

# ESTUDIO DE VARIACIONES CLIMÁTICAS EN ALMERÍA

ESTEBAN PARRA, M.J.<sup>\*</sup>; RODRIGO, F.S.<sup>\*</sup> Y CASTRO DIEZ, Y.<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Dpto. Física Aplicada. <sup>\*\*</sup> Dpto. Física Teórica y del Cosmos.

Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Granada.

## RESUMEN

*El sureste español es una zona con un régimen de lluvias escaso, de tipo mediterráneo, caracterizado por la presencia de zonas de marcada aridez y por la alternancia de fenómenos extremos (sequías y lluvias torrenciales), lo que confiere un especial interés a esta zona, dado que los fenómenos extremos tienen mayor repercusión en los impactos climáticos que las pequeñas fluctuaciones de variables climatológicas.*

*La mayor parte de los estudios climáticos sobre la evolución de la temperatura, hasta hace poco, se han centrado en el análisis de temperaturas medias, mientras que los registros de temperaturas máximas y mínimas no han recibido un análisis similar, siendo variables muy importantes para la comprensión de los impactos del cambio climático en campos tales como la agricultura y en general para el medio ambiente.*

*En este trabajo analizamos los registros de temperaturas máximas, mínimas y medias, así como los de precipitación, de la estación de Almería, usando técnicas estadísticas (medias móviles, test de Mann-Kendall, etc.) para la detección de tendencias, fluctuaciones y cambios abruptos, que nos permiten la caracterización de la evolución de estas variables climáticas. Se hace además un estudio de periodicidades, mediante técnicas de análisis espectral, que permite añadir a nuestras conclusiones un cierto carácter predictivo.*

**Palabras Clave:** Temperaturas extremas, precipitación, clima almeriense.

## ABSTRACT

*Spanish Southeast is an area with a scarce precipitation regime, mediterranean type, characterized by the presence of very arid zones and by the alternance of extreme events (droughts and torrential rainfalls), that give a especial interest to this zone, because the extreme events are more important on climatic impacts than the small fluctuations in the mean values of the climatological variables.*

*Till now the most part of the climatological studies about the temperature evolution has been focused on mean temperatures, while the maximum and minimum temperature records have not receipt*

*a similar analysis, although they are very important variables for understanding the impacts of climatic change on agriculture and environment.*

*In this work, we analyse the records of minimum, maximum and mean temperatures, as well as precipitation of Almería. For this, we use several statistical techniques (moving averages, Mann-Kendall test, etc.) to detect trends, fluctuations and abrupt changes, which allow us the characterization of the evolution of these climatic variables. Besides, we apply the spectral analysis to search periodicities, in order to obtain a certain degree of prediction.*

**Key Words:** *extreme temperatures, precipitation, Almeria climate.*

## INTRODUCCIÓN

Recientemente han aumentado las evidencias de que el uso de combustibles fósiles está cambiando la composición química de la atmósfera terrestre, de tal modo que un cambio climático global puede ser consecuencia del incremento en las concentraciones de gases invernadero. Uno de los objetivos de la Climatología es determinar si estas predicciones son consistentes con el registro climático observacional. El registro climático se usa, pues, no sólo para identificar las anomalías, sino también para determinar si hay tendencias o cambios en tales anomalías (Karl et al., 1989).

Los modelos de circulación general son los principales métodos hoy día para el estudio del clima. Sin embargo, son inadecuados para describir con cierto grado de exactitud los detalles del clima regional. Una aproximación alternativa al estudio del cambio climático y de su impacto regional es el uso de datos de los registros instrumentales para estimar las características regionales del clima (Giorgi y Mearns, 1991). En muchos de estos estudios aparecen cuestiones concernientes a las variaciones de la precipitación y la temperatura en los últimos años, cubriendo estaciones particulares o áreas más extensas del Hemisferio Norte. Pero son escasos los trabajos de este tipo sobre el territorio español, en particular en el sur de España.

Hasta hace poco, la mayor parte de los estudios sobre el cambio climático en la temperatura estaban centrados en el análisis de datos de temperaturas medias. Ejemplos de esto son los trabajos de Jones (1985) y Folland y Parker (1991). Desafortunadamente observaciones elementales como las temperaturas mínimas y máximas diarias no han recibido aún un tratamiento similar, a pesar de ser variables esenciales para entender los impactos ambientales del cambio climático. Estos impactos son más sensibles a las variaciones y sucesos extremos que a las variaciones en los valores medios (Karl, 1993; Katz y Brown, 1992). Además, recientemente se ha encontrado una evolución asimétrica de las temperaturas mínimas y máximas (Karl et al., 1993), cuyas causas pueden ser un aumento de la cobertura nubosa, un aumento de los aerosoles antropogénicos, el efecto invernadero y/o la variabilidad climática.

Otra variable climática de fuerte impacto ambiental es la precipitación, sobre todo cuando ésta o su ausencia, la sequía, aparece como suceso extremo, influyendo en los rendimientos agrícolas, o en el deterioro de las tierras por procesos de desertización.

## DATOS

En este trabajo hemos usado los datos de precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología de la estación de Almería (Ciudad Jardín). Los datos de temperatura cubren el período 1908-1980 y los de precipitación 1911-1991. Las series están formadas por valores medios mensuales para las temperaturas y totales mensuales para la precipitación, pero nuestro trabajo se basa en el análisis de medias anuales y estacionales de las series de temperaturas y totales anuales y estacionales de precipitación. Estas series pueden verse representadas en las Figuras 1 a 5.

La calidad y homogeneidad de las series ha sido comprobada. Tanto para las series de temperatura mínima, máxima y media como para la series de valores pluviométricos, se ha usado el test de las rachas (Chou, 1972) y el de Bartlett (Mitchell, 1966) para docimar la homogeneidad de los datos. Ambos métodos establecen tanto la homogeneidad de las series anuales como estacionales al nivel de confianza estadístico del 95%.

## MÉTODO Y RESULTADOS

Siguiendo esencialmente el esquema de Mitchell (1966), se pueden considerar tres tipos de variaciones: tendencias, cambios abruptos y fluctuaciones. Una tendencia climática es un aumento o descenso monótono y suave en los valores medios de una variable. Un cambio abrupto es un salto súbito y permanente de un valor medio a otro. Una fluctuación climática es cualquier otra forma de variación, regular o no, excepto la tendencia y el cambio abrupto. Pretendemos aquí estudiar las variaciones climáticas de Almería y su posible caracterización de acuerdo con estos conceptos.

Para estudiar tendencias usamos la prueba de Mann-Kendall, para los cambios abruptos la versión secuencial de esta misma prueba. La explicación de esta técnica puede verse en Esteban-Parra et al., (1994). Esta dócima no paramétrica ha sido usada por otros autores en la búsqueda de cambios abruptos en estudios climáticos (Goossens y Berger, 1986; Sneyers, 1992).

En la parte derecha de las Figuras 1 a 5, aparecen reflejados los resultados obtenidos de la aplicación de la dócima de Mann-Kendall. Como puede apreciarse, no se encuentran tendencias ni cambios abruptos significativos ni en las series anuales ni en las estacionales de las cuatro variables consideradas.

Para estudiar las fluctuaciones usamos la medias móviles y el análisis espectral de periodicidades. En la parte izquierda de las Figuras 1 a 5, representamos las medias móviles de diez años para las series de precipitación y temperaturas. El uso de las medias móviles es sólo parcialmente satisfactorio en la búsqueda de periodicidades, ya que puede introducir ciclos espurios cuando el período de filtrado de la media móvil no es múltiplo de los ciclos de la serie. Además, puede sobreestimar o subestimar tendencias alineales. Sin embargo, pese a estas limitaciones, las medias móviles constituyen un método práctico de ajustar una serie y mostrar las tendencias predominantes (Camuffo, 1984).

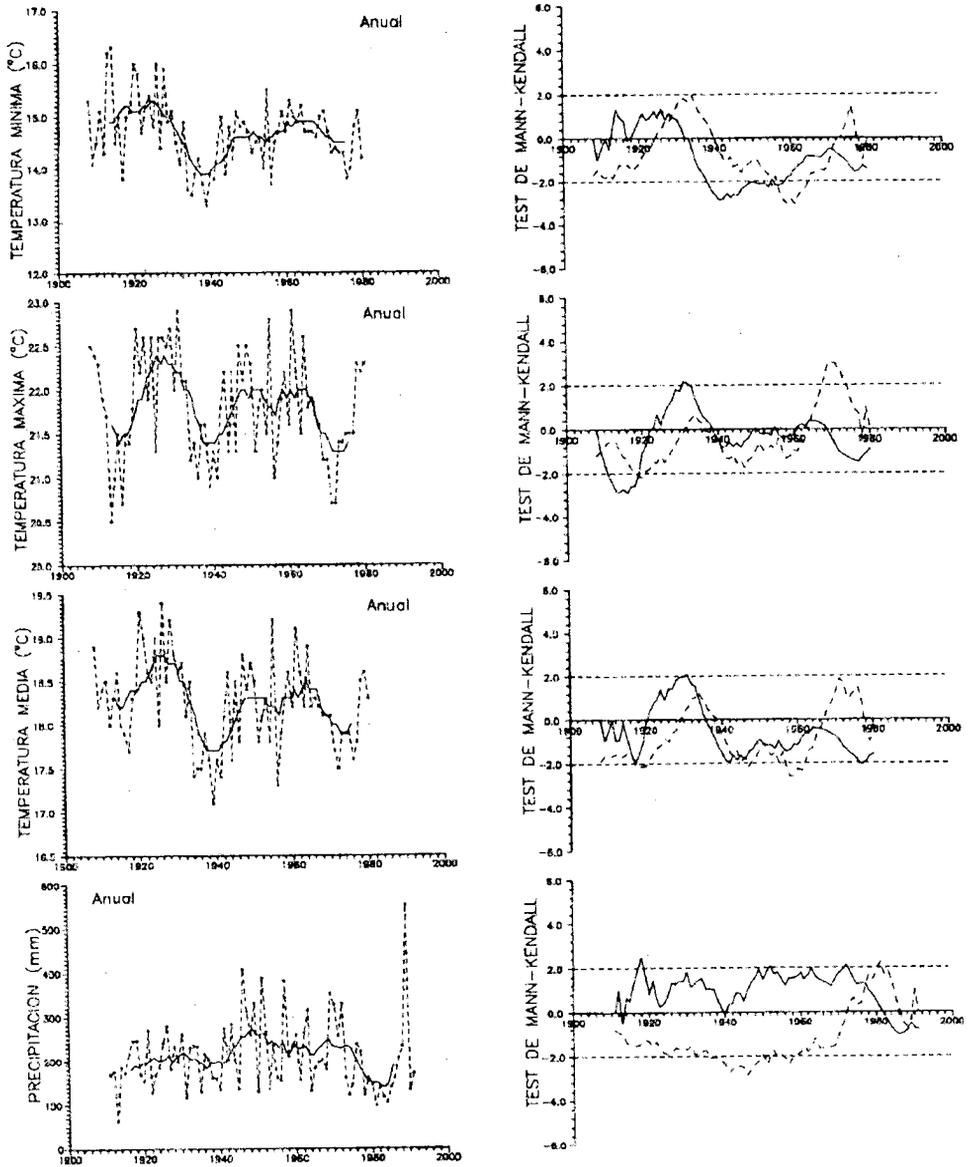


FIG. 1.- Series anuales y medias móviles de 10 años (parte izquierda) de temperatura mínima, máxima y media, y precipitación, correspondientes a la estación de Almería. A la derecha, se muestran los resultados correspondientes de la prueba de Mann-Kendall para cada una de las series.

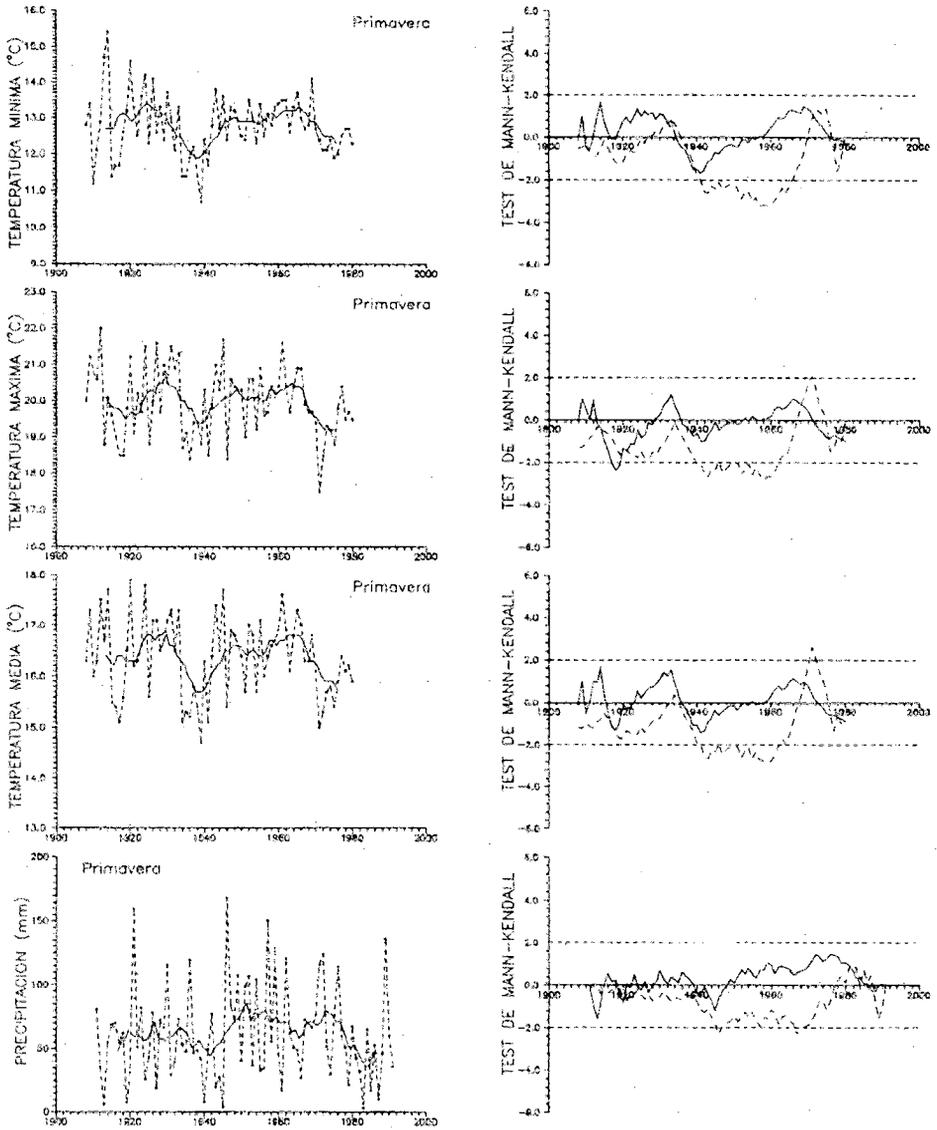


FIG. 2.- Como en la Figura 1 para las series de primavera.

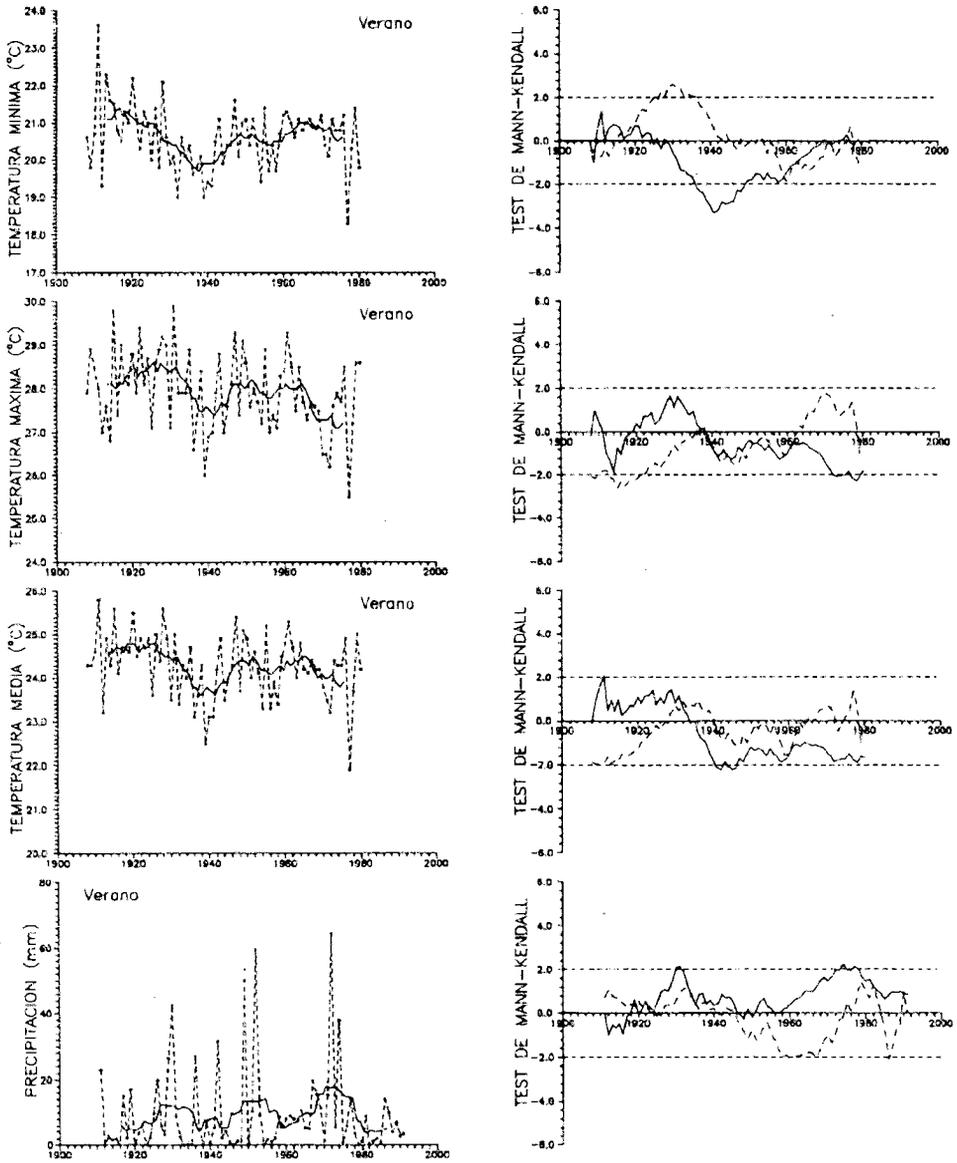


FIG. 3.- Como en la Figura 1 para las series de verano.

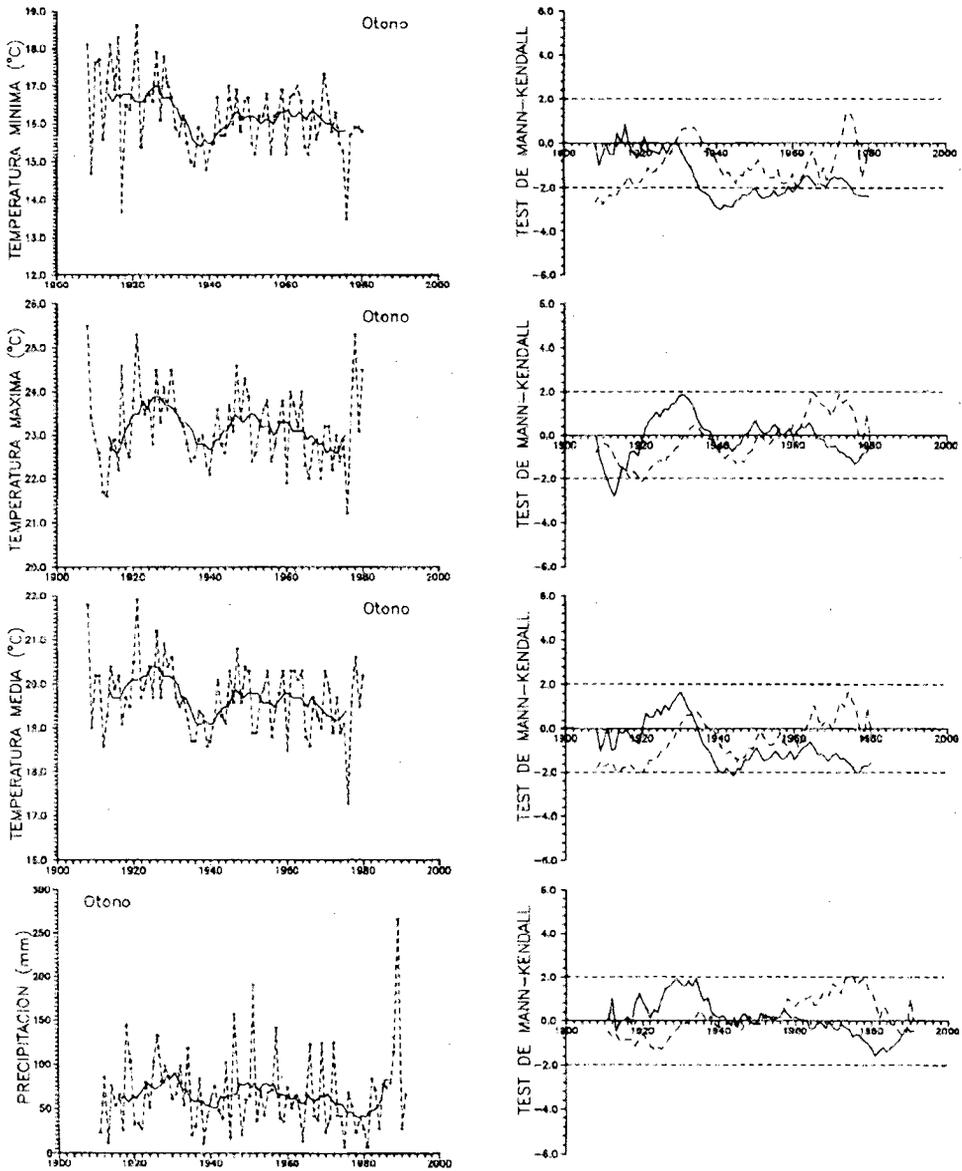


FIG. 4.- Como en la Figura 1 para las series de otoño.

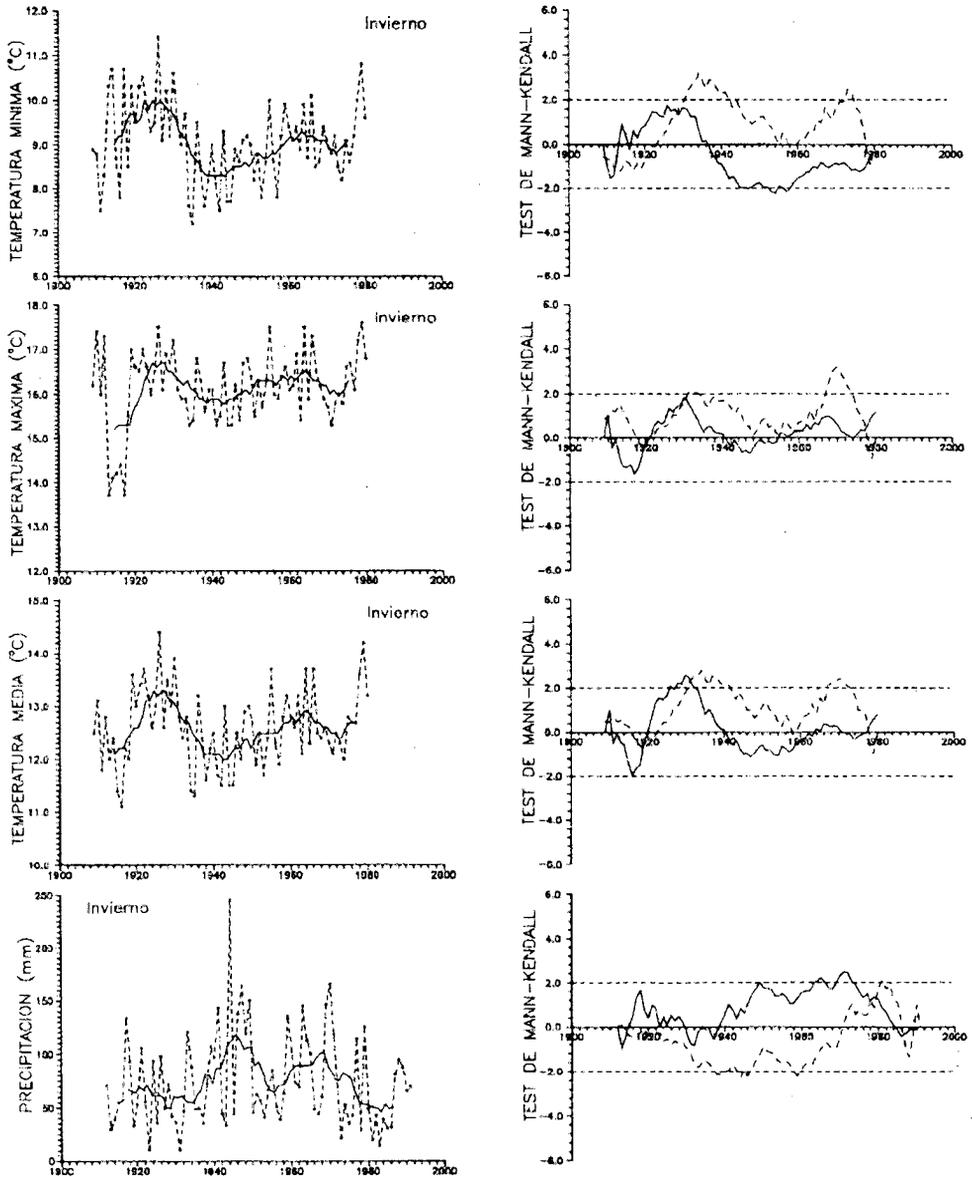


FIG. 5.- Como en la Figura 1 para las series de invierno.

Las medias móviles de la serie anual de precipitación muestran un primer período desde el comienzo de los registros hasta finales de los 30 con valores cercanos a la media. Le sigue después un período más húmedo y con mayor variabilidad. La fase más húmeda de este período aparece alrededor de los años 50, manteniéndose después, aproximadamente hasta 1975 con valores más bajos. En los años 80 aparece un marcado déficit de las precipitaciones; la única excepción es el año 1989, cuyo otoño estuvo marcado por fuertes precipitaciones en el sureste español.

En todas las series estacionales aparece el acusado descenso de las precipitaciones de los años 80. Las series de primavera y otoño muestran también como período seco los años cuarenta, recuperándose las precipitaciones alrededor de 1950. La serie estacional de verano muestra la marcada sequía de esta estación, salpicada por algunos años en los que las tormentas de finales de verano provocan valores relativamente altos.

Estos resultados concuerdan parcialmente con los obtenidos por otros investigadores. Maheras (1988) menciona como período húmedo para un conjunto de localidades mediterráneas el de los años treinta, y como seco el de los años cuarenta, concluyendo este último en 1954. Estos períodos son también mencionados, entre otros, por Brazdil et al. (1985) en Europa Central. Maheras (1988) concluye que estas condiciones aparecieron de forma generalizada al sur del paralelo 50°N en Europa.

De la serie de medias móviles de temperaturas mínimas podemos concluir la existencia de un primer período más cálido que perdura hasta principios de los 30, al que le sigue un período frío centrado alrededor de 1940 y que se mantiene hasta finales de esta década. Durante los años 50 y 60 hay una suave recuperación de las temperaturas mínimas, sólo ligeramente interrumpida por un pequeño enfriamiento a finales de los 70.

La serie de temperatura máxima muestra un comportamiento similar a la anterior, diferenciándose sólo en los primeros y últimos años, ya que la serie se inicia con un período con valores por debajo de la media hasta finales de los 10 y finaliza con un decrecimiento acusado durante los 70. Las temperaturas medias resumen el comportamiento similar de las anteriores, reflejando el enfriamiento de las máximas en los 70.

Para las series estacionales de temperaturas no aparecen grandes fluctuaciones. Lo más destacable es el enfriamiento centrado en 1940, que abarca aproximadamente desde los años 30 hasta los 50 y la disminución de las temperaturas en los años 70, más marcada en las temperaturas máximas durante las estaciones de verano y otoño.

Similares variaciones se han encontrado en estudios sobre temperaturas medias en el Mediterráneo, tanto para las temperaturas superficiales del mar como para los registros de estaciones de tierra (Metaxas et al., 1991).

Cualquier estudio temporal suele preguntarse por la existencia de períodos o ciclos, teniendo en cuenta la existencia de fenómenos de este tipo en la naturaleza que pueden influir de una forma u otra en el devenir climático. Durante los últimos años se han desarrollado diversas técnicas de análisis espectral de series temporales en la búsqueda de posibles ciclos y periodicidades. El análisis espectral de algunas variables características de un proceso puede usarse para distinguir el comportamiento dinámico del sistema climático (MacDonald, 1989). Para este propósito hemos usado el análisis

espectral de periodicidades, calculando los periodogramas correspondientes a las series anuales y estacionales de las variables estudiadas. La Figura 6 muestra los resultados para los datos anuales, indicándose el nivel de confianza del 95%. La Tabla 1 resume las periodicidades significativas encontradas en las series analizadas.

Para las series de precipitación encontramos periodicidades significativas en torno a los 20 años, y las correspondientes a la denominada oscilación quasi-bianual (QBO). La primera de ellas es destacable en las series de otoño y verano, y en la serie anual. Esto podría corresponder al predominio de estas estaciones en el régimen pluviométrico de la zona, dominado por los flujos mediterráneos y la frecuente aparición de tormentas estivales y lluvias tormentosas en el otoño. Este ciclo suele asociarse con la denominada oscilación luni-solar, con un período de 18.6 años, vinculada a la influencia conjunta del sol y la luna en el ritmo de las mareas y ha sido relacionado con la aparición de sequías en los Estados Unidos (Currie, 1981). El comportamiento de las series de temperaturas es similar, con periodicidades significativas de 17.9 años y 2.5 años. El ciclo de 35.7 años puede corresponder a un armónico de la periodicidad de 17.9 años.

	Anual	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
P	20 10 8.8  2.9	  6.1, 4.2  2.7, 2.6	20 11.4  3.2 2.8, 2.5	20  5.3 3.2 2.9, 2.3	26.3    2.5
T <sub>m</sub>	35.7 17.9  2.4	35.7 17.9 6, 5.5 2.4	35.7  4.5 2.4	35.7 17.9 4.2 2.7, 2.6	35.7   3.8, 3.3
T <sub>M</sub>	35.7 23.8, 17.9 14.5  2.3	  17.9  2.6	35.7 17.9  6.5 2.3	23.8, 17.9 8 3.1 2.3	23.8, 17.9  14.5, 9
T	35.7 17.9	35.7 17.9  2.4	35.7 17.9 6.5, 3 2.3	35.7 17.9  2.6	35.7 23.8, 17.9 3.3 2.3

TABLA 1.- Periodicidades significativas (en años) de las series analizadas. (P= precipitación; T<sub>m</sub>= Temperatura mínima; T<sub>M</sub>= Temperatura máxima; T= Temperatura media).

Estos ciclos han sido encontrados en numerosos trabajos climatológicos como, por ejemplo, el estudio de Colacino y Rovelli (1983) sobre temperaturas en Roma, Wheeler y Martín-Vide (1992) sobre precipitaciones en Gibraltar, y Sahsamanoğlu y Makrogiannis (1991) para los registros de temperatura en localidades del Mediterráneo Occidental. Aunque los mecanismos físicos que explican estos ciclos no están todavía claros (Peixoto y Oort, 1992), su realidad física parece bien establecida, a tenor de los resultados generalizados encontrados en la literatura especializada. El resto de las periodicidades encontradas en nuestro análisis concuerdan con los resultados de otros autores (Gray, 1982; Makrogiannis y Sahsamanoğlu, 1990), pero su posible vinculación con fenómenos físicos es aún más oscura. Es de destacar que el ciclo de actividad solar en torno a los 11 años sólo aparece en las series de precipitaciones anuales y veraniegas, lo cual arroja dudas sobre la posible relación entre variabilidad solar y clima.

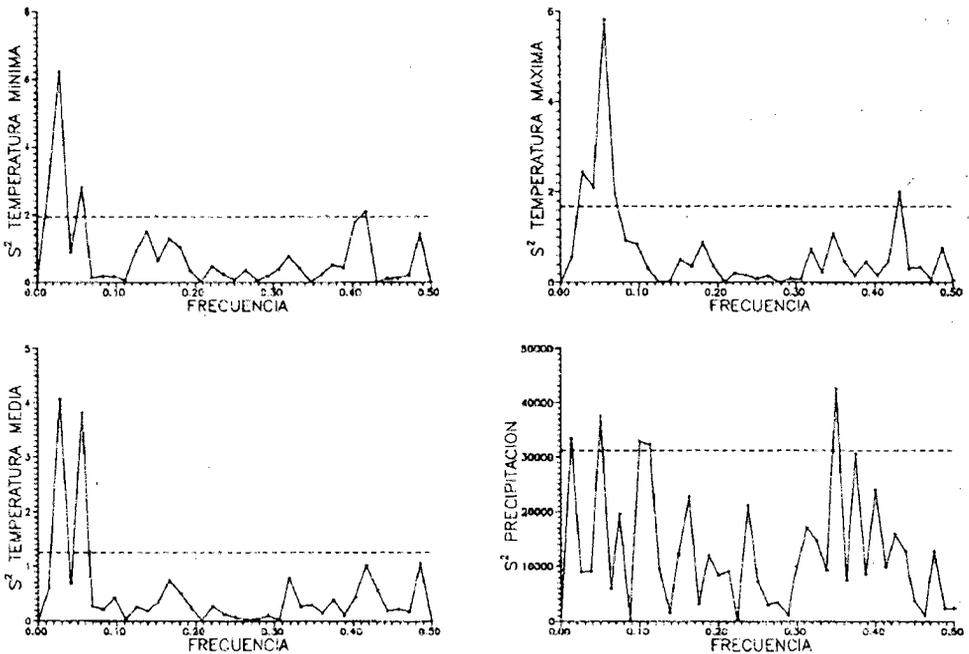


FIG. 6.- Periodogramas de las series anuales de temperatura mínima, máxima, media y precipitación de la estación de Almería. La línea discontinua indica el nivel de confianza al 95%.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- No se aprecian ni tendencias ni cambios abruptos significativos en las series estudiadas, pudiéndose caracterizar el comportamiento de las mismas como leves variaciones y fluctuaciones en torno al valor medio.
- El estudio de las medias móviles permite detectar un breve período más frío y seco alrededor de 1940. Los últimos años del registro parecen mostrar una tendencia hacia condiciones más secas y temperaturas máximas más bajas. Temperaturas máximas y mínimas presentan un comportamiento similar, debido posiblemente a la pequeña oscilación térmica provocada por la influencia marítima.
- Las periodicidades significativas encontradas pueden relacionarse con las conocidas oscilación luni-solar y QBO para las variables estudiadas.
- Mientras que en las series de temperaturas no se aprecian diferencias estacionales significativas, en las series de precipitaciones, el comportamiento anual parece dominado por el comportamiento del verano y el otoño, como corresponde a la influencia mediterránea predominante en esta zona geográfica.

## AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento al Instituto Nacional de Meteorología por proporcionarnos los datos necesarios para este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRAZDIL, R., SAMAJ, F. AND VALOVIC, S. (1985): «Variation of spatial annual precipitation sums in central Europe in the period 1881-1980». *I. J. Climatol.*, 5, 617-631.
- CAMUFFO, D. (1984): «Analysis of series of precipitation at Padova, Italy». *Climatic Change*, 6, 57-77.
- COLACINO, M. Y ROVELLI, A. (1983): «The yearly averaged air temperature in Rome from 1782 to 1975». *Tellus*, 35A, 389-397.
- CURRIE, R.G., (1981): «Evidence of 18.6 year  $M_N$  Signal in Temperature and Drought Conditions in North America since AD 1800». *J. Geophys. Res.*, 86, 11055-11064.
- CHOU, Y.L. (1972): «Análisis Estadístico». *Interamericana, México*.
- ESTEBAN-PARRA, M.J., RODRIGO, F.S. Y CASTRO-DÍEZ, Y. (1994): «Temperature trends and change points in the Northern Spanish Plateau during the last 100 years». *Int. J. Climatol.*, 15, 1031-1042
- FOLLAND, C.K. Y PARKER, D.E. (1991): «Worldwide surface temperature trends since the mid 19th century». En «Greenhouse gas induced climatic change: A critical appraisal of simulations and observations» (Schlesinger, M.E., Ed.), Elsevier, Amsterdam, 173-194.
- GIORGI, F. Y MEARN, L.O. (1991): «Approaches to simulation of regional climate change: a review». *Reviews of Geophysics*, 29, 2, 191-216.

- GOOSSENS, CH. Y BERGER, A. (1986): «Annual and seasonal climatic variation over the Northern Hemisphere and Europe during the last century». *Annals. Geophys.*, 4, 385-400.
- GRAY, B.M. (1982): «Distinguishing signal and noise in climatological spectra». *J. Climatol.*, 3, 319-323.
- JONES, P.D. (1985): «Northern Hemisphere temperatures 1851-1984». *Climate Monitor.*, 14, 14-21.
- KARL, T.R. (1993): «A new perspective on global warming». *EOS*, 74, 25.
- KARL, T.R., JONES, P.D., KNIGHT, R.W., KUKLA, G., PLUMMER, N, RAZUVAYEV, V.; GALLO, K.P., LINDSEAY, J., CHARLSON, R.J. Y PETERSON, T.C. (1993): «A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperatures». *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 74, 6, 1007-1023.
- KARL, T.R., TARPLEY, J.D., QUAYLE, R.G., DIAZ, H.F., ROBINSON, D.A. Y BRADLEY, R.S. (1989): «The recent climate records: What it can and cannot tell us». *Reviews of Geophysics*, 27, 3, 405-430.
- KATZ, R.W. Y BROWN, B.G. (1992): «Extreme events in a changing climate: variability is more important than average». *Climatic Change*, 21, 289-302.
- MACDONALD, G. (1989): «Spectral analysis of time series generated by nonlinear processes». *Reviews of Geophysics*, 27, 4, 449-469.
- MAHERAS, P. (1988): «Changes in precipitation conditions in the western mediterranean over the last century». *I. J. Climatol.*, 8, 179-189.
- MAKROGIANNIS, T.J. Y SAHSAMANOGLU, C.S. (1990): «Time variation of the mean sea level pressure over the major Mediterranean Area». *Theor. Appl. Climatol.*, 41, 149-156.
- METAXAS, D.A., BARTZOKAS, A. Y VITSAS, A. (1991): «Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the last 120 years». *I. J. Climatol.*, 11, 897-908.
- MITCHELL, J.M. (1966): «Climatic change». *WMO Tech. Note 79, Geneva*.
- PEIXOTO, J.P. Y OORT, A.H. (1992): «Physics of Climate», *American Institute of Physics, New York*.
- SAHSAMANOGLU, H.S. Y MAKROGIANNIS, T.J. (1991): «Temperature trends over the major Mediterranean Area». *XVI Asamblea General de la European Geophysical Society, Wiesbaden, 22-26 de Abril*.
- SNEYERS, R. (1992): «On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change». *Meteorol. Zeitschrift*, 1, 247-256.
- WHEELER, D. Y MARTÍN-VIDE, J. (1992): «Rainfall characteristics of Mainland Europe's most shoutherly stations». *I. J. Climatol.*, 12, 69-76.