

TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

José A. GUIJARRO

Instituto Nacional de Meteorología, C. Met. en Illes Balears, Palma de Mca. <pm�@inm.es>

RESUMEN

La problemática del cambio climático ha renovado el interés por el estudio de las tendencias de diferentes variables climatológicas, y especialmente de la temperatura y la precipitación. En este trabajo se ha explorado la variabilidad espacio-temporal de la tendencia de las precipitaciones anuales, mediante el estudio de tendencias móviles de 15, 30, 45 y 60 años de las dos series centenarias de Baleares, así como cartografiando las tendencias de 281 estaciones de este archipiélago. Para ello se ha procedido previamente a un proceso iterativo de relleno de lagunas mediante interpolación de las proporciones respecto a la precipitación anual media. Finalmente se ha ampliado la cartografía de las tendencias a toda la fachada mediterránea de la Península Ibérica, encontrando patrones que podrían relacionarse con un aumento en las frecuencias de ciclogénesis argelinas y otras situaciones similares.

Palabras clave: Series climatológicas, homogeneización, relleno de lagunas, precipitación, tendencias, cambio climático, Baleares, Mediterráneo.

ABSTRACT

Concerns about the climatic change have risen a renewed interest in the study of the trends of a variety of climatological variables, specially those of temperature and precipitation. In this work, the spatial and temporal variability of the annual precipitation trends have been explored, through the study of 15, 30, 45 y 60 year moving trends of the two centenary Balearic series. On the other hand, trends of 281 station of this archipelago have been mapped, after having applied an iterative process for missing data estimation, based on interpolations of precipitations expressed as proportions of the annual average. Finally, the trend cartography has been extended to all of the Iberian peninsula Mediterranean zones, thereby showing patterns that could be related to an increase in the Algerian cyclogenesis frequencies and other similar situations.

Key words: climatological series, homogenization, missing data estimation, precipitation, trends, climatic change, Balearics, Mediterranean.

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación existente por la evolución futura de los recursos hídricos en el contexto de la problemática del cambio climático ha suscitado un gran interés por el estudio de las tendencias de las series de precipitación. En lo concerniente al área del mediterráneo occidental, MORENO y MARTÍN-VIDE (1986) apreciaron una disminución de la precipitación en buena parte de la región, mientras que QUEREDA *et al.* (2000), en un análisis de 11 series largas, encuentran un aumento en Cataluña y Castellón, y una disminución en el resto.

En un estudio preliminar de las series más largas de Baleares (GUIJARRO, 2001) también aparecieron tendencias de distinto signo, a pesar de la reducida escala espacial del área estudiada, con un aparente gradiente NE-SE: tendencias negativas en Mahón (Menorca) y positivas en el aeropuerto de Ibiza. Este gradiente, de confirmarse, podría indicar posibles cambios en los patrones de la circulación atmosférica en el Mediterráneo occidental.

Sin embargo estas series, o bien han estado expuestas a inhomogeneidades debidas a diversos cambios de emplazamiento, cuyos efectos no resulta fácil discernir, o bien no disponían de datos completos en el periodo de 60 años (1941-00) que se utilizó para el cálculo de las tendencias, lo que ha podido influir en la correcta evaluación de las mismas.

Por otra parte, aunque una serie no presente este tipo de problemas, la elevada variabilidad espacio-temporal de la precipitación puede introducir componentes aleatorios que le resten representatividad.

En este trabajo se trata de explorar la sensibilidad de las tendencias pluviométricas a esta variabilidad. Para ello, primeramente se analizará su influencia en el dominio temporal, mediante el cálculo de tendencias móviles en las dos series centenarias de Baleares. Posteriormente se estudiará la representatividad espacial de las tendencias mediante su cómputo en una red pluviométrica densa, como es la del archipiélago Balear, para lo que se procederá previamente a aplicar un procedimiento de relleno de lagunas. De este modo se tratará de verificar si realmente existen tendencias de diverso signo en estas islas. Y, en tercer lugar, se extenderá el cálculo de las tendencias al litoral mediterráneo de la Península Ibérica, para poder valorar la coherencia de los patrones de la tendencia en una escala más amplia.

2. TENDENCIAS DE LAS SERIES PLUVIOMÉTRICAS MÁS LARGAS DE BALEARES

Las series pluviométricas más largas de este archipiélago son las de Palma de Mallorca (desde 1862) y Mahón (que comienza en 1865). Sin embargo, a lo largo de su historia, el observatorio de Palma ha cambiado de ubicación en 1917, 1938 y 1978, mientras que la serie de Mahón también ha estado sujeta a cambios en 1885, 1932, 1939 y 1970. Los últimos traslados de ambos observatorios son los que han supuesto los mayores desplazamientos horizontales, que sin embargo se han limitado a 3,00 y 3,75 km respectivamente.

Valorar el efecto de estos cambios se ha revelado una tarea difícil, sobre todo en los segmentos más antiguos de estas series, en los que la densidad de estaciones era muy escasa. En algunas ocasiones se han aplicado métodos de homogeneidad relativa para corregir estas series, entre sí o con el apoyo de otras series largas del litoral peninsular (ALMARZA *et al.*, 1996), pero la elevada variabilidad espacial de la precipitación en un clima como el nuestro, en el que gran parte de la lluvia se origina por procesos convectivos y, por tanto, meso-escalares, resta validez a la utilización de series muy alejadas, como se pone de manifiesto en las situaciones en que se dispone de una densa red pluviométrica. Como en el caso que nos ocupa estamos más interesados en estudiar la variabilidad temporal de las tendencias que en obtener valores concretos de las mismas, se ha optado por emplear las series sin aplicarles corrección alguna.

Así pues, se ha procedido a calcular las tendencias móviles de las dos series (desde su inicio hasta 2001 inclusive) para ventanas temporales de 15, 30, 45 y 60 años, mediante regresión lineal entre la precipitación anual y la variable temporal. Los resultados se ofrecen en la figura 1, en la que lo que más llama la atención es la acusada variabilidad y comportamiento cuasi-cíclico de las tendencias de 15 años (sobre todo en la serie de Palma), pues las series de datos anuales no presentan autocorrelaciones significativas, con espectros de frecuencias similares a los de un ruido blanco. Las de 30 años todavía presentan bastante variabilidad, con muchas fases positivas alternadas con otras negativas. Las tendencias calculadas sobre 45 y 60 años ya aparecen con un perfil más suavizado, y muestran comportamientos diferentes en Palma y Mahón. En efecto, mientras que en Palma sólo aparecen valores positivos en los extremos de la serie, dando a la evolución de la tendencia una apariencia cóncava, en Mahón tenemos una variación gradual desde valores negativos a otros positivos, para volverse nuevamente negativos y alcanzar los valores mínimos al final de la serie, probablemente debido al efecto de la última sequía. La evolución de la tendencia en Mahón presenta así un aspecto cóncavo, contrariamente al caso de la serie de Palma.

Debido a las elevadas varianzas de estas series anuales, la mayoría de las tendencias móviles calculadas no resultan significativas. De las de 30 años, por ejemplo, sólo una de las 111 calculadas para Palma ha superado el nivel $\alpha=0,05$, y en Mahón, de 108 sólo han resultado significativas 5 (4 de ellas corresponden a los 4 últimos años de la serie).

3. TENDENCIAS DE LA PLUVIOMETRÍA EN BALEARES

3.1. Selección de estaciones y relleno de lagunas

El periodo elegido para el cálculo de las tendencias es el 1941-00, que fue el empleado en el estudio preliminar citado en la introducción, y que, con 60 años de amplitud, presenta una variabilidad temporal muy suavizada, como se ha puesto de manifiesto en el apartado anterior.

Para conseguir una elevada densidad de estaciones se seleccionaron todas las que presentaban un mínimo de 10 años de datos en el periodo 1931-00. Así, al alargar 10 años hacia atrás el periodo de datos, se podrán incluir series que, habiendo funcionado más de 10 años, hubieran dejado de hacerlo en la década de los 40. En total resultaron seleccionadas 281 estaciones, de las que se recopilaron sus precipitaciones mensuales.

Tras valorar los procedimientos más habituales de relleno de lagunas, se decidió usar el método de las proporciones que, a pesar de su sencillez, resulta más robusto que los basados en regresiones lineales, muy sensibles a los datos anómalos, y que además pueden arrojar estimas de precipitación negativa en los meses de escasa precipitación. Para la aplicación del método se expresaron los datos de cada estación como porcentaje de su precipitación anual media, para después rellenar los datos mensuales ausentes mediante interpolación de los porcentajes de las estaciones vecinas, y posterior recodificación de los porcentajes a valores absolutos.

Una metodología similar ya fue utilizada con buenos resultados por PAULHUS y KOHLER (1952) hace 50 años, aunque aquí, en lugar de limitarnos a usar las tres estaciones más próximas a la

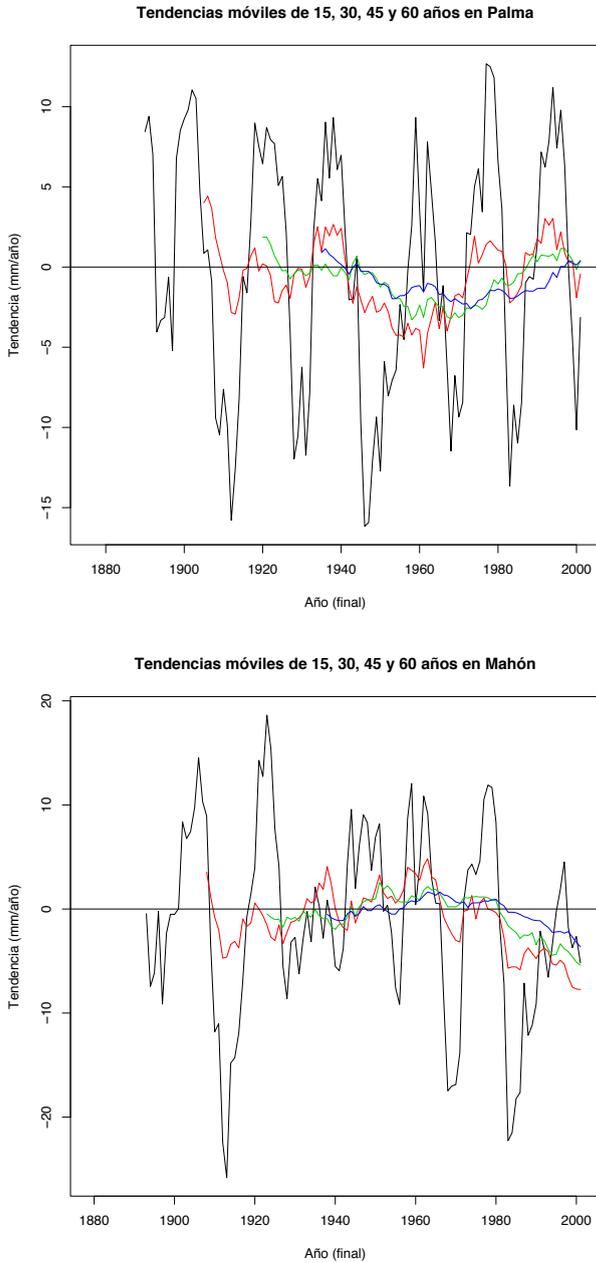


Figura 1: Variabilidad temporal de las tendencias de la precipitación anual en Palma de Mallorca (arriba) y Mahón (abajo).

problema, se usan todos los datos disponibles, ponderándolos por el inverso del cuadrado de la distancia horizontal a cada uno de ellos. De este modo no es necesario definir ningún radio máximo de influencia, que resultaría problemático al variar la densidad de estaciones tanto en el tiempo como en el espacio.

El problema principal de este método es que, al tener muy pocas series completas, generalmente no se dispone de promedios anuales referidos a un periodo común de referencia, por lo que para el cálculo de las proporciones de las precipitaciones respecto a la media de cada estación se utilizaron, en primera instancia, los promedios brutos de los datos con que contaba cada una de ellas. Una vez rellenadas las lagunas de datos con estas primeras estimaciones, se procedió a recalcular los promedios. El procedimiento se repitió hasta que, al cabo de 75 iteraciones, las precipitaciones anuales medias (expresadas con una precisión de décimas de milímetro) permanecieron constantes.

Esta metodología tiene otra ventaja importante respecto al uso de regresiones lineales, como es el aprovechamiento de datos de estaciones próximas aunque no exista periodo común de funcionamiento.

3.2. Cálculo y análisis de las tendencias

Una vez completadas todas las series de datos mensuales, se calcularon los totales anuales y sus tendencias durante el periodo 1941-00. Primeramente se obtuvieron mediante regresión lineal con el tiempo, lo que dio lugar a disparidades con los valores de las 7 estaciones que se usaron en el estudio preliminar. Entonces se recalcularon por el mismo método empleado en éste (diferencia entre los promedios de los treintenios 1941-70 y 1971-00), y se observó que de este modo las tendencias eran sistemáticamente mayores, con promedios de las tendencias de las 281 estaciones que pasan de -4,00 a -1,82 (expresadas como porcentaje, respecto al promedio de 1941-70, de variación de la precipitación anual cada 10 años).

Estas disparidades son suficientemente importantes como para tenerlas en cuenta y, dado que otros trabajos de la literatura científica estudian las variaciones de la precipitación a lo largo del tiempo por uno u otro método, cabe preguntarse cuál de las dos debería ser la metodología de referencia. Para compararlas utilizaremos nuevamente las dos series largas de Baleares, y se ha elegido una ventana móvil de 50 años (un valor en el que las variaciones temporales ya están suficientemente suavizadas) para el cálculo de las tendencias móviles en ambas series, que aparecen descritas con los parámetros estadísticos de la tabla 1. Se observa en ella que globalmente ofrecen resultados similares, con promedios muy parecidos en ambas localidades. Las medianas son casi iguales en Palma, pero en Mahón, curiosamente, la disparidad es apreciable. El rango intercuartílico del método de diferencia de medias en Palma vale 19.57 mm/década, inferior a los 22.90 del método de regresión, mientras que en Mahón las diferencias se invierten (22.55 y 17.63 respectivamente). Las desviaciones típicas son similares, aunque ligeramente superiores en el caso de las diferencias de medias en ambas estaciones.

En la figura 2 se representan las tendencias móviles calculadas para Mahón por ambos métodos. Se observa cómo, en efecto, los valores son generalmente bastante similares, pero puntualmente las diferencias pueden ser importantes.

Tabla 1: Parámetros estadísticos de las series de tendencias (ventana móvil de 50 años) de Palma y Mahón, calculadas por diferencia de medias y por regresión lineal.

Estadístico	Palma		Mahón	
	Dif. med.	Regresión	Dif. med.	Regresión
Máximo	19.86	17.14	20.01	30.59
3er cuartil	4.79	6.17	8.43	6.41
Media	-6.03	-5.97	-4.16	-4.51
Mediana	-7.00	-6.87	-0.95	-4.28
1er cuartil	-14.78	-16.73	-14.12	-11.22
Mínimo	-38.67	-30.84	-46.71	-39.82
Desv. típica	14.96	13.21	16.19	15.17

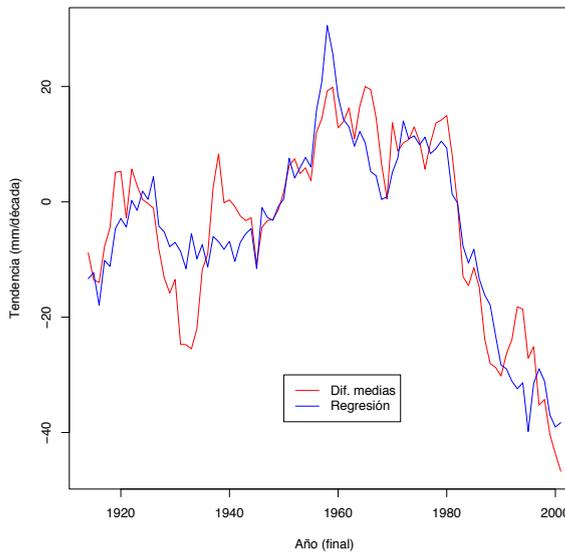


Figura 2: Tendencias móviles de 50 años de la precipitación anual de Mahón, calculadas por diferencia de medias y por regresión lineal.

Por continuidad con el trabajo preliminar citado, para estudiar la distribución espacial de las tendencias se han escogido las calculadas por diferencia de treintenios, y su cartografía se ofrece en la figura 3. Se observa en ella una acusada variabilidad, con predominio de tendencias negativas, sobre todo en el norte y centro de Mallorca y en Menorca, mientras que en Ibiza tenemos valores positivos o ligeramente negativos. Así pues, el procedimiento de relleno de lagunas ha aminorado

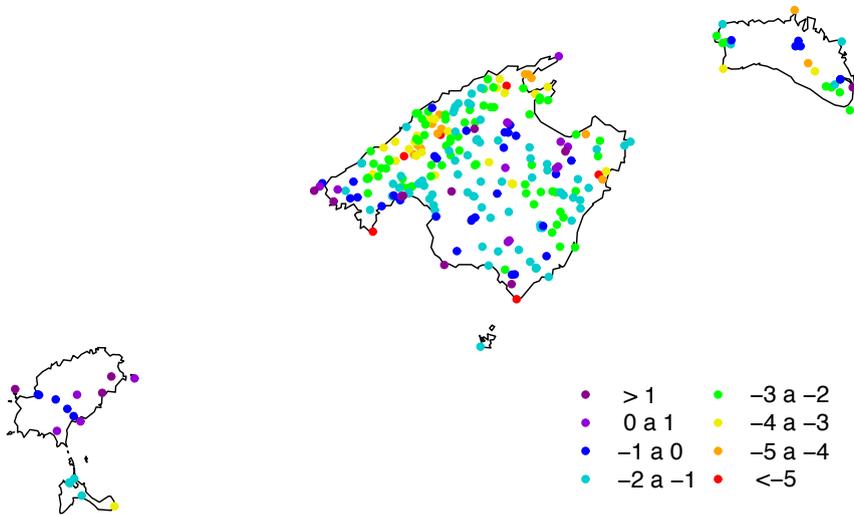


Figura 3: Distribución espacial de las tendencias (% por década) de la precipitación en Baleares (1941-00).

considerablemente la diferencia de tendencias entre Mahón y el aeropuerto de Ibiza que se había observado anteriormente, si bien se mantiene, a grandes rasgos, un cierto gradiente de tendencias que se tornan más negativas hacia el norte del archipiélago.

La gran variabilidad espacial de las tendencias pone de manifiesto, sin embargo, la escasa fiabilidad de las conclusiones que, sobre la evolución de las precipitaciones de una región dada, se pueden obtener mediante el estudio de una sola serie pluviométrica. Parte de esta variabilidad es atribuible a la naturaleza de la precipitación, pero otra parte puede ser debida a inhomogeneidades en las series, puesto que el conjunto de datos inicial se sometió a un proceso de relleno de lagunas únicamente, pero sin depuración de los posibles errores existentes. Así, las tendencias de los faros de la Mola de Formentera y, sobre todo, de los cabos de Cala Figuera y Salines en Mallorca, mucho más negativas que otras estaciones de su entorno, pueden ser debidas a déficits en la observación de la pluviometría en los últimos años, ocasionados por la progresiva automatización de los mismos y consiguiente retirada del personal que los atendía.

4. TENDENCIAS EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

Para estudiar los patrones de las tendencias de la precipitación en una escala más amplia se ha aprovechado la base de datos del proyecto PRECLIME, para el que se recopilaban los datos de precipitación diaria de las comunidades autónomas españolas con litoral mediterráneo que presentaban un 90 % de datos en el treintenio 1964-93. En total fueron 410 las estaciones seleccionadas

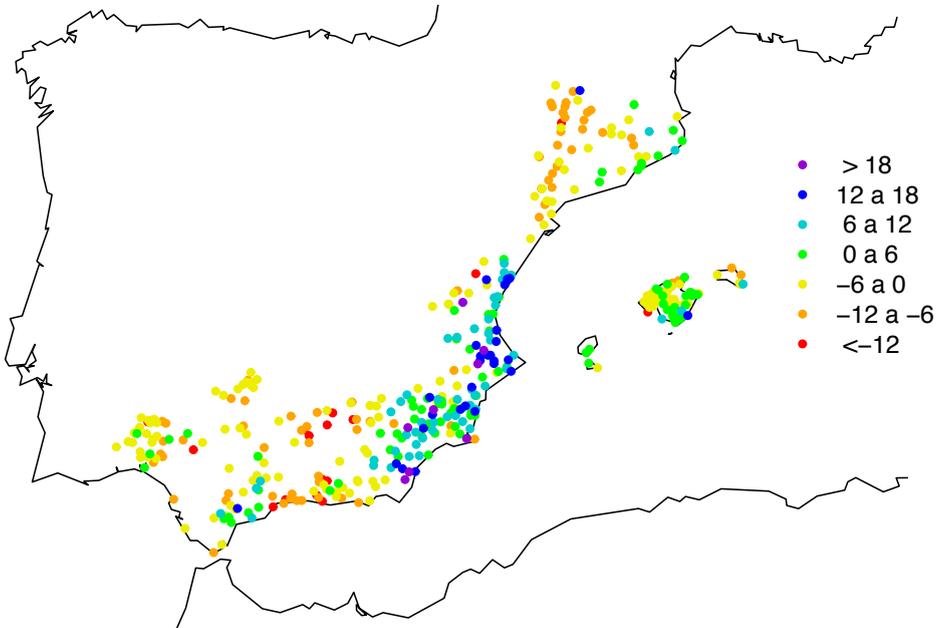


Figura 4: Distribución espacial de las tendencias (% por década) de la precipitación en el área mediterránea española (1964-1993).

(incluyendo las Islas Baleares), cuyos datos se rellenaron y depuraron mediante la metodología descrita por ROMERO *et al.* (1998).

A partir de estos datos diarios se obtuvieron las series anuales y se calcularon sus tendencias por los dos métodos del apartado anterior. El de la regresión lineal presenta una dispersión de valores algo mayor que el de la diferencia de medias, y únicamente en 40 de las series resulta significativa al nivel de 0,05. Las tendencias calculadas por diferencia entre las medias de 1964-78 y 1979-93 se han representado en la figura 4, y en ella se observa un claro predominio de los valores negativos en Cataluña, casi toda Andalucía, Menorca y noroeste de Mallorca, y una mayoría de tendencias positivas en el resto.

5. DISCUSIÓN

La elevada variabilidad espacio-temporal de las tendencias de la precipitación anual, junto con su escasa significación estadística (fruto de la elevada variabilidad de la propia precipitación), puede llevarnos a menospreciar su importancia, cifrada en varias unidades de porcentaje de aumento o disminución cada diez años que, de mantenerse en el tiempo, supondrían cambios drásticos en el reparto de los recursos hídricos de las zonas estudiadas, recursos generalmente críticos para sus actividades económicas (turismo y agricultura, preferentemente).

Afortunadamente esta misma variabilidad tiene un efecto tamponador, suavizando los desequilibrios al considerar intervalos temporales y/o ámbitos espaciales progresivamente mayores. Sin embargo, la evidente falta de aleatoriedad en las distribuciones espaciales estudiadas en este trabajo apunta a la existencia de causas subyacentes, como podrían ser cambios en las pautas de la circulación atmosférica en el Mediterráneo occidental. Así, el predominio de tendencias más negativas en el norte de Mallorca y Menorca respecto al sur de Mallorca e Ibiza estaría en consonancia con la ligera tendencia positiva de las componentes zonal y meridiana del viento encontrada por LAITA (1995) en el periodo 1961-90, que indican un pequeño, y con escasa significación estadística, aumento de la circulación en el eje SSW-NNE.

Y a escala regional, esta distribución de las tendencias en Baleares junto con la acumulación de valores positivos en Valencia, Alicante, Murcia y gran parte de Almería, podría indicar un aumento de las frecuencias de situaciones de ciclogénesis argelinas, que coinciden también con el aumento de episodios de lluvia de barro detectado en la zona por diversos autores (QUEREDA y OLCINA, 1994; QUEREDA *et al.*, 1996; FIOL *et al.*, 2001).

Claro que, tal como se ha visto en el estudio de tendencias móviles, estas variaciones no implican necesariamente una tendencia a largo plazo, sino que pueden formar parte de oscilaciones de largo periodo. En cualquier caso, la simetría de las evoluciones temporales de las tendencias en Palma y Mahón pueden reflejar la diferente influencia que esos cambios en la circulación, periódicos o no, pueden tener sobre áreas relativamente pequeñas. La relación entre configuraciones atmosféricas y distribución de la precipitación en el Mediterráneo español fue estudiada por ROMERO *et al.* (1999) utilizando todo el periodo 1964-93 en su conjunto. Sería interesante estudiar la evolución temporal de las frecuencias de estas configuraciones para relacionarlas con las variaciones de las tendencias pluviométricas que se dan en la zona. Mientras tanto, resulta notable la gran concordancia de la distribución espacial de las tendencias obtenidas en este trabajo y las estimadas para el presente siglo en un reciente trabajo (SUMNER *et al.*, 2003).

6. CONCLUSIONES

La elevada variabilidad espacio-temporal de la precipitación tiene gran influencia sobre el cálculo de las tendencias, lo que implica que, por un lado, sea desaconsejable la utilización de series aisladas para inferir la evolución de la precipitación de una región y, por otro, si se desea comparar las tendencias de diferentes zonas geográficas, resulte necesario calcularlas sobre un periodo común de observación.

La variabilidad espacial se traduce en una gran dispersión de valores, pero su cartografía revela patrones muy alejados de una distribución puramente aleatoria. Estos patrones deben estar relacionados con los distintos tipos de circulación atmosférica productores de precipitaciones, cuyas frecuencias a lo largo del tiempo valdría la pena investigar en conexión con las variaciones temporales de aquéllos.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Climent Ramis sus comentarios y sugerencias, que han contribuido a mejorar este artículo.

8. REFERENCIAS

- ALMARZA, C., LÓPEZ-DÍAZ, J.A. y FLORES, C. (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación en España*. I.N.M.-Min. de Medio Ambiente, A-143, 320 pp.
- FIOL, L.A., GUIJARRO, J.A. y FORNÓS, J.J. (2001): Las lluvias de barro en el Mediterráneo Occidental: El caso de Mallorca. *Revista de Climatología*, 1, pp. 7-20.
- GUIJARRO, J.A. (2001): Problemática de la detección del cambio climático en Baleares. En PONS, G.X. y GUIJARRO, J.A. (Eds.) *El canvi climàtic*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 9, pp. 147-158.
- MORENO-GARCÍA, M.C. y MARTÍN-VIDE, J. (1986): Estudio preliminar sobre las tendencias de la precipitación anual en el sur de la Península Ibérica: el caso de Gibraltar. II Simp. Agua Andalucía, Dep. Hidrogeol. Univ. Granada, I, pp. 37-44.
- LAITA, M. (1995): *El fenómeno del Niño y su influencia climática en el Mediterráneo occidental*. Tesis Doctoral, Univ. de les Illes Balears, 184 pp. + Anexos (inédita).
- QUEREDA, J.J. y OLCINA, J. (1994): Incremento de lluvias de barro en la fachada mediterránea de la Península Ibérica. ¿Un signo de cambio atmosférico?. En *Cambios y variaciones climáticas en España* (Actas de la 1ª Reunión del Grupo de Climatología de la AGE), Univ. de Sevilla/Fundación El Monte, pp. 235-257.
- QUEREDA, J., OLCINA, J. y MONTÓN, E. (1996): Red dust rain within the spanish mediterranean area. *Climatic Change*, 32, pp. 215-228.
- QUEREDA, J., MONTÓN, E. y ESCRIG, J. (2000): La evolución de las precipitaciones en la cuenca occidental del mediterráneo: ¿Tendencia o ciclos?. *Investigaciones Geográficas*, 24, pp. 17-35.
- ROMERO, R., GUIJARRO, J.A., RAMIS, C. y ALONSO, S. (1998): A 30 year (1964-93) daily rainfall database for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study. *Int. J. Climatol.*, 18, pp. 541-560.
- ROMERO, R., SUMNER, G., RAMIS, C. y GENOVES, A. (1999): A Classification of the Atmospheric Circulation Patterns Producing Significant Daily Rainfall in the Spanish Mediterranean area. *Int. J. Climatol.*, 19, pp. 765-785.
- SUMNER, G.N., ROMERO, R., HOMAR, V., RAMIS, C., ALONSO, S. y ZORITA, E. (2003): An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late 21st century. *Climate Dynamics* (en prensa).