

ÍNDICES PARA EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA VARIABILIDAD Y VALORES EXTREMOS EN LA PRECIPITACIÓN DIARIA 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 analiza el comportamiento y evolución de un conjunto de índices basados en la precipitación diaria, con los que se pretende estudiar los cambios observados en ella, en particular, en la ocurrencia e intensidad de sus episodios extremos. Los datos utilizados corresponden a seis observatorios de la cuenca del Ebro y el intervalo analizado es el periodo 1941-2000. El conjunto de índices ensayado analiza más aspectos que otros conjuntos utilizados como, por ejemplo, los de los proyectos ECA o STARDEX. En cuanto a la evolución de los índices, la conclusión primera es que evolucionan de acuerdo con la precipitación global.

Palabras clave: Índices de precipitación extrema, análisis de tendencias, precipitación diaria, cuenca del Ebro.

ABSTRACT

The aim of this paper is to study the behaviour and evolution of an index set which tries to reveal the changes observed in precipitation, particularly, in the occurrence rate and intensity of extreme rainfall events. The considered set aims to study exhaustively the different aspects of precipitation and it includes more properties than other sets employed in European projects such as ECA or STARDEX. Daily precipitation series (1941-2000) from six weather stations in the Ebro river basin are used for testing. The first and main conclusion is that extreme index behaviour is dominated by the evolution of the total precipitation.

Key words: *Indices of extreme precipitation, trend analysis, daily precipitation data, Ebro river basin.*

1. INTRODUCCIÓN

La investigación del posible cambio climático de origen antropogénico estuvo centrada, en una primera fase, en el análisis de la tendencia observada en el valor medio de las variables climáticas, en especial de las relacionadas con la temperatura. Con posterioridad surgió el interés por analizar los cambios en la variabilidad, en particular, en estudiar si el clima se vuelve cada vez más extremo, ya que son cambios que pueden tener tanto o más impacto que los asociados a la evolución de los valores medios (KARL *et al.*, 1999; MEEHL *et al.*, 2000).

Respecto a la precipitación, GROISMAN, KNIGHT y KARL (2001), en su análisis de la precipitación diaria en los USA, constatan el incremento en esa región del número de días con precipitación extrema y del valor máximo anual y afirman que “... el incremento en los episodios de lluvia intensa y extrema es superior en comparación con el cambio observado en la media, lo que es consistente con análisis hechos en todo el mundo”. A esta conclusión se llega también en la contribución del Grupo de trabajo I al TAR del IPCC (2001, Cap. 2, 158). DAI; TRENBERTH y

KARL (1998) afirman que el área global del planeta afectada por condiciones de sequía o de extrema humedad está aumentando.

Otros trabajos, sin embargo, ofrecen resultados que se contraponen con los anteriores. ZHANG; HOGG y MEKIS (2001) no encuentran una tendencia creciente en los episodios intensos o extremos de precipitación en Canadá y afirman que la variación decadal de la precipitación explica la que se observa en los episodios extremos; asimismo, señalan que el incremento a lo largo del siglo XX en la precipitación en ese territorio es debido, a diferencia de lo observado en los USA, al aumento de los episodios de lluvia de pequeña o mediana intensidad. HISDAL *et al.* (2001), en un estudio basado en 600 series de caudales diarios en ríos europeos, señalan que “... *no se puede concluir, en general, que las sequías hidrológicas sean más frecuentes o severas... Para la mayoría de las estaciones de aforo no se detectaron cambios significativos*”. ABAURREA y CEBRIÁN no encuentran indicios para rechazar la hipótesis de homogeneidad temporal en la tasa de ocurrencia y en la intensidad de las sequías climáticas observadas, a lo largo del siglo XX, en cinco observatorios españoles, Murcia, Madrid, Burgos, Daroca y Huesca.

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución de la precipitación en seis observatorios de la cuenca del Ebro, Daroca, Logroño Agoncillo, Pallaruelo de Monegros, Pineta Presa, Sádaba y Tortosa, a partir de un conjunto de índices basados en la precipitación diaria, que caracterizan diferentes propiedades de los episodios extremos: frecuencia, intensidad, longitud de rachas, etc. Los observatorios se han seleccionado por la continuidad y longitud de su registro diario, tras haber superado satisfactoriamente varios controles de carácter absoluto (ver comunicación de los mismos autores en este volumen). Están ubicados en áreas de la cuenca donde se han identificado evoluciones diferentes de la precipitación (ABAURREA; ASÍN y CENTELLES, 2002).

En el apartado 2 se presentan los índices analizados; en el 3 se ofrecen los resultados obtenidos hasta el momento y en el 4 algunas conclusiones sobre el conjunto de índices propuesto. Este trabajo forma parte del proyecto REN2002-0009 “Análisis espacio-temporal de la variabilidad de la precipitación diaria” en el apartado relativo a “Modelización de los episodios extremos en la cuenca del Ebro”.

2. DEFINICIÓN DE LOS ÍNDICES

Los índices utilizados pretenden desvelar los cambios experimentados por la distribución de la precipitación en la segunda mitad del siglo XX. Para ello se calculan 23 índices relativos a la localización, dispersión y sucesos de carácter extremo en la precipitación diaria y 35 índices relativos a las propiedades de las rachas húmedas y secas.

El conjunto de índices propuesto, en fase experimental, incluye aspectos de la precipitación no considerados por los 15 índices estudiados en ECA o por los 33 analizados en STARDEX. Para facilitar el análisis de este conjunto de información se ha hecho un esfuerzo en diseñar gráficos que permiten analizar varios índices simultáneamente, sin problemas graves de escala.

2.1. Índices básicos

Siguiendo una regla habitual que pretende evitar problemas debidos al diferente criterio de los observadores en el registro de las cantidades pequeñas, consideraremos que un *día húmedo* es aquél en el que la precipitación recogida es superior o igual a 1 mm (1 l/m^2) y un *día seco* aquél en el que no hay precipitación o ésta es inferior a ese valor.

2.1.a. Definición

Valores globales. El índice **Ch** mide la cantidad anual de precipitación recogida en los días húmedos, **Fh** el número de días húmedos en un año e **Ih**, igual a Ch/Fh , la intensidad media en un día húmedo.

Máximos. Los índices utilizados para caracterizar los valores máximos son **Max**, la precipitación máxima diaria en el año, y **Max5**, el máximo anual de la precipitación acumulada en cinco días consecutivos.

Localización. Los índices **p25**, **p50**, **p75**, **p90** y **p95** son los correspondientes percentiles de la muestra anual de cantidades diarias recogidas en días húmedos.

Frecuencia. Como índices de frecuencia se analizan, **Fp25+**, **Fp50+**, **Fp75+**, **Fp90+** y **Fp95+** que expresan el número de días de cada año cuya precipitación es superior al percentil de referencia indicado. Los percentiles de referencia, **pNNrf**, se calculan utilizando los datos de los días húmedos en un periodo común, en este caso el intervalo [1961-1990]. Se estudia además la frecuencia de las precipitaciones superiores a un valor absoluto, 10 mm, denotada **F10+**.

Porcentaje de aportación. Los índices **Pp75+**, **Pp90+** y **Pp95+**, indican el porcentaje, respecto de la *lluvia total* anual **Ct**, que representa la cantidad recogida en los días con precipitación por encima del valor de referencia indicado.

Intensidad. Estos índices, que expresan la cantidad media observada en los días que llueve dentro de un rango de valores, permiten analizar posibles desplazamientos en la distribución. Analizamos tres: **Ip25p75**, que estudia la banda central definida por **p25rf** y **p75rf**, **Ip75max** e **Ip90max**, que miden la evolución en los episodios intensos, por encima de **p75rf**, o muy intensos, por encima de **p90rf**.

Entre los índices definidos, **Max**, **Max5**, **p75**, **p90**, **p95**, **Fp75+**, **Fp90+**, **Fp95+**, **Pp75+**, **Pp90+**, **Pp95+**, **Ip75max** e **Ip90max**, describen el comportamiento extremo de la precipitación. Se trata de índices asociados a valores extremos no extraordinarios que, por lo general, incluyen varios episodios en el cálculo de su valor anual.

Hemos definido dos índices que caracterizan la relación entre la precipitación en los días húmedos y la observada en todos los días con precipitación apreciable (superior a 0,1 mm); uno es el cociente entre la cantidad acumulada en los días húmedos y la cantidad total anual, Ch/Ct , y el otro su análogo para la frecuencia, Fh/Ft .

2.1.b. Análisis gráfico y estadístico

Para analizar la evolución de los índices se representa su serie de observaciones y a ella se superpone la correspondiente serie suavizada, obtenida mediante un suavizado *lowess* cuya ventana equivale a la inclusión de 20 años (datos) en el cálculo de cada valor estimado. Utilizando 9 índices de distinto tipo, se ha comprobado en cada observatorio la adecuación del suavizado mediante un análisis de residuos. La evolución de la mayoría de los índices se analiza sobre gráficos que muestran varios de ellos. Se representan conjuntamente:

- Las series de los percentiles, p25, p50, p75, p90 y p95.
- Las de los índices de frecuencia, Fh, Fp25+, Fp50+, Fp75+ y Fp90+.
- Las de los porcentajes de aportación, Pp75+, Pp90+, Pp95+.
- Las de los índices de intensidad, Ip25p75, Ip75max, Ip90max.

La existencia de una posible tendencia lineal se evalúa:

1. Ajustando una recta de regresión cuya significación se establece utilizando el test t habitual, y
2. Aplicando un test basado en el coeficiente de correlación de Kendall entre la serie del índice y el tiempo. Este análisis se completa aplicando tests de aleatoriedad no paramétricos como el test de rachas respecto a la mediana y el test de signos.

2.2. Índices de rachas

De acuerdo con el criterio adoptado, definimos una racha húmeda como una sucesión de días húmedos consecutivos y una racha seca como una de días secos (con precipitación inferior a 1mm). Para las rachas se definen índices relativos a su longitud y para las húmedas, además, índices relativos a la cantidad de precipitación registrada.

2.2.a. Rachas secas

Como índices generales se calculan, **RsF**, el número de rachas observadas cada año, la longitud media de las rachas, **RsL**, y **RsDT**, la desviación típica de sus longitudes. Para analizar la evolución de los valores centrales se representan en un gráfico los percentiles **Rsp25**, **Rsp50** y **Rsp75** de la muestra anual de longitudes. Análogamente, para los valores extremos se construye otro con los percentiles **Rsp90**, **Rsp95** y **Rsmax**, la longitud de la máxima racha seca anual. En un gráfico común se dibujan los índices, **RsPminp25**, **RsPp25p75** y **RsPp75max**, que expresan la proporción, respecto del número anual de rachas secas, que representan aquéllas cuya longitud,

1. Es menor o igual que Rsp25rf,
2. Las que están entre Rsp25rf y Rsp75rf, y, finalmente,
3. Las que son mayores o iguales que Rsp75rf, donde RspNNrf es el valor del percentil correspondiente en la muestra de longitudes de rachas secas en el periodo de referencia. Finalmente se representan en un gráfico las curvas suavizadas de las longitudes de racha entre 1 día y Rsp25rf, **RsLminp25**, entre Rsp25rf y Rsp75rf, **RsLp25p75**, y de las longitudes mayores o iguales que Rsp75rf, **RsLp75max**.

2.2.b. Rachas húmedas

Para analizar la longitud de las rachas húmedas se han calculado análogamente los índices, **RhF**, **RhL**, **RhDT**, **Rhp90**, **Rhp95**, **Rhmax**, **RhLp50max**, **RhLp75max** y **RhLp90max**.

La evolución del nivel medio y variabilidad de la cantidad de precipitación recogida en cada racha se hace sobre un gráfico que incluye el suavizado de la serie de cantidades observadas, enmarcado en una banda formada por los percentiles **Crp25** y **Crp75**. Se calculan además los índices **CrDT**, que indica la desviación típica de las cantidades en la muestra anual, **CrMax**, que señala la cantidad máxima observada en el año e **Irp90**, que indica el percentil 90 de las intensidades (cociente entre precipitación acumulada y longitud) de las rachas húmedas en cada año.

Al objeto de analizar si se observa una evolución diferente en las precipitaciones de origen convectivo y en las producidas por borrascas de origen frontal, se consideró de interés el estudio separado de las rachas húmedas de longitud 1 (cortas), de las de longitud mayor que uno (largas), y de las cantidades medidas en ellas. Para ello definimos los índices **CTr1** y **CTr1+**, que calculan la cantidad de precipitación recogida en un año en las rachas cortas y largas; **PFr1**, que expresa la proporción de rachas cortas respecto de la frecuencia anual de rachas húmedas y, finalmente, **Cr1DT** y **Cr1+DT**, que proporcionan la desviación típica de las cantidades recogidas en las rachas cortas y largas de cada año.

2.3. Comparación con los conjuntos de índices ECA y STARDEX

En el proyecto ECA no se analiza ningún índice de localización basado en los percentiles de la precipitación anual ni tampoco índices relativos a la intensidad de la precipitación cuando llueve en un rango de valores; sólo se considera I_h . En cuanto a las rachas, sólo se consideran los índices relativos a las longitudes máximas, R_{smax} y R_{hmax} .

ECA analiza tres índices que nosotros no hemos considerado:

- **F20+**, un umbral absoluto que descartamos por considerarlo demasiado extremo para la región en estudio; supera el nivel p95 en dos de los 6 observatorios y está cerca de ese nivel en otros dos.
- **Fp99+** y **Pp99+**, umbrales relativos demasiado extremos a nuestro juicio; en bastantes años no van a observarse hechos de ese tipo y, en otros, esos índices van a reflejar lo observado en un único episodio.

En el proyecto STARDEX analizan 7 percentiles de la precipitación diaria (p20, p40, p50, p60, p80, p90 y p95), en lugar de los 5 que nosotros consideramos. Para estudiar la frecuencia de precipitación que supera un determinado umbral, utilizan los 7 percentiles anteriores, tomados cada año de la correspondiente distribución anual, en vez de calcularlos en un periodo de referencia, lo que parece más adecuado. No consideran Max pero sí Max3 y Max10, además de Max5. No estudian índices de intensidad aparte de I_h .

Todos los índices relativos a rachas húmedas y secas de STARDEX se refieren a su longitud. Analizan la media, mediana, desviación estándar y longitud máxima de la muestra anual de rachas, para ambos tipos de racha. Los índices relativos a la persistencia media de días húmedos y secos son sólo una función de la respectiva longitud media; así la probabilidad de día húmedo después de día húmedo verifica $p_{ww}=(RhL-1)/RhL$.

Clare Goodess, coordinadora de STARDEX, afirma en un artículo publicado el 23/3/2004 en <http://the-eggs.org>, que han identificado 10 índices básicos en los que se ha focalizado el trabajo; de los diez, seis son de precipitación: p90, Max5, I_h , R_{smax} , Pp90+ y Fp90+.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Evolución en los índices básicos

La evolución de la lluvia global durante el periodo de estudio en los observatorios elegidos no es homogénea (Fig. 1). Distinguimos dos grupos; por un lado Logroño y Daroca, que tienen un perfil inicial análogo, tendencia inicial decreciente y un máximo local en los años setenta, y que divergen desde finales de los años ochenta. Los otros cuatro observatorios muestran también una similitud global; su mayor discrepancia está en el momento, diferente, en el que inician la recuperación final y en la pendiente de ésta.

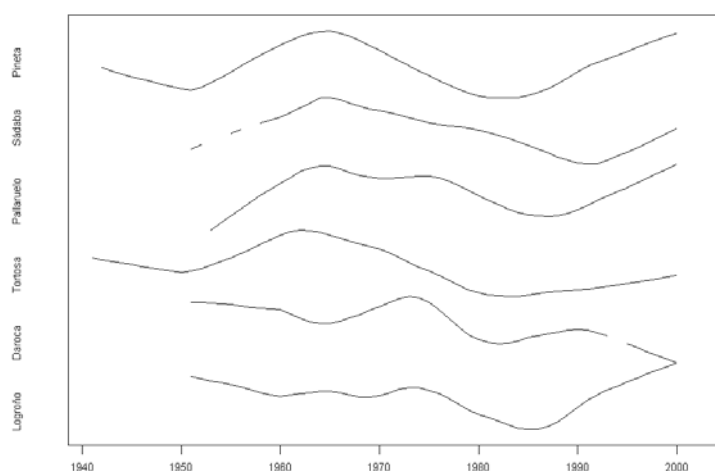


Fig. 1. Perfiles suavizados de la lluvia anual (1940-2000) en los 6 observatorios estudiados

Pese a las diferencias de evolución, si se calculan los coeficientes de correlación entre el suavizado de Ch y los suavizados correspondientes a 15 series de índices (Tabla 1), el hecho más destacable es la alta correlación existente entre la lluvia global y la mayoría de esas señales, en todos los observatorios. Esto confirma que la evolución de los índices extremos de precipitación sigue la de la lluvia global, como han señalado ZHANG *et al.* (2001) y HAYLOCK *et al.* (2000) para Canadá y Australia, respectivamente.

Los 15 índices de la tabla pueden clasificarse en 4 grupos:

1. Índices muy extremos (ME): Max, Max5, p95, Fp95+, Pp95+;
2. Índices extremos (E): p90, Fp90+, Ip90max, Pp90+;
3. Índices poco extremos (PE): p75, Fp75+, F10+, Ip75max, Pp75+, y
4. Formado por el índice de frecuencia global Fh.

A la tabla se le ha añadido una columna “Mediana” donde para cada índice (fila) se calcula la mediana de sus valores en los 6 observatorios. Para cada columna (observatorio), hemos calculado las medianas dentro de cada grupo de índices, obteniendo así las filas “Mediana ME”, “Mediana E” y “Mediana PE”, respectivamente. En la fila “Mediana” se muestra el valor mediano de los 15 índices de cada observatorio.

Algunos coeficientes de la tabla 1 son pequeños y en algún caso, sorprendentemente, negativos, lo que puede deberse a problemas en el registro de algunas observaciones que resultan muy influyentes. En todos esos casos encontramos correlaciones elevadas en índices próximos a aquél

en el que se observa el valor pequeño de correlación. El observatorio donde este hecho se produce repetidamente es Logroño, con correlaciones de 0,471, -0,282 y 0,260 en los índices Max, Max5 e Ip90m, mientras Ip75m y p95 tienen correlaciones 0,808 y 0,895.

Tabla 1. Correlaciones entre las señales suavizadas de la lluvia total y de los índices extremos de precipitación

Periodo Índice	Tortosa	Pineta	Daroca	Sádaba	Pallaruelo	Logroño	Mediana
	41-00	42-00	51-00	51-00	53-00	51-00	
Fh	0.835	0.180	0.788	0.983	0.350	0.563	0.676
F10+	0.577	0.947	0.575	0.967	0.835	0.858	0.847
Fp75+	0.837	0.944	0.519	0.963	0.854	0.790	0.846
Fp90+	0.740	0.974	0.788	0.941	0.681	0.916	0.852
Fp95+	0.868	0.728	0.926	0.93	0.962	0.891	0.909
Max	0.925	0.831	0.926	0.937	0.965	0.471	0.926
Max5	0.643	0.818	0.856	0.942	0.830	-0.282	0.824
P95	0.758	0.811	0.892	0.869	0.895	0.895	0.881
P90	0.409	0.849	0.533	0.966	0.707	0.826	0.767
P75	0.148	0.898	0.399	0.651	0.573	0.576	0.575
Ip90max	0.905	0.936	0.748	0.861	0.884	0.260	0.873
Ip75max	0.747	0.832	0.875	0.768	0.778	0.808	0.793
Pp95+	0.914	0.809	0.813	0.923	0.912	0.822	0.867
Pp90+	0.825	0.931	0.858	0.756	0.713	0.911	0.842
Pp75+	0.392	0.916	0.870	0.864	0.777	0.870	0.867
Mediana ME	0.868	0.811	0.892	0.930	0.912	0.822	0.881
Mediana E	0.783	0.934	0.768	0.901	0.709	0.869	0.847
Mediana PE	0.577	0.916	0.575	0.864	0.778	0.808	0.793
Mediana	0.758	0.849	0.813	0.930	0.830	0.822	0.847

Analizando la tabla 1 se obtienen algunos resultados destacables:

- En la columna de Tortosa se encuentran 5 de las 12 correlaciones de índices extremos más pequeñas de la tabla, lo que tiene reflejo en la mediana global, donde Tortosa, con 0,758, tiene el menor valor de los seis observatorios. Sin embargo, las correlaciones correspondientes a los indicadores Max, Pp95+ e Ip90max indican una fuerte relación de las precipitaciones muy extremas con la lluvia total en esta localidad.
- La menor correlación de la lluvia global con el indicador de frecuencia Fh, inferior a la de todos los indicadores excepto p75, con valores que llegan a 0,180 y 0,350 en Pineta y Pallaruelo, puede estar causada por la inhomogeneidad de criterio de los diferentes observadores implicados en el registro y señala la dificultad del estudio de propiedades que guardan relación con la frecuencia, como son la intensidad Ih o el ratio Fh/Ft. La buena concordancia que existe en los índices de frecuencia más extremos hace pensar que este problema no aparece en el registro de precipitaciones de cierta intensidad.
- El nivel de correlación descende, en general, si disminuye la intensidad del carácter extremo. En 4 de los 6 observatorios el valor mediano para el bloque de indicadores ME es el mayor de los tres bloques y el correspondiente a los indicadores PE, el menor. Si analizamos esta cuestión en la columna Mediana, observamos ese descenso de la correlación al analizar

diferentes propiedades: se observa al comparar Fp95+, Fp90+ y Fp75+; también al comparar Max, p95, p90, p75, y con Ip90max e Ip75max. No se aprecia, sin embargo, en los porcentajes de aportación, que permanecen estables al considerar los umbrales p75, p90 o p95.

La similitud de evolución de la precipitación acumulada y los índices extremos, reflejada en las altas correlaciones de la tabla 1, se aprecia gráficamente en la figura 2, donde aparecen los suavizados de las series de Ch, p75, p95, Max, Fp75+, Fp95+, Pp75+, Pp95+ e Ip90max, para el observatorio de Pineta, transformados a una escala [0,1] y desplazados para evitar su superposición.

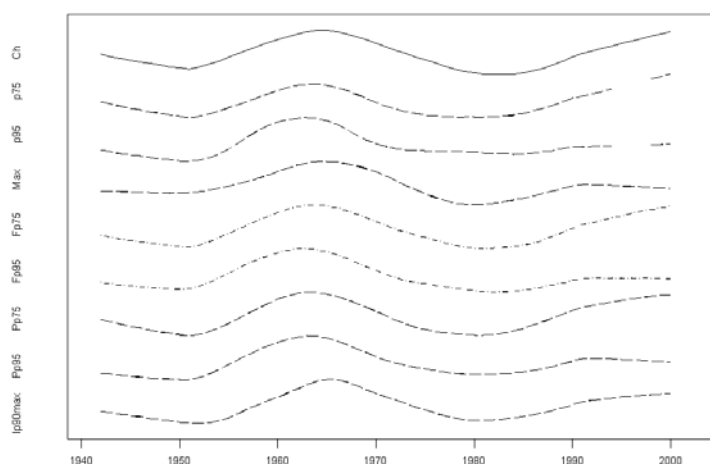


Fig. 2. Perfiles de evolución de la lluvia total y de varios índices extremos en Pineta

Es necesario profundizar en el análisis de esta evolución que en la figura 2 se muestra tan paralela. Las cuestiones a considerar son dos:

1. ¿Existe el efecto de “aceleración” citado en el informe TAR, según el cual los extremos aumentarían en tasa e intensidad por encima del nivel al que lo hace la cantidad de precipitación? y,
2. ¿Hay otros indicios de cambio climático en las señales de extremos?

No tenemos respuesta por el momento para estas dos cuestiones. Hemos comenzado a estudiar el comportamiento de cuatro de los índices, Max, p95, Fp95+ y Pp95+, en relación con Ch y con el tiempo. Al ensayar modelos de regresión se observa que, en muchos casos, sólo Ch es retenida como covariable, aunque en algunos observatorios, y para algún índice, el tiempo y una variable indicadora (año > 1974), o interacciones con ella, son también significativas.

En cuanto a la primera pregunta, la respuesta, por el momento, es que esa aceleración no es aparente en los observatorios analizados. Hemos transformado las señales de los 4 índices citados y la de Ch para que se muevan en el intervalo [0,1]; al analizar mediante diagramas de dispersión el comportamiento de las diferencias entre el valor del índice y el de la lluvia global frente a Ch se aprecia, en casi todos los casos, nubes aproximadamente lineales con orientación negativa, lo que no apoya la tesis de la aceleración.

3.2. Evolución de los índices de rachas

3.2.a. Rachas secas

Los índices relativos a la longitud de las rachas secas no señalan un patrón de evolución bien definido; bastantes señales en los distintos observatorios muestran signos de estabilidad. Los hechos reseñables son:

1. El incremento del nivel medio del suavizado de R_{smax} , lo que indica un incremento en la longitud media de la racha seca más larga, en la segunda mitad del periodo en todos los observatorios; una tendencia global significativa al 5% se observa sólo en las series de Daroca y Tortosa.
2. La distribución entre rachas cortas medias y largas, fijada por los percentiles p_{25} y p_{75} , se mantiene estable en el tiempo, aunque en los observatorios de Logroño, Sádaba y Pineta, que cabe caracterizar como noroccidentales, se incrementa la proporción relativa de las rachas medias, índice R_{sP2575} , a partir de los años ochenta.
3. La existencia de un salto en las series R_{sL} (creciente) y R_{sF} (decreciente) de Tortosa en 1978 y de otro, de características similares, en Sádaba en el año 1985.

3.2.b. Rachas húmedas

En los índices asociados a la longitud de las rachas húmedas, Pallaruelo y Pineta muestran un comportamiento estable, mientras Sádaba, Logroño y Daroca indican un decrecimiento, significativo en bastantes casos, en la duración media, variabilidad, frecuencia y en el valor de los percentiles altos, que decrecen desde los años sesenta. Tortosa acusa la discontinuidad de salto comentada antes, que hace que la frecuencia disminuya y la longitud media aumente.

Los índices asociados a la cantidad de precipitación en cada racha son estables en Tortosa, Logroño y Pineta, y decrecientes en los observatorios de Sádaba Daroca y Pallaruelo; el descenso en la cantidad media es significativo al 10% en los tres observatorios, el relativo al percentil 90 de la intensidad sólo en Sádaba y Daroca y, por último, el de la cantidad máxima registrada sólo en Daroca.

En cuanto al análisis diferenciado de las rachas húmedas cortas y largas señalemos que, en la cantidad total recogida, la evolución observada para las rachas largas coincide con el perfil de la lluvia global en el observatorio, lo que resulta lógico. En cuanto a las rachas cortas, la estabilidad es la tónica en todos los casos salvo en Tortosa donde se observa un decrecimiento significativo al 10%. El porcentaje de participación de las rachas cortas es estable en todos los observatorios salvo en el de Sádaba, donde hay una tendencia creciente significativa al 5%, y en el de Tortosa, que muestra un comportamiento decreciente desde 1950, también significativo.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se utiliza un conjunto de índices basados en la precipitación diaria para analizar la evolución de la precipitación. Está formado por dos bloques: uno básico, constituido por 23 índices, y otro relativo a las rachas húmedas y secas, que consta de 33. Este conjunto es más

amplio que los utilizados en los proyectos ECA (15 índices) o STARDEX (33) y analiza propiedades de interés que éstos no tienen en cuenta.

El bloque básico se encuentra muy depurado. El ensayo sobre los 6 observatorios muestra que todos los índices son informativos ya que, pese a seguir una evolución casi paralela a la de la lluvia total, se aprecian diferencias y también relaciones distintas en los diferentes climas. La falta de precisión y el cambio de criterio de los observadores hace que índices como Ih, Ch/Ct y Fh/Ft puedan ser poco fiables. En conclusión, pensamos que el conjunto de índices definido en este primer bloque está mejor diseñado que los dos conjuntos competidores citados.

El bloque relativo a las rachas está todavía en periodo de estudio. Por una parte, la evolución de estas magnitudes, al moverse en rangos más estrechos, es más difícil de reflejar, lo que puede llevarnos a reelaborar alguno de los índices. Por otra, es necesario restringir su número eliminando índices con información parcialmente redundante.

5. 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, 3, pp. 113-124.
- ABAURREA, J. y CEBRIÁN, A.C. Drought analysis based on a marked cluster Poisson model. (preprint).
- DAI, A.; TRENBERTH, K.E. and KARL, T. R. (1998). "Global variations in droughts and wet spells". *Geophys. Res. Lett.*, 25, pp. 3367-3370.
- EASTERLING, D.R. et al. (2000). "Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, pp. 417-424.
- FOLLAND, C.K. y KARL, T.R. (2001). *Observed climate variability and change*. Contribution of Working Group I to the T. A. R. of the IPCC, Cambridge University Press, 2nd Chapter, pp. 99-182.
- GOODESS, C. (2004). Statistical and regional dynamical downscaling of extremes for European regions: STARDEX. On-Line: <http://www.the-eggs.org>.
- GROISMAN, P.Y.; KNIGHT, R. W. and 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.
- HAYLOCK, M. and NICHOLLS, N. (2000). "Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998". *Int. J. Climatol.*, 20, pp. 1533-1541.
- HISDAL, H. et al. (2001). "Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent?". *Int. J. Climatol.*, 21, pp. 317-333.
- KARL, T.R.; NICHOLLS, N. and GHAZI, A. (Eds.) (1999). "Weather and climate extremes: Changes, variations and a perspective from the insurance industry". Special Issue *Climatic Change*, 42, 1.
- KLEIN TANK, A.M.G. and KÖNNEN, G.P. (2003). "Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999". *J. of Climate*, 16, pp. 3665-3680.
- MEEHL, G.A. et al. (2000). "An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts and model projections". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, pp. 413-416.
- ZHANG, X.; HOGG, W. D. and MEKIS, E. (2001). "Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation events over Canada". *J. of Climate*, 14, pp. 1923-1936.