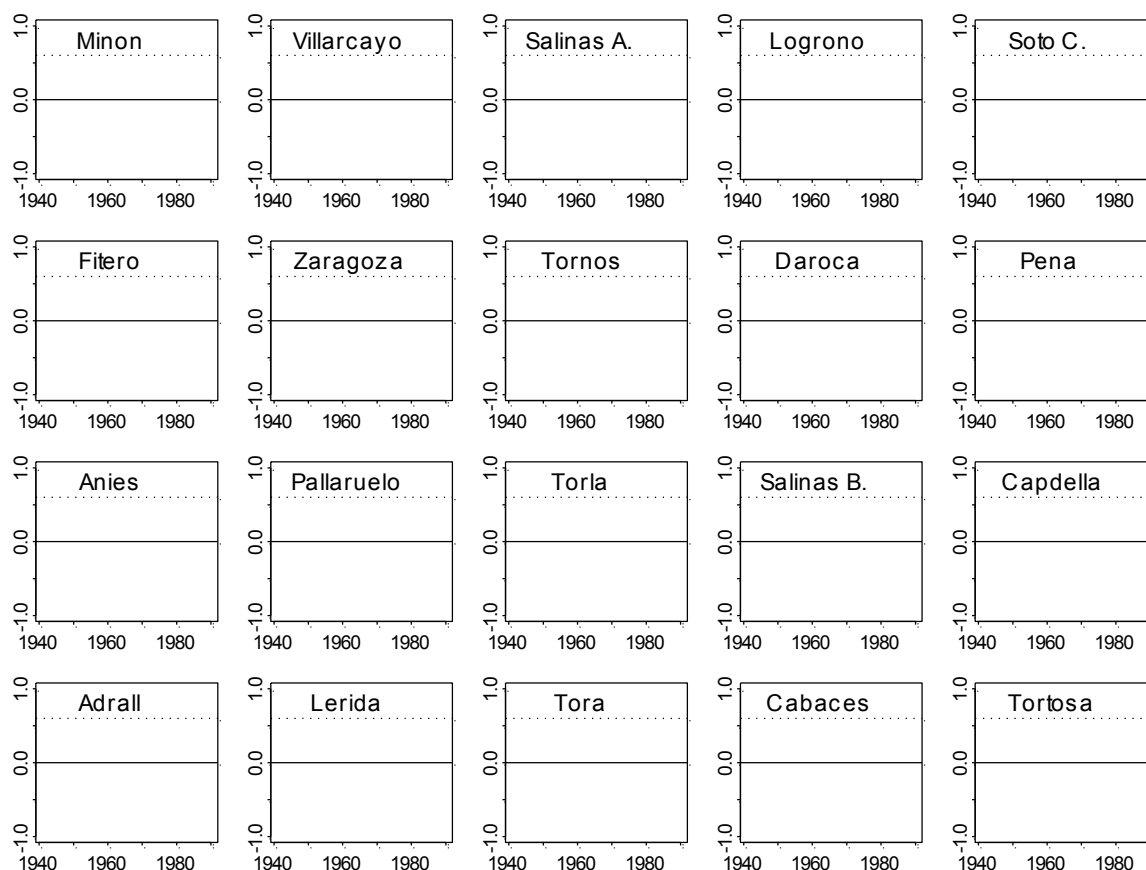


Fig. 3: Series de coeficientes de correlación móviles $P_{max5}-C_w$; se han dibujado los niveles 0 y 0.6 como referencia

P_{fp90}

A diferencia de P_{max5} , todas las series de coeficientes de correlación móviles $P_{fp90}-C_w$, ver Figura 4, se mantienen en valores positivos. Observamos dos patrones de evolución distintos:

- (i) En la región oriental, los valores máximos se observan en las décadas de los 40 y 50, después la correlación se reduce paulatinamente; sólo disponemos de la serie de Tortosa para analizar el comportamiento observado hasta el año 2002. El efecto aceleración en este área se estudiará en el periodo 1941-73.
- (ii) Para el resto de la Cuenca, observamos en las series una tendencia creciente que, con ligeras diferencias, alcanza su nivel máximo a partir de los años 70. Concluimos que hay signos claros de aceleración en Fp90 y seleccionamos el periodo 1973-2002 para analizar este efecto.

Pp90

El hecho más destacable en la evolución de los coeficientes de correlación Pp90-Cw es su similitud con los resultados observados en la relación Pfp90-Cw; por ello se adoptan las mismas conclusiones que para ese índice.

4.3. Caracterización y estimación del efecto aceleración

La última etapa del estudio consiste en la evaluación del efecto detectado en Pfp90 y Pp90, que estimaremos mediante modelos de regresión de esos índices frente a Cw.

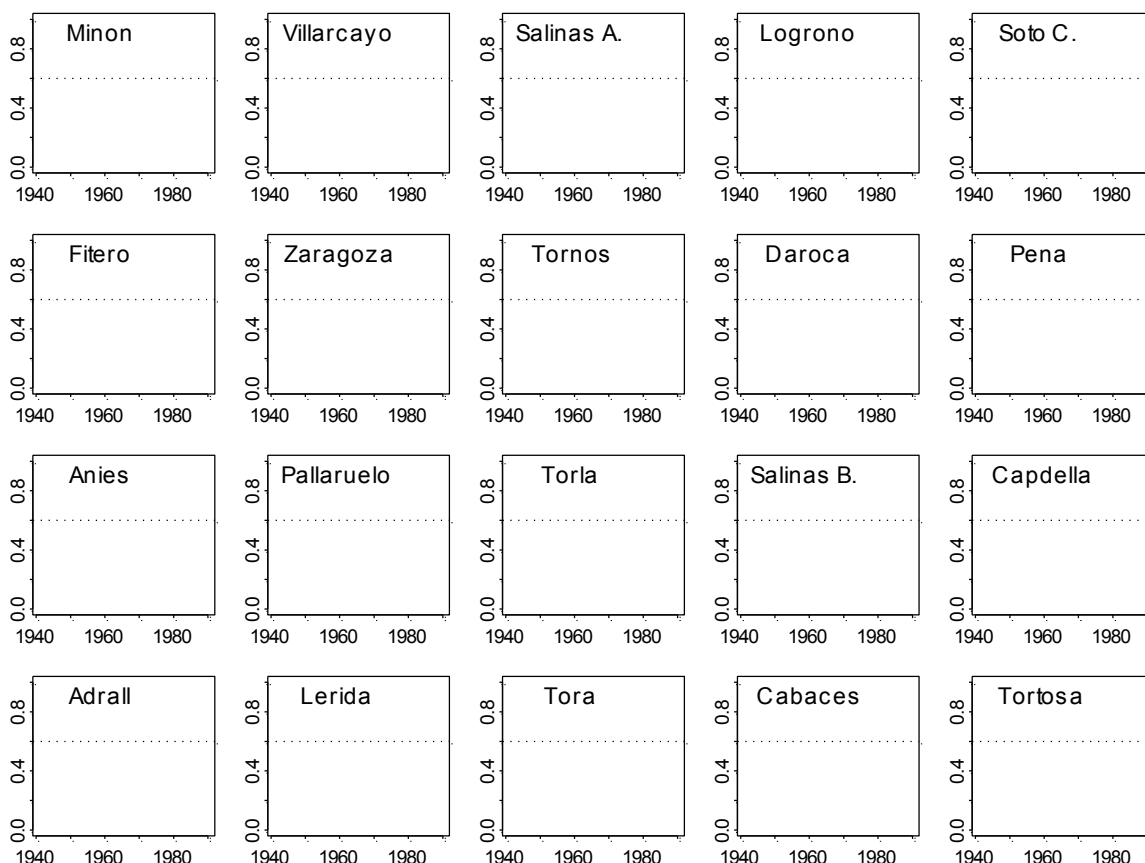


Fig. 4: Series de coeficientes de correlación móviles Pp90-Cw; se señala el nivel 0.6 como referencia

Pfp90

La tabla 3 contiene las pendientes estimadas en los modelos de regresión de Pfp90 frente a z.Cw, indicando los periodos temporales utilizados en cada caso. Todas las pendientes son significativas al nivel 0.05, excepto en Sabiñánigo, la serie más corta (18 años) utilizada.

Las pendientes de las regresiones frente a z.Cw muestran, regionalmente, una gran estabilidad. En el periodo 1973-2002, la mayor intensidad del efecto la encontramos en los observatorios cercanos al Sistema Ibérico: Daroca, Tornos, Fitero, Cella; en el NW, los Pirineos y el centro del valle el efecto es menor, pero homogéneo, siendo nulo en Tortosa. Es probable que la aceleración sea nula en otras áreas de la franja oriental de la Cuenca, aunque no disponemos, de momento, de series para evaluarlo.

En el primer periodo, 1941-73, encontramos aceleración en la zona oriental, desde el Pirineo (Estangento, Adrall) a la desembocadura (Tortosa, Santolea), mientras en los observatorios de otras regiones, Tornos, Fitero, Zaragoza, Daroca, no hay signos de ella.

Observatorio	Pfp90 vs z.Cw	Pp90 vs Cw	Observatorio	Pfp90 vs z.Cw	Pp90 vs Cw
Miñón (73-02)	0.024	0.032	Zaragoza (73-02)	0.022	0.113
Villarcayo (73-02)	0.023	0.057	Pena (73-02)	0.023	0.144
Salinas de Añana(73-02)	0.025	0.051	Pallaruelo (79-02)	0.023	0.071
Soto en Cameros (79-02)	0.017	0.069	Aniés (73-02)	0.021	0.043
Olite (73-94)	0.017	0.045	Sabiñánigo (73-80)	0.028	0.041
Fitero (73-96)	0.032	0.102	Torla (74-02)	0.022	0.026
Daroca (73-00)	0.033	0.089	Boltaña (74-02)	0.018	0.027
Tornos (73-01)	0.033	0.082	Salinas de Bielsa (73-85)	0.022	0.027
Cella (73-91)	0.033	0.064	Capdella (73-91)	0.016	0.026
			Terradets (73-89)	0.022	0.045
Tortosa (41-73)	0.028	0.048	Adrall (45-73)	0.015	0.039
Tora (52-73)	0.021	0.056	Cabaces (52-73)	0.016	0.025
Santolea (41-64)	0.020	0.084	Lérida (49-73)	0.016	0.060
Estangento (45-68)	0.019	0.027			

Tabla 3: PENDIENTES ESTIMADAS EN LAS REGRESIONES PFP90 VS Z.CW Y PP90 VS CW

Pp90

La tabla 3 contiene las pendientes estimadas en los modelos de regresión de Pp90 frente a Cw. Se muestran estos coeficientes, en lugar de los obtenidos utilizando z.Cw, porque tienen una interpretación directa. En Fitero, por ejemplo, debemos esperar un incremento de un 10% en la proporción de precipitación debida a los episodios con intensidad superior al percentil 90, cuando Cw se incremente en 100 mm. Todas las pendientes son significativas al nivel 0.05, salvo en Sabiñánigo y Olite.

Los valores obtenidos en las distintas áreas difieren entre sí; si se comparan los coeficientes de los modelos respecto de z.Cw, más homogéneos y estables, se observa que el mayor efecto, con coeficientes alrededor de 0.8, ocurre en los observatorios del centro de la Cuenca

o próximos al sistema Ibérico, la parte más árida del territorio, mientras en el NW y en el Pirineo los valores están próximos a 0.5.

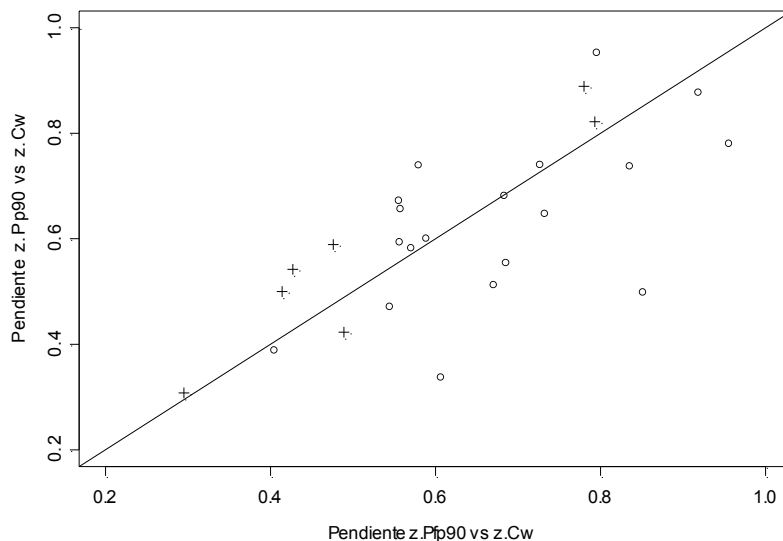


Fig. 5: Pendientes estimadas de z.Pfp90 y z.Pp90 frente a z.Cw

4.4. Cuestiones finales

Efecto aceleración en los índices de intensidad

Al analizar los coeficientes de correlación I_{p90-Cw} e I_{p95-Cw} encontramos que eran, en general, nulos y que los valores significativamente distintos de 0 se concentraban en los observatorios del centro del valle: Soto, Olite, Fitero, Alagón, Zaragoza y Pallaruelo, o del sector oriental: Estangento, Adrall, Tortosa y Pena. Para evaluar la existencia de un efecto aceleración en la intensidad de los episodios, se ha analizado en estos observatorios la relación entre Cw y los índices relativos $Pip90$, $Pip95$; en todos los casos la correlación es negativa, con valores menores que -0.37 , por lo que concluimos que la intensidad de los episodios no muestra signos de aceleración.

El efecto aceleración se debe al proceso de frecuencia

La similitud de resultados en los análisis aplicados a $Fp90$ y $Pp90$ y lo comentado en el párrafo anterior, nos lleva a establecer la hipótesis de que el efecto aceleración que hemos observado, recogido globalmente en el índice $Pp90$, está provocado exclusivamente por la aceleración presente en el proceso de ocurrencia. Como evidencia adicional a favor de esta hipótesis hemos representado en la Figura 5 un gráfico de puntos, uno por observatorio, cuyas coordenadas son las pendientes estimadas en las regresiones $z.Pfp90$ vs $z.Cw$ y $z.Pp90$ vs $z.Cw$ (los puntos representados con un círculo corresponden a observatorios del primer periodo y los señalados con una cruz al segundo). En el gráfico se ha superpuesto la recta identidad para mostrar la similitud de esas pendientes; sólo en Miñón el valor estimado de la pendiente de $z.Pp90$ no está contenido en el intervalo de confianza al 95% para la pendiente de $Pfp90$.

Relación entre aceleración y evolución de la precipitación

A la vista del resultado obtenido por KLEIN TANK y KÖNNEN (2003) en el proyecto ECA, que encuentran aceleración sólo en observatorios en los que la tendencia de la precipitación es creciente, nos planteamos estudiar la hipótesis de que la aceleración pudiese presentar un comportamiento distinto en las fases creciente y decreciente de la señal de precipitación, representada en nuestro caso por el suavizado *lowess* de C_w . Para ello definimos un factor binario que indica si, en cada dato, el suavizado de C_w está, o no, creciendo. En el modelo de regresión de $Pp90$ frente a C_w , se introdujo un término de interacción entre C_w y ese factor binario, que nos permitía ajustar distinto coeficiente de C_w según la fase de la precipitación. La significación de este término de interacción en el modelo confirmaría la hipótesis de un comportamiento diferente en las dos situaciones, tal como encuentran KLEIN TANK y KÖNNEN (2003); en caso contrario, el efecto aceleración estaría actuando, con distinto signo pero igual intensidad, en las dos situaciones.

El análisis se llevó a cabo en varios observatorios representativos de las distintas regiones de la Cuenca, con las variables $Pp90$ y $Pfp90$. El resultado es que el término de interacción no es significativo en general: no lo es para ninguna de las variables en Daroca, Tornos, Torla, Boltaña, Aniés, Pena y Tortosa y sí resulta significativo en Pallaruelo, en el modelo de $Pfp90$, y en Zaragoza en el de $Pp90$. En la fig. 6 aparecen los gráficos de $Pp90$ frente a C_w en Torla (1973-2002) y Tortosa (1941-73), con los puntos representados por un símbolo diferente según el carácter creciente o decreciente del suavizado de C_w ; en ellos se observa el paralelismo de las rectas de regresión obtenidas con cada uno de los grupos de datos. En consecuencia concluimos que, en la Cuenca del Ebro, la aceleración de los episodios extremos tiene idéntico carácter en las fases crecientes y decrecientes de la precipitación.

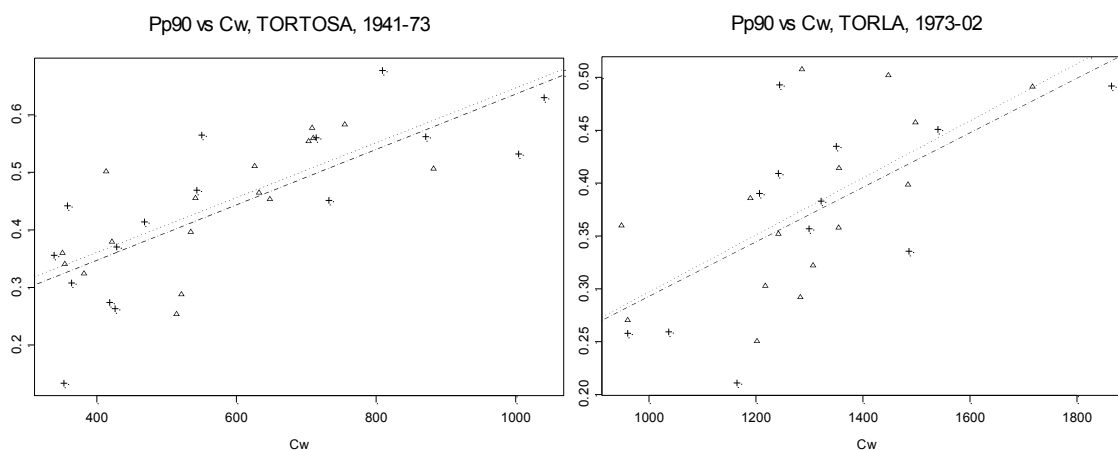


Fig. 6: $Pp90$ versus C_w en Tortosa y Torla. Se representan con un triángulo los puntos que corresponden a la fase creciente de C_w y con cruz los de la fase decreciente. La recta de regresión dibujada con puntos corresponde a los primeros y la de trazos a los segundos

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este trabajo, aún en desarrollo, son:

Desde el punto de vista metodológico:

(i) La base de datos resultante del proceso de control de calidad y homogeneidad queda lejos de la que sería ideal para estudiar en el conjunto de la Cuenca el problema planteado. Pese a ello, consideramos los resultados fiables porque son consistentes desde el punto de vista espacial y temporal. Se ha diseñado una estrategia que permitirá emplear series de calidad B para ayudar a completar los análisis pendientes en algunas áreas y periodos.

(ii) La metodología utilizada permite obtener conclusiones sobre periodos arbitrarios y estimar, en cada región, el tamaño del efecto aceleración. Ha permitido descartar, para la Cuenca del Ebro, la hipótesis de no-uniformidad del efecto aceleración dependiendo de la fase en que se encuentre la señal de lluvia.

Desde el punto de vista climático:

(i) En la Cuenca del Ebro se detecta un efecto aceleración en los episodios extremos de precipitación desde los años 70 en adelante. Este hecho, aparentemente, no es general, ya que en la región oriental, que muestra ese efecto en el intervalo 1941-70, el comportamiento en el periodo reciente sería lineal, aunque esta conclusión se basa sólo en los resultados del observatorio de Tortosa. Debemos confirmar este comportamiento y establecer de forma precisa la extensión de esta zona sin aceleración, encontrando, si es posible, una explicación para este cambio de comportamiento.

(ii) Aparentemente, la aceleración se debe, exclusivamente, a los cambios que ocurren en el proceso de ocurrencia; la evolución de los índices relativos a valores máximos e intensidades de los episodios es paralela a la de C_w .

6. REFERENCIAS

- ABAURREA, J., ASÍN, J. y CENTELLES, A. (2002). Caracterización espacio-temporal de la evolución de la precipitación anual en la Cuenca del Ebro. En GUIJARRO, J. A., GRIMALT, M., LAITA, M. y ALONSO, S. (Eds.). *El agua y el clima*, AEC, Serie A, nº3, pp. 113-124.
- ABAURREA, J., ASÍN, J., CEBRIÁN, A. C. y CENTELLES, A. (2004). Metodología para el control de calidad y homogeneidad de una base de datos de precipitación diaria. En GARCÍA, J. C., DIEGO, C., FERNÁNDEZ, P., GARMENDIA, C. y RASILLA, D. (Eds.). *El clima, entre el mar y la montaña*. AEC, Serie A, nº4: 431-440.
- ABAURREA, J., ASÍN, J., CEBRIÁN, A. C. y CENTELLES, A. (2005). An Analysis of Rainfall Extremes in the Ebro River Basin (1951-2000), using local Indices and an Areal Index. Contribución a la EGU General Assembly 2005.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., DE LUIS, M. y VICENTE, S. (2004). Análisis comparativo del comportamiento de los máximos diarios mensuales en el sector central de la Depresión del Ebro y el Pirineo (1931-2000). *Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos*. Univ. de Zaragoza. ISBN: 84-96214-29-X. Pp. 231-242.

¿EVOLUCIÓN ACELERADA DE LOS EPISODIOS DE PRECIPITACIÓN EXTREMA EN LA CUENCA DEL EBRO?

GOODESS, C. (2004). *Statistical and regional dynamical downscaling of extremes for European regions: STARDEX*. <http://www.the-eggs.org>.

GROISMAN, P. Y., KNIGHT, R. W. y KARL, T. R. (2001). Heavy precipitation and high streamflow in the contiguous United States: Trends in the twentieth century. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 82, pp. 219-246.

HOUGHTON, J. T. et al. (Eds.) (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press.

KARL, T. R. y KNIGHT, R.W. (1998). Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the United States. *Bull. Am. Met. Soc.*, 79, 231-241.

KLEIN TANK, A. M. G. y KÖNNEN, G. P. (2003). Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999. *J. of Climate*, 16, pp. 3665-3680.

MÖBERG, A. y JONES, P. D. (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe, 1901-99. *Int. J. Climatol.*, 25, pp. 1149-1171.

ZHANG, X., HOGG, W. D. y MEKIS, E. (2001). Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada. *J. of Climate*, 14, pp. 1923-1936.