

CLIMA, CIUDAD Y ECOSISTEMAS

Felipe Fernández García,
Encarna Galán Gallego,
Rosa Cañada Torrecilla



Publicaciones de la
Asociación Española de Climatología (AEC)
Serie A, nº 7

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS INTENSIDADES MÁXIMAS DE LLUVIA ENTRE 1989 Y 2007 SEGÚN LA ESCALA DE OBSERVACIÓN

Ana M. CAMARASA y M^a José LÓPEZ-GARCÍA

Dpto. Geografía. Universidad de Valencia. Avda. Blasco Ibañez, 28. 46010 Valencia
ana.camarasa@uv.es, maria.j.lopez@uv.es

RESUMEN

La estructura de la precipitación presenta características diferentes en función de la escala temporal en que se realizan las observaciones, de manera que cuanto más se reduce el intervalo de observación, mayores son los valores de intensidad que se alcanzan. Ahora bien, se desconoce cuál es la evolución temporal de los valores extremos de intensidad para cada intervalo de observación. En este sentido y en relación con las tendencias recientes de cambio climático, este trabajo analiza la evolución, desde 1989 a 2007, del comportamiento de las intensidades máximas observadas en distintos intervalos temporales, entre los 5 minutos y las 24 horas.

El estudio cubre el territorio de la Confederación Hidrográfica del Júcar (43.000 km²) y se basa en datos de intensidad de lluvia recogidos por el SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica), cada 5 minutos en 147 pluviómetros. Los datos han sido filtrados y reescalados, a diferentes intervalos de observación, para cada uno de los cuales, se ha analizado tanto la evolución en el tiempo de las intensidades máximas, como de la frecuencia con que aparecen.

Palabras clave: Intensidad de lluvia, Frecuencia de intensidades máximas, Escala temporal, Clima mediterráneo, Cambio climático.

ABSTRACT

The structure of rainfall differs according to the timescale used for observation so that a reduction in the observation interval increases the values for intensity. However, it is unknown the temporal evolution of the extreme values of intensity for each observation interval. This paper analyzes the evolution, from 1989 to 2007, of extreme rainfall intensities, at different timescales, between 5 minutes and 24 hours.

The study addresses the area of River Júcar Water Authority (43.000 km²) and is based on rainfall intensity data registered every 5 minutes in 147 rain gauges in the SAIH network (Automatic Hydrological Information System). Data have been filtered and rescaled at different intervals of observation. At each scale, the temporal evolution of maximum intensities and their frequencies have been analysed.

Key words: Rainfall intensity, Frequency of rainfall intensities, Temporal scale of observation, Mediterranean climate, Climate change.

1. INTRODUCCIÓN

Las lluvias extremas mediterráneas se producen en un contexto climático de tipo semiárido, dominado por sucesos torrenciales de alta energía y baja frecuencia. Se trata de episodios de gran intensidad y corta duración, cuya distribución espacio-temporal es tremendamente variable (ROMERO *et al.*, 1999; LLASAT, 2001; PEÑARROCHA *et al.*, 2002; ARMENGOT, 2002; BEGUERÍA *et al.*, 2009). Un ejemplo de ello lo constituye la fachada mediterránea de la Península Ibérica, donde a pesar de que la lluvia media anual oscila entre los 500 y los 700 mm, un único evento puede llegar a duplicar, incluso triplicar esta media (GIL OLCINA, 1989), llegando a registrarse records de más de 800 mm en un día (Gandía, noviembre de 1987). En general es muy frecuente que en los momentos álgidos de las tormentas se superen los 100 mm/h, llegándose incluso a registrar intensidades puntuales de más de 375 mm/h (CAMARASA, 1994).

En consecuencia, el parámetro crítico de estos eventos no es tanto la cantidad de lluvia que pueden acumular, sino la intensidad que pueden alcanzar. Magnitudes como las arriba descritas resultan determinantes en la dinámica de erosión del suelo (POESEN y BUNTE, 1996; LARSON *et al.*, 1997; MARTÍNEZ-MENA *et al.*, 2001); en los procesos desencadenantes de los debris-flow (CANNON, 1988; WILSON y WIECZOREK, 1995; BACCHINI y ZANNONI, 2003; CHIEN-YUAN *et al.*, 2005) y, sobre todo, en hidrología, ya que están condicionando los procesos de conversión lluvia-caudal y la formación de flash-floods (YAIR y LAVEE, 1985; BULL *et al.*, 1999; CAMARASA y SEGURA, 2001; CAMMERAAT, 2004; CAMARASA y TILFORD, 2002; KOKKNEN *et al.*, 2004; CUDENNEC *et al.*, 2007).

En los ambientes mediterráneos, gran cantidad de procesos naturales relacionados con la intensidad de lluvia ocurren a escalas de tiempo horarias o minutas, por lo que su análisis debería de partir de estos intervalos temporales. La mayor parte de los estudios, no obstante, son de base diaria (DE LUIS *et al.*, 2000; LANA *et al.*, 2004; MARTÍN VIDE, 2004), incluidos los trabajos que abordan los posibles efectos del cambio climático en el comportamiento de las lluvias extremas (ABAURREA *et al.*, 2006; AGUILAR *et al.*, 2006; ESTRELA *et al.*, 2006; MILLÁN *et al.*, 2006; MIRÓ *et al.*, 2006). Este hecho, condicionado por la desagregación diaria habitual de los datos, hace que hablar de intensidades máximas sea hablar de máximas en 24 horas. Sin embargo, este escenario está comenzando a cambiar con el protagonismo de las nuevas redes de pluviometría automática: SAIHs (Sistemas Automáticos de Información Hidrológica), que aportan datos cada cinco minutos; radares meteorológicos y/o estaciones automáticas de la AEMET, que ofrecen datos cada diez minutos. El problema de estas redes es que son relativamente de reciente instalación (finales de los años 80) y no han generado aún un volumen de datos suficientemente longevo como para asegurar la robustez estadística necesaria en ambientes mediterráneos (CAMARASA, 2000).

En nuestra zona de estudio, el SAIH-Júcar comenzó a funcionar en 1989 y tras una veintena de años de registro podemos empezar a plantearnos algunas preguntas en relación con el contexto actual de cambio climático y en torno a la clásica dicotomía intensidad-frecuencia: ¿son las intensidades máximas cada vez mayores?; ¿son más frecuentes?; ¿presentan una evolución similar en su patrón de comportamiento en todas las escalas temporales de observación?. En este sentido, el presente trabajo pretende apuntar algunas pautas sobre la evolución de las intensidades máximas en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, entre 1989 y 2007, para diferentes intervalos temporales.

2. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS

El área de estudio (figura 1) comprende el ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (43.000 km²) que, ubicada en la fachada mediterránea de la Península Ibérica, abarca todas las cuencas fluviales que desembocan en la Comunidad Valenciana, desde sus cabeceras. Se trata de una zona de geografía muy contrastada, marcada por una fuerte dicotomía interior-costa y compartimentada por las grandes alineaciones montañosas del Sistema Ibérico y del Sistema Bético. Presenta un desnivel topográfico de más de 2000 m. y una exposición abierta al mar Mediterráneo y a los vientos húmedos de componente este, responsables de los episodios de lluvia más intensos. Los datos de intensidad de lluvia han sido registrados por el SAIH-Júcar (Sistema Automático de Información Hidrológica), cada cinco minutos, a partir de una red de 147 pluviómetros. El período de estudio cubre 19 años (1989-2007).



Figura 1. Zona de estudio (Demarcación Hidrográfica del Júcar) y ubicación de los pluviómetros de la red SAIH.

En España las redes SAIH han supuesto un importante cambio en la manera de registrar la precipitación en relación con las redes pluviométricas tradicionales de la AEMET. Por una parte, el obtener los registros de intensidad de lluvia cada cinco minutos (frente a las 24 horas de intervalo habitual) ha permitido identificar la verdadera estructura interna de las precipitaciones (CAMARASA, 1993). Por otra parte el funcionamiento en tiempo real del sistema ha supuesto un gran avance en la toma de decisiones dentro del marco de la gestión hídrica *on line*.

A pesar de que el SAIH-Júcar fue el primer SAIH que se instaló en España, éste no comenzó a funcionar hasta 1989, por lo que solamente se dispone de una veintena de años de registro, a todas luces insuficiente para constatar patrones climáticos. No obstante, el análisis de estas series temporales resulta muy interesante porque ofrece un gran detalle temporal y su estudio durante 19 años sí que permite, cuanto menos, apuntar la evolución de las intensidades máximas

entre 1989 y 2007, su variabilidad y su comportamiento a diferentes escalas temporales de observación.

3. METODOLOGÍA

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución, entre 1989 y 2007, de las intensidades máximas de precipitación en el territorio adscrito a la Demarcación Hidrográfica del Júcar, para diferentes escalas temporales de observación. Para ello el primer paso ha consistido en seleccionar los intervalos temporales que se van a analizar. En este sentido, CAMARASA *et al.*, (2010) llevaron a cabo un estudio en el mismo territorio sobre el comportamiento de las intensidades máximas, entre 1994 y 2007, en función de los intervalos de observación de 5 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 6 horas, 12 horas y 24 horas (figura 2). Según dicho trabajo resultan representativos los intervalos de 5 minutos, 1 hora, 6 horas y 24 horas, por lo que el presente trabajo se basará en estas cuatro escalas temporales. El

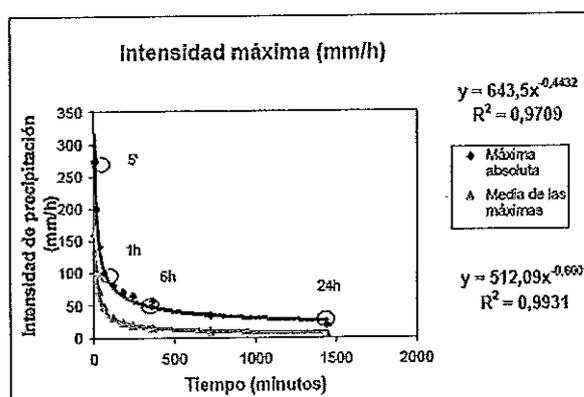


Figura 2. Intensidades máximas de lluvia para distintas escalas temporales de observación en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (Fuente: Camarasa et al., 2010).

segundo paso ha consistido en la selección de un marco estacional (verano/invierno) adecuado para el análisis de la evolución diacrónica de las variables de intensidad y frecuencia de lluvia. La definición de las estaciones ha partido de los trabajos previos de CAMARASA y LÓPEZ (2006; 2007) sobre la distribución mensual de los episodios de precipitación en la zona de estudio. Estos trabajos muestran dos comportamientos básicos: uno, que podría considerarse de invierno, entre los meses de octubre a marzo (ambos inclusive) y otro, que podría considerarse de verano, entre los meses de abril a septiembre.

El tercer paso ha consistido en calcular coeficientes estacionales adimensionales de intensidades máximas y de frecuencias de precipitación, para cada intervalo temporal de observación. Para ello, los datos de intensidad de lluvia, registrados originalmente cada cinco minutos, han sido filtrados y reescalados a los intervalos de estudio seleccionados (5 minutos, 1 hora, 6 horas y 24 horas). Para cada intervalo se ha seleccionado el valor máximo absoluto de cada estación

(verano/invierno) entre 1989 y 2007. Con objeto de que los datos y las escalas sean comparables entre sí, se han elaborado coeficientes adimensionales de intensidades máximas por intervalo, que consisten en la división de la intensidad máxima de cada estación entre la media de las intensidades máximas del período. Valores superiores a 1 reflejarán intensidades por encima de la media e inferiores a 1, por debajo.

$$CI_{max(i)} = \frac{I_{max(i)}}{I_{max(n)}} \quad (1)$$

siendo: $CI_{max(i)}$: Coeficiente de intensidad máxima para la estación i
 $I_{max(i)}$: Intensidad máxima absoluta de la estación i
 $I_{max(n)}$: Media de las intensidades medias absolutas de todas las estaciones del período de estudio

Por ejemplo, el coeficiente de intensidad máxima (CI_{max}) para 5 minutos de verano de 1995 consiste en la división entre la máxima registrada en esa estación dividida por la media de las máximas estacionales entre 1989 y 2007 (tanto de invierno como verano si estamos analizando el período entero o sólo de verano si estamos trabajando en el marco de una única estación).

En cuanto al estudio de frecuencias, nos interesa conocer la evolución temporal de las mismas en los rangos inferior y superior de intensidad máxima. Por ello se ha trabajado con los cuartiles primero ($q25$) y último ($q75$) de la distribución de intensidades máximas para cada intervalo de observación (tabla I). Llegados a este punto conviene aclarar que para cada estación (verano/invierno) de cada año se han contabilizado la suma de ocurrencias, en todos los pluviómetros, de los rangos de intensidad incluidos en el primer ($q25$) y último cuartil ($q75$). Además, como en el caso anterior, con objeto de que rangos de frecuencias y escalas de observación sean comparables entre sí, se han elaborado coeficientes adimensionales de frecuencias (CF). De nuevo, valores superiores a 1 reflejarán frecuencias por encima de la media del cuartil de referencia e inferiores a 1, por debajo.

$$CF_{q25x(i)} = \frac{F_{q25(i)}}{F_{q25(n)}} \quad (2)$$

siendo: $CF_{q25x(i)}$: Coeficiente de frecuencia de las intensidades del primer cuartil para la estación i
 $F_{q25(i)}$: Frecuencia de las intensidades del primer cuartil en la estación i
 $F_{q25(n)}$: Media de las frecuencias de intensidades del primer cuartil de todas las estaciones del período de estudio

$$CF_{q75x(i)} = \frac{F_{q75(i)}}{F_{q75(n)}} \quad (3)$$

siendo: $CF_{q75x(i)}$: Coeficiente de frecuencia de las intensidades del último cuartil para la estación i
 $F_{q75(i)}$: Frecuencia de las intensidades del último cuartil en la estación i
 $F_{q75(n)}$: Media de las frecuencias de intensidades del último cuartil de todas las estaciones del período de estudio

Por último, dada la enorme variabilidad de los datos, tanto para los coeficientes de intensidad como de frecuencia, se ha ajustado una línea de tendencia de media móvil, cada cuatro estaciones, con objeto de detectar las directrices generales de comportamiento.

Escala temporal de observación	Rango de intensidad del Cuartil I	Rango de intensidad del Cuartil II	Rango de intensidad del Cuartil III	Rango de intensidad del Cuartil IV
5 minutos	< 84	(84 - 133)	(133 - 170)	> 170
1 hora	< 18	(18 - 30)	(30 - 41)	> 41
6 horas	< 5.4	(5.4 - 8.5)	(8.5 - 12)	> 12
24 horas	< 1.8	(1.8 - 2.6)	(2.6 - 4.5)	> 4.5

Tabla 1. Rangos de intensidad máxima (mm/h) por cuartiles.

4. RESULTADOS

Los principales resultados se muestran en los siguientes gráficos, para cuya interpretación debe de recordarse que tanto las líneas como las barras no muestran los datos originales sino el valor de media móvil cada cuatro estaciones (verano/invierno). Este recurso se ha utilizado con objeto de presentar tendencias generales y eliminar la confusión que generaría la enorme variabilidad de los datos representados para cada estación.

La figura 3 muestra la evolución en el tiempo de los coeficientes de intensidad máxima y de frecuencias de intensidades de bajo rango (q_{25}) y de alto rango (q_{75}), para cada intervalo temporal. Lo primero que se pone de manifiesto es una evolución cíclica de las variables, con una tendencia generalizada a la disminución de las intensidades máximas (especialmente identificable para el período de observación de 24 horas) y de la frecuencia de las mismas (q_{75}), mientras que la frecuencia de los valores más bajos de intensidad (q_{25}) presenta una tendencia creciente. Para todos los intervalos temporales, el año 1999 es el punto de cruce de estas dos tendencias de distinto signo.

En el intervalo de observación de 5 minutos se distingue un primer ciclo, entre verano de 1993 e invierno de 1999, caracterizado por valores altos y frecuentes de intensidades máximas, frente a la baja presencia de los valores menores de intensidad. Desde invierno de 1999 los máximos de intensidad se mantienen más o menos constantes en torno a la media, sin embargo las frecuencias con que aparecen van cambiando. Así, la frecuencia de los rangos máximos de intensidad (q_{75}) presenta un ciclo por debajo de la media entre verano de 1999 y verano de 2003, una recuperación hasta invierno de 2006 y un nuevo descenso hasta la actualidad. Por otro lado, los rangos de intensidad más bajos (q_{25}) presentan un ciclo con valores por encima de la media desde invierno de 2002 hasta la verano de 2006. En general, la escala de observación de los 5 minutos presenta ciclos de intensidad-frecuencia cada vez más cortos y con menor rango de variación. Además los mayores valores de intensidad van acompañados de mayor frecuencia de los rangos altos (q_{75}) hasta el punto de inflexión del año 1999, a partir del cuál la intensidad mantiene valores más o menos constantes entorno a la media, con mayor frecuencia de los rangos de intensidad inferiores (q_{25}).

idad
uatro

o
idad
til IV

debe
valor
bjeto
lidad

y de
rvalo
, con
ente
smas
una
ce de

1993
rente
imos
o las
s de
to de
otro
ia de
ción
enor
ayor
cuál
ayor

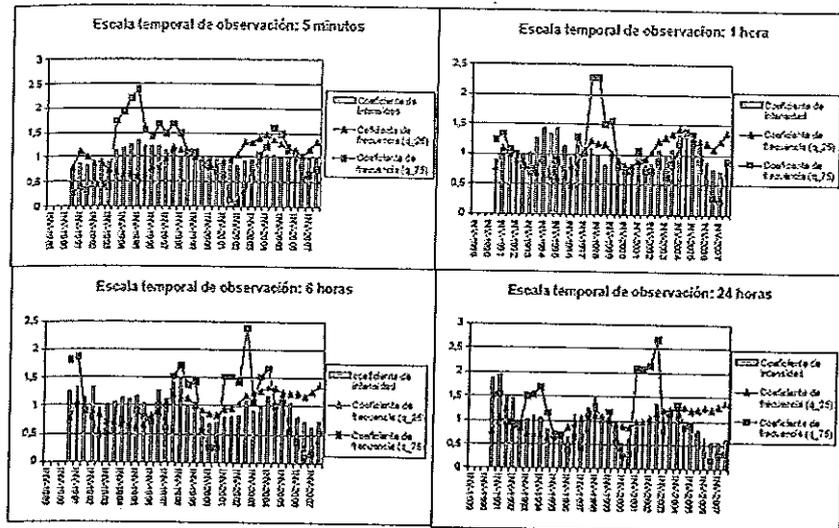


Figura 3. Evolución estacional de las tendencias (medias móviles cada cuatro datos) de los coeficientes de intensidad (CI_max) y de frecuencia del primer cuartil (CF_q25) y del último (CF_q75), para diferentes escalas de observación.

La escala de observación de 1 hora presenta un coeficiente de intensidad con un comportamiento más cíclico que en el intervalo anterior. Así, se observa un primer ciclo, de intensidades superiores a la media, entre invierno de 1993 e invierno de 1996, seguido de un segundo ciclo de amplio radio de curvatura entre invierno de 1996 y verano de 2002, en el que los coeficientes de intensidad están por debajo de la media. A continuación aparece un corto período, entre invierno de 2003 y verano de 2005 con valores superiores a la misma y un nuevo descenso hasta la actualidad. Por lo general, los períodos con intensidades superiores a la media son cortos (entre dos y tres años) en relación a los que están por debajo, debido a que existe una tendencia general decreciente de esta variable. En cuanto a la evolución de los valores de frecuencia destaca el hecho de que los de rango máximo (q_75) y mínimo (q_25) presentan, en todo momento, una evolución paralela, con una tendencia creciente de las frecuencias de intensidad mínima y dos momentos señalados de la frecuencia de máximos, uno positivo entre el verano de 1997 y el del año 2000, y otro, negativo, entre el verano de 2005 y el verano de 2007.

La escala de 6 horas muestra un comportamiento intermedio entre el de 1 hora y el de 24 horas, por lo que pasaremos directamente a comentar este última. Como ya se ha mencionado con anterioridad, lo más destacado de la escala de 24 horas es que muestra un claro descenso cíclico tanto del coeficiente de intensidad como de la frecuencia con que aparecen los rangos máximos de la misma (q_75), mientras, por el contrario, los rangos inferiores de intensidad (q_25) muestran una tendencia creciente. Este hecho hace que el análisis de los ciclos respecto de los valores medios (coeficiente=1) resulte poco representativo. Esta escala temporal es la que mejor muestra el año 1999 como punto de divergencia entre la frecuencia de los valores de rango superior e inferior de intensidad máxima.

Otra manera de expresar los resultados se recoge en la figura 4, que muestra la evolución de los coeficientes de frecuencia de intensidad del primer cuartil (q_25) y del último (q_75) para

diferentes escalas temporales de observación. Llama la atención, la regularidad y el paralelismo de comportamiento cíclico creciente de los coeficientes de frecuencia del primer cuartil entre los diferentes intervalos temporales, en comparación con los del último cuartil. En el primer caso se puede afirmar que, con independencia de la escala temporal, las intensidades de lluvia bajas son cada vez más frecuentes (en todos los casos se obtuvieron regresiones lineales significativas para un intervalo de confianza del 95% y con un r^2 superior a 0,5). En el segundo caso los comportamientos son también cíclicos pero muy dispares según la escala de observación. Según se deduce de la figura, a medida que incrementa el intervalo de observación se incrementa el número de ciclos y disminuye su duración. También parece observarse una alternancia en el protagonismo de las escalas temporales respecto a las mayores frecuencias de intensidades altas. Por ejemplo, si tomamos como referencia valores de coeficiente por encima de dos, observamos que en invierno de 1995 se produce el punto álgido del ciclo de frecuencias de intensidades máximas de cinco minutos, seguido (en verano de 1997 e invierno de 1998) del de 1 hora y del de 6 horas y 24 horas en verano de 2002. Tomando como referencia las dos escalas temporales más distantes (5 minutos y 24 horas) observamos como las mayores frecuencias de intensidades máximas en cinco minutos vienen a coincidir (salvo pequeños desplazamientos producidos por el método de las medias móviles) con las más bajas de las 24 horas (invierno de 1995) y viceversa (verano 2002).

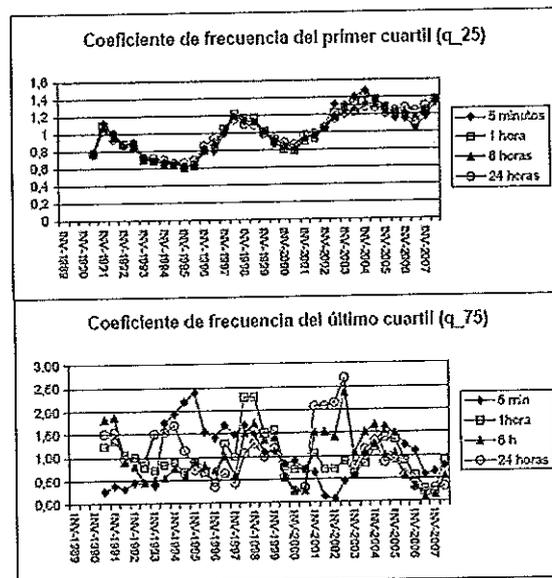


Figura 4. Evolución estacional de las tendencias (medias móviles cada cuatro datos) de los coeficientes de frecuencia del primer y último cuartil (CF_q25 y CF_q75) para diferentes escalas de observación.

Este comportamiento tan dispar de las frecuencias de los rangos superiores de intensidad (q_{75}) en función de la escala temporal de observación muestra, además, patrones diferentes según se trate de la estación de invierno o verano (figura 5). Para el intervalo de cinco minutos se observa cómo las tendencias de verano e invierno evolucionan paralelamente, mostrando dos ciclos

claramente definidos: desde 1993 hasta 1999 ambas estaciones presentan valores altos sobre todo en invierno. A partir de 1999 se inicia un nuevo ciclo donde las intensidades altas son poco frecuentes y además, se producen mayoritariamente en verano. La gráfica correspondiente al intervalo de 1 hora muestra una secuencia clara de ciclos en los que las máximas intensidades son más frecuentes alternativamente en invierno (1992-1997), verano (1997-2001) e invierno (2001-2007). En los dos primeros ciclos los comportamientos de invierno y verano son de signo contrario (las máximas frecuencias de invierno coinciden con las mínimas de verano y viceversa), mientras que a partir del año 2001 son paralelos (verano e invierno coinciden en los momentos de máximas y mínimas frecuencias). La escala de observación de 6 horas presenta un dominio casi continuo de las mayores frecuencias de intensidad alta en invierno, especialmente importante en el año 2001. A partir de 2005 cambia el comportamiento hacia máximas en verano. Por último, el período de 24 horas también presenta una alternancia de estaciones con máximas en invierno (1993-1996), verano (1997-2000), invierno (2001-2004) y verano (2005-2006). El ciclo más importante es el de invierno entre 2001 y 2004.

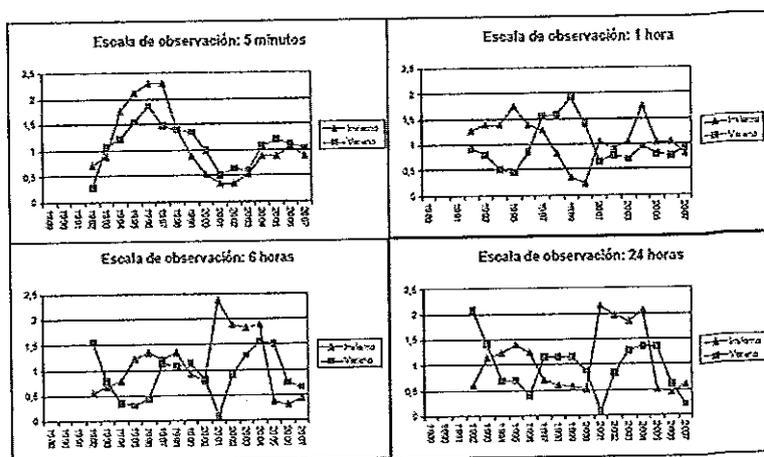


Figura 5. Comportamiento de verano y de invierno de las de las tendencias (medias móviles cada cuatro datos) de los coeficientes de frecuencia del último cuartil (CF_q75) para diferentes escalas de observación.

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución, entre 1989 y 2007, de las intensidades máximas de precipitación y su frecuencia, para diferentes escalas temporales de observación (5 minutos, 1 hora, 6 horas y 24 horas). Como principal conclusión se puede destacar que en todas las escalas se ha observado una evolución cíclica de las variables de intensidad y frecuencia, con una tendencia generalizada a la disminución de las intensidades máximas (especialmente identificable para el período de observación de 24 horas) y de la frecuencia de las mismas (q_{75}), mientras que la frecuencia de los valores más bajos de intensidad (q_{25}) presenta una tendencia creciente (significativa para un intervalo de confianza del 95%). El año 1999 se ha destacado, en todas las escalas, como un momento clave de cambio.

La evolución de los coeficientes de frecuencia de intensidad del primer cuartil (q_{25}) y del último (q_{75}) muestra un comportamiento muy diferente. En el primer caso (q_{25}), prácticamente todas las escalas se comportan de la misma manera. Presentan una tendencia cíclica (cada cinco años aproximadamente), creciente, que permite afirmar que, independientemente de la escala temporal, las bajas intensidades de lluvia son cada vez más frecuentes. En los rangos de intensidad mayores (q_{75}) también se producen ciclos, pero mucho más dispares según el período de observación, de manera que a medida que aumenta el intervalo se incrementa el número de ciclos y disminuye su duración.

En la frecuencia de las intensidades máximas de rango superior (q_{75}) se puede distinguir, además, un factor estacional (verano/invierno) de comportamiento, en función de la escala temporal de observación. En el intervalo de cinco minutos, las tendencias de verano e invierno evolucionan paralelamente, mostrando dos ciclos: uno con gran frecuencia de intensidades altas de invierno hasta 1999 y otro, a partir de este año, donde disminuye la frecuencia de estas máximas y, además, se dan en verano. El resto de intervalos presenta una secuencia cíclica (de diferente duración según la escala) en que las intensidades máximas van dominando alternativamente en invierno y verano.

Somos conscientes de que estos resultados son aún muy preliminares y que deben de ponerse en relación con la evolución de la lluvia total del territorio, con objeto de comprobar su correspondencia con los ciclos de años húmedos o secos. Aunque no es el objetivo de este trabajo, una somera comparación de tipo cualitativo con los totales de lluvia parece apuntar la idea de que en los períodos secos las intensidades máximas son más frecuentes en invierno, mientras que en los ciclos húmedos dominan en verano. Asimismo sería interesante analizar el origen convectivo o frontal de estas intensidades máximas, en relación con algunos trabajos que en la Comunidad Valenciana han constatado una tendencia general al descenso de las precipitaciones generadas por situaciones convectivas (ESTRELA *et al.*, 2006) y frontales (MIRÓ *et al.*, 2006), a la vez que un incremento de las provocadas por situaciones de frente de retroceso (MILLÁN *et al.*, 2006). A pesar de los estudios que quedan pendientes, entendemos que este trabajo puede resultar interesante porque aporta las primeras directrices de cómo están evolucionando, en una zona mediterránea, las intensidades máximas y la frecuencia de las mismas en los últimos años, para diferentes escalas temporales de observación.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación del Ministerio de Educación y Ciencia, proyecto CGL2007-65368 (cofinanciados por fondos FEDER). Los autores quieren manifestar también su agradecimiento a la Confederación Hidrográfica del Júcar, concretamente al Servicio del SAIH, por su amable disponibilidad, colaboración y cesión de datos en los que se basa el estudio.

7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- ABAURREA, J.; ASÍN, J.; CEBRIÁN, A.C. y CENTELLES, A. (2006). ¿Evolución acelerada de los episodios de precipitación extrema en la cuenca del Ebro?. En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 5, pp. 27-39.

- AGUILAR, M.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E. y PITA, M.F. (2006). Tendencia de las precipitaciones de marzo en el sur de la Península Ibérica. En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 5, pp. 41-51.
- ARMENGOT, R. (2002). *Las lluvias intensas en la Comunidad Valenciana*, Ministerio de Medioambiente, Valencia, 263 p.
- BACCHINI, M. y ZANNONI, A. (2003). Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 3, pp. 71-79.
- BEGUERÍA, S.; VICENTE-SERRANO, S.; LÓPEZ-MORENO, J.I. y GARCÍA-RUIZ J.M. (2009). Annual and seasonal mapping of peak intensity, magnitude and duration of extreme precipitation events across a climatic gradient, northeast Spain; *Int. J. Climatol.* 29, pp. 1759-1779.
- BULL, L.J.; KIRKBY, M.J.; SHANNON, J. y HOOKE, J.M. (1999). The impact of rainstorms on floods in ephemeral channels in southeast Spain; *Catena*, 38, pp. 191-209.
- CAMARASA, A. M. (1994) La intensitat de la precipitació. En: Pérez Cueva, A. (Ed.), *Atlas climàtic de la Comunitat Valenciana*, C.O.P.U.T., València, pp. 100-101.
- CAMARASA, A.M. (1993). La estructura interna de las tormentas mediterráneas. *Cuadernos de Geografía*, Universidad de Valencia, nº 54, pp. 169-188.
- CAMARASA, A.M. (2000). Las inundaciones en España en los últimos veinte años. Una perspectiva geográfica. *Serie Geográfica*, Universidad de Alcalá de Henares, nº 9, pp. 11-15.
- CAMARASA, A.M. y LÓPEZ, M.J. (2006). Criterios de selección y caracterización de episodios de lluvia. Aplicación a la Confederación Hidrográfica del Júcar (1989-2003). En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 5, pp. 323-336.
- CAMARASA, A.M. y LÓPEZ, M.J. (2007). Identification of Mediterranean rainfall events for hydrological analysis. Criteria and characterization", *7th EMS Annual Meeting / 8th European Conference on Applications of Meteorology*, El Escorial, 1-5 octubre, 2007. Poster board number P0069, EMS2007-A-00617.
- CAMARASA, A.M. y SEGURA (2001). Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain, *Catena*, 45, pp. 229-249.
- CAMARASA, A.M.; SORIANO, J. y LÓPEZ-GARCÍA M.J. (2010). The effect of observation timescales on the characterisation of extreme Mediterranean precipitation; *Advances in Geosciences*, en prensa.
- CAMARASA, A.M. y TILFORD, K.A. (2002). Rainfall-runoff modelling of ephemeral streams in the Valencia region (Eastern Spain), *Hydrological Processes*, 16 (17), pp. 3329-3344.
- CAMMERAAT, E. (2004). Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain; *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104, pp. 317-332.
- CANNON, S.H. (1988). Regional rainfall-threshold conditions for abundant debris-flow activity. En: *Landslide, Floods and Marine effects of the storm of 3-5 January 1982 in the San Francisco Bay Region, California*; (Eds) ellen S.D. and Wiczorek, G.F.; USGS Professional Paper 1434, pp. 35-42.
- CHIEN-YUAN, C.; TIEN-CHIEN, C.; FAN-CHIEH, Y; WEN-HUI, y CHUN-CHIEH, T. (2005): Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring, *Environ. Geol.*, 47, pp. 715-724.
- CUDENNEC, C.; LEDUC, C. y KOUTSOYIANNIS, D. (2007). Dryland hydrology in Mediterranean regions –a review. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (6), pp. 1077-1087.

- DE LUÍS, M.; RAVENTÓS, J.C.; GONZÁLEZ-HIDALGO, C.; SÁNCHEZ, J.R. y CORTINA, J. (2000). Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain); *International Journal of Climatology*, 20, pp. 1451-1469.
- ESTRELA, M.J.; MIRÓ, J.J. y MILLÁN, M. (2006). Análisis de tendencia de la precipitación por situaciones convectivas en la Comunidad Valenciana (1959-2004). En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 5, pp. 125-136.
- GIL OLCINA, A. (1989). Causas climáticas de las riadas. En: *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*; Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp. 15-30.
- KOKKONEN, T.; KOIVUSALO, H. KARVPNEN, T., CROCKE B. y JAKEMAN, A. (2004). Exploring streamflow response to effective rainfall across event magnitude scale; *Hydrol. Process.* 18, pp. 1467-1486.
- LANA, X.; MARTÍNEZ, M.D.; SERRA, C. y BURGUEÑO, A. (2004). Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia (Northeastern Spain), 1950-2000; *International Journal of Climatology*, 24, pp. 613-641.
- LARSON, WE; LINDSTROM, MJ y SCHUMACHER, TE (1997). The role of severe storms in soil erosion: a problem needing consideration, *Journal of Soil and Water Conservation*, 52, pp. 90-95.
- LLASAT, M.C. (2001). An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of Spain; *Int. J. Climatol*, 21, pp. 1385-1400.
- MARTÍNEZ-MENA, M.; CASTILLO, V. y ALBADALEJO, J. (2001). Hydrological and erosional response to natural rainfall in a semi-arid area of South-east Spain, *Hydrological Processes*, 15, pp. 557-571, doi: 10.1002/hyp.146.
- MARTÍN-VIDE, J. (2004). Spatial distribution of daily precipitation concentration index in peninsular Spain, *International Journal of Climatology*, 24, p. 959-971.
- MILLÁN, M.; ESTRELA, M.J. y MIRÓ, J.J. (2006). Análisis de tendencia de la precipitación bajo situaciones de frente de retroceso en la Comunidad Valenciana (1959-2004). En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 5, pp. 199-209.
- MIRÓ, J.J.; ESTRELA, M.J. y MILLÁN, M. (2006). Análisis de tendencia de la precipitación por frentes atlánticos en la Comunidad Valenciana (1959-2004). En: *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 5, pp. 211-220.
- PEÑARROCHA, D.; ESTRELA, M.J. y MILLÁN, M. (2002). Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: the Valencia region; *Int. J. Climatol*, 22, pp. 677- 695. DOI: 10.1002/joc.747.
- POESEN J. y BUNTE, K. (1996). The effects of rock fragments on desertification processes in Mediterranean environments. En: *Mediterranean Desertification and Land Use*, Brandt CJ, Thornes JB (eds), Wiley: Chichester, pp. 247-269.
- ROMERO, R.; RAMIS, C. y GUIJARRO, J.A. (1999). Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification; *Int. J. Climatol*, 19, pp. 95-112.
- WILSON, R.C. y WIECZOREK, G.F. (1995). Rainfall thresholds for the initiation of debris flow at La Honda, California, *Environmental Engineering and Geoscience*, 1 (1), pp. 11-27.
- YAIR, A. y LAVEE, H. (1985): Runoff generation in arid and semi-arid zones. En: Anderson and B.