

ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS MEDIAS ANUALES EN LA MESETA SUR ESPAÑOLA DURANTE EL SIGLO XX

María Rosa CAÑADA TORRECILLA, Encarnación GALÁN GALLEGO, Felipe FERNÁNDEZ GARCÍA y Begoña CERVERA CRUAÑES

Departamento de Geografía. Universidad Autónoma de Madrid

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es evaluar las variaciones y tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales en los observatorios principales de la Meseta Meridional Española durante el siglo XX (1909-1996).

La metodología empleada ha consistido en determinar la tendencia general y parcial de las series a través de la aplicación de los tests no paramétricos de Spearman y Mann-Kendall y en cuantificar esa tendencia mediante la regresión lineal simple.

Los resultados obtenidos revelan que las temperaturas máximas y mínimas medias anuales presentan tendencias positivas para todo el periodo en todas las estaciones utilizadas, y que esta tendencia se incrementa considerablemente en ambas variables de manera similar a partir de los años 70.

Palabras clave: Cambio climático, temperaturas máximas y mínimas, tendencias, Meseta Meridional Española.

ABSTRACT

The objective of this paper is to evaluate the variations and trends of the maximum and minimum mean temperatures in the Spanish Southern Plateau during the 20th century (1909-1996).

The methodology employed consists of determining the general and partial trend of the series by applying the non-parametric tests of Spearman and Mann-kendall, and quantifying this trend by means for the simple linear regression.

The results obtained show that the annual maximum and minimum mean temperatures display positive trends throughout the period at all the weather stations used, and that this trend registers a considerable increase that is similar for both variables from the 70 's onwards.

Key words: *Climatic change, maximum and minimum temperatures, trends, Spanish Southern Plateau.*

1. INTRODUCCIÓN

Diversos estudios climáticos parecen coincidir en que la temperatura de la atmósfera terrestre ha crecido entre 0,3° C y 0,6° C desde mediados del siglo XIX hasta el momento actual (JONES *et al.*, 1986 a, b; HANSEN y LEBEDEFF, 1987, 1988; VINNIKOV *et al.*, 1990; METAZAS *et al.*, 1991; JONES, 1994; KARL *et al.*, 1993; YONETANI y McCABE, 1994), lo cual ha contribuido a avivar el encendido debate sobre el calentamiento del globo (FOLLAND *et al.*, 1990, 1992).

Estudios climáticos que evalúen el calentamiento a escala regional son todavía poco frecuentes. Existen algunos análisis sobre regiones del centro, norte y sur de Europa (LAMB, 1972; PFISTER, 1988; BRIFFA *et al.*, 1992; BÖHM, 1993; AUNE, 1994; SCHÖNWIESE *et al.*, 1994; MAUGERI y NANNI, 1998), pero es muy difícil comparar sus resultados al no coincidir los periodos de estudio y las técnicas de análisis.

Estudios sobre la Península Ibérica comenzaron a realizarse desde la década de los ochenta, bien sobre observatorios particulares (LÓPEZ GÓMEZ *et al.*, 1986; RASO, 1987; FERNÁNDEZ, 1994; SALA, 1995) o bien sobre grandes regiones (QUEREDA, 1992; FERNÁNDEZ y GALÁN, 1993; ESTEBAN PARRA *et al.*, 1995; OÑATE y POU, 1996; MONTÓN y QUEREDA, 1997; BRUNET *et al.*, 1999; LABAJO y PIORNO, 1999), cuyos resultados concuerdan bastante con los obtenidos a escala global.

En el presente trabajo se evalúan las variaciones y tendencias de las temperaturas máximas y mínimas anuales en la Meseta Meridional desde 1909 a 1996 con la finalidad de caracterizar la evolución temporal de dichas variables y testar si nuestros resultados concuerdan con los globales y con los realizados en otras regiones del territorio peninsular. Contribuimos con ello a conocer el signo y la dimensión del fenómeno a escalas espaciales menores.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

El punto de partida de nuestra investigación ha consistido en la elección de las estaciones principales de la Meseta Meridional Española, tras haber sido sometidas a un riguroso control de calidad y homogeneización de los registros mediante la aplicación de la prueba SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) (ALEXANDERSSON y MOBERG, 1997). Las series de trabajo corresponden a las de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales en un periodo de tiempo comprendido entre 1909 y 1996.

La metodología empleada ha sido en primer lugar determinar la tendencia general de las series mediante la aplicación de los tests no paramétricos de Spearman y Mann-Kendall (SNEYERS, 1975). En segundo lugar, estudiar posibles tendencias parciales en los distintos subperiodos de tiempo establecidos a partir de la evolución temporal de las variables junto con un suavizado de los datos mediante el empleo de medias móviles de siete años. Y por último, cuantificar el valor de la tendencia general y parcial mediante la regresión lineal simple entre los valores de las temperaturas máximas y mínimas y el año.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de la tendencia en el conjunto de las series

Probada la homogeneidad de las series procedimos a aplicar los tests de tendencia de Spearman y Mann-Kendall al conjunto del periodo de las dos variables (Tabla 1). De su lectura se desprende el distinto comportamiento entre las temperaturas máximas y mínimas medias anuales. Aunque ambos parámetros presentan tendencias positivas, tan sólo las temperaturas máximas han obtenido los niveles de significación exigidos, en ambos tests; todos los observatorios presentan unos niveles muy superiores a 0,05, además de ser las que han alcanzado los valores más altos. Las temperaturas mínimas aunque tienen tendencia positiva, ésta únicamente es significativa, en Ciudad Real; Albacete, Cáceres, Madrid y Toledo, muestran tendencia a un nivel de confianza menor, aunque superior al 90%.

Tabla 1: VALORES DE LOS TESTS DE SPEARMAN Y MANN-KENDALL DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS MEDIAS ANUALES EN LA MESETA MERIDIONAL (1909-1996)

	Temperaturas máximas				Temperaturas mínimas			
	R_s	α_s	U_t	α_t	R_s	α_s	U_t	α_t
Albacete	0,2	0,035	2,22	0,026	0,2	0,053	1,83	0,067
Badajoz	0,3	0,002	3,07	0,003	0,1	0,207	1,17	0,242
Cáceres	0,3	0,006	2,74	0,006	0,2	0,089	1,83	0,067
Ciudad Real	0,3	0,014	2,53	0,011	0,2	0,046	2,07	0,039
Cuenca	0,2	0,028	2,16	0,032	0,1	0,194	1,34	0,180
Madrid	0,4	0,000	3,97	0,000	0,2	0,070	1,90	0,057
Toledo	0,4	0,001	3,27	0,001	0,2	0,088	1,67	0,095

3.2. Evolución temporal y tendencias por subperiodos

Las tendencias calculadas para la totalidad del periodo, pueden enmascarar variaciones temporales, ya que su evolución no ha sido uniforme ni gradual, al incorporar subperiodos de distinto comportamiento térmico. En la figura 1 a y b puede observarse el comportamiento temporal de las temperaturas máximas y mínimas, suavizado con medias móviles de siete años, para suprimir variaciones temporales menores y proporcionar una visión más clara de dichas variaciones térmicas.

Del examen de los gráficos se evidencia una evolución térmica que puede corresponderse con la manifestada por la mayor parte de los observatorios mundiales a lo largo del siglo XX. Destacamos tres subperiodos de distinto comportamiento térmico y diferente signo. El primero comprendería desde principios de la serie hasta finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, caracterizado por unas tendencias positivas en las máximas y en las mínimas, significativas en ambas variables en algunos casos (Madrid, Toledo, Cáceres) y no significativas en otros (Cuenca, Albacete). El segundo periodo comprendería desde principios de los cincuenta hasta principios de los setenta, donde se observa una fase fría en todos los observatorios tanto en las máximas como en las mínimas, aunque esta tendencia negativa no es significativa. Y el tercer subperiodo, desde principios de los setenta hasta el momento actual, caracterizado por un fuerte incremento térmico

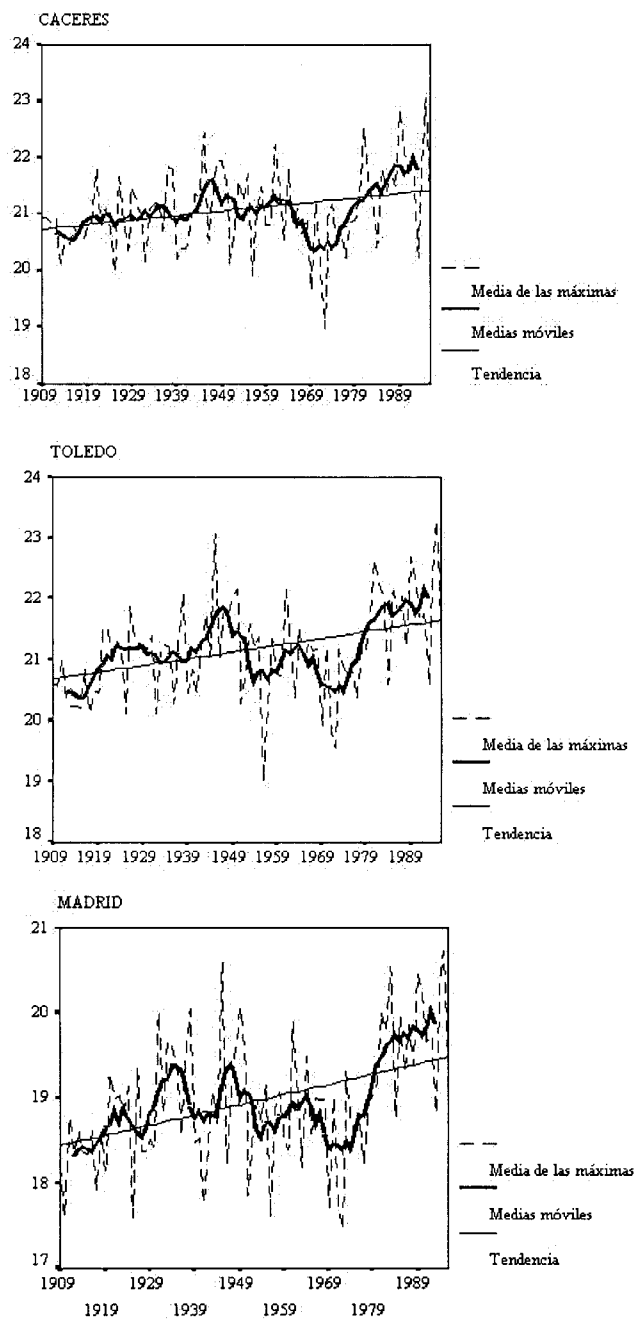


Fig. 1 a: Evolución temporal de las temperaturas máximas medias anuales.

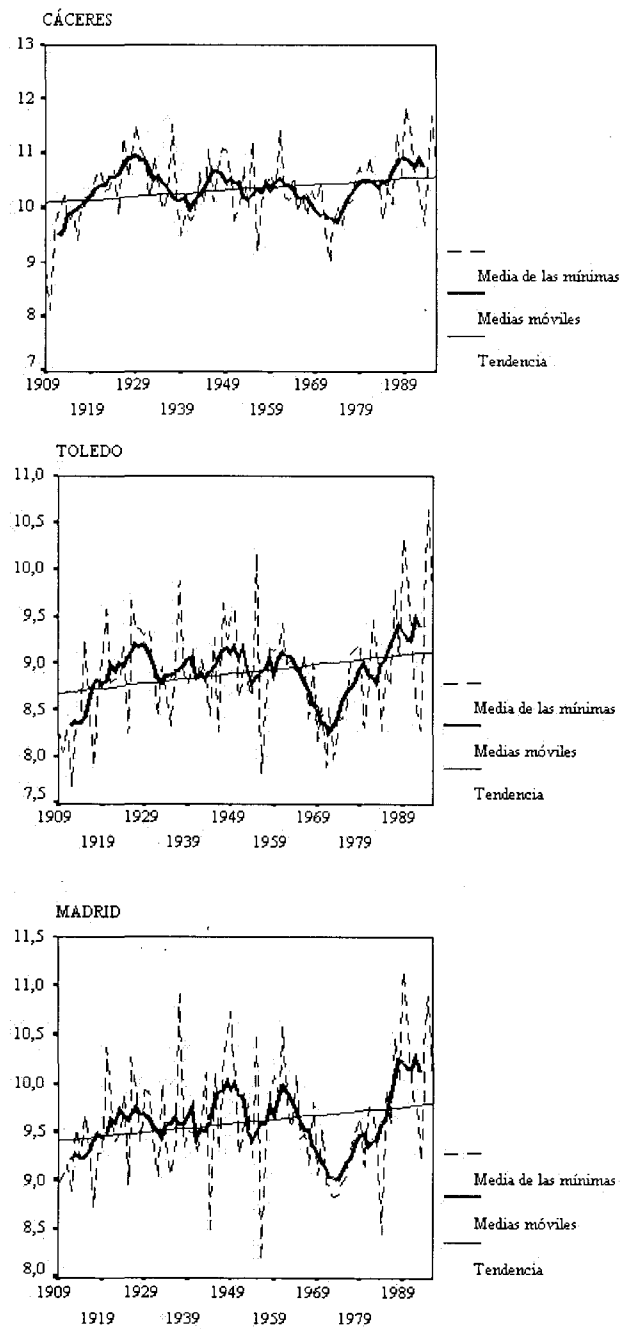


Fig. 1 b: Evolución temporal de las temperaturas mínimas medias anuales.

que perdura hasta el presente como así lo demuestran los tests de tendencia aplicados (Tabla 2, Figura 2 a y b).

Tabla 2: VALORES DE LOS TESTS DE SPEARMAN Y MANN-KENDALL DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS MEDIAS ANUALES (1972-1996)

	Temperaturas máximas				Temperaturas mínimas			
	R_s	α_s	U_t	α_t	R_s	α_s	U_t	α_t
Albacete	0,5	0,009	2,69	0,007	0,7	0,000	3,60	0,000
Badajoz	0,6	0,002	3,13	0,002	0,6	0,005	2,78	0,005
Cáceres	0,6	0,002	3,20	0,001	0,6	0,003	3,04	0,003
Ciudad Real	0,7	0,000	3,46	0,000	0,7	0,000	3,83	0,000
Cuenca	0,6	0,001	3,04	0,002	0,6	0,003	2,99	0,003
Madrid	0,6	0,001	3,22	0,001	0,8	0,000	4,06	0,000
Toledo	0,6	0,004	2,76	0,006	0,5	0,013	2,57	0,010

Como puede observarse los resultados obtenidos muestran una tendencia creciente generalizada en ambas variables, a un nivel de confianza que supera el 99% en todos los casos, alcanzando en algunos observatorios (Madrid y Albacete) cifras más elevadas en las temperaturas mínimas. El momento a partir del cual la tendencia comienza a ser significativa se sitúa a partir de mediados de la década de los setenta, como lo muestran la intersección de las curvas del test de Mann-Kendall, obtenidas a partir de un análisis progresivo de las series (Figura 2 a y b). En los últimos veinticinco años, se constata en los observatorios de la Meseta sur un comportamiento térmico similar al detectado en otras regiones españolas: Región Mediterránea (MONTÓN y QUEREDA, 1997), Meseta Norte (LABAJO y PIORNO, 1999) y Noreste de la Península (BRUNET *et al.*, 1999).

3.3. Cuantificación de las tendencias

En cuanto a la cuantificación de las tendencias hay que distinguir si se considera todo el periodo (Tabla 3) o sólo la última subserie (Tabla 4). El análisis de la tendencia térmica de todo el periodo arroja un significativo incremento de las temperaturas máximas medias anuales que oscila entre

Tabla 3: VALORES DE LOS COEFICIENTES DE TENDENCIA ANUAL Y TOTAL EN °C (1909-1996)

	Temperaturas máximas			Temperaturas mínimas		
	Tendencia anual	Signif.	Tendencia total	Tendencia anual	Signif.	Tendencia total
Albacete	0,007	0,034	0,616	0,005	0,076	0,44
Badajoz	0,009	0,001	0,792	0,004	0,098	0,352
Cáceres	0,008	0,007	0,704	0,005	0,041	0,44
Ciudad Real	0,008	0,038	0,704	0,007	0,045	0,616
Cuenca	0,007	0,024	0,616	0,004	0,182	0,352
Madrid	0,012	0,000	1,056	0,004	0,066	0,352
Toledo	0,011	0,001	0,968	0,005	0,029	0,44

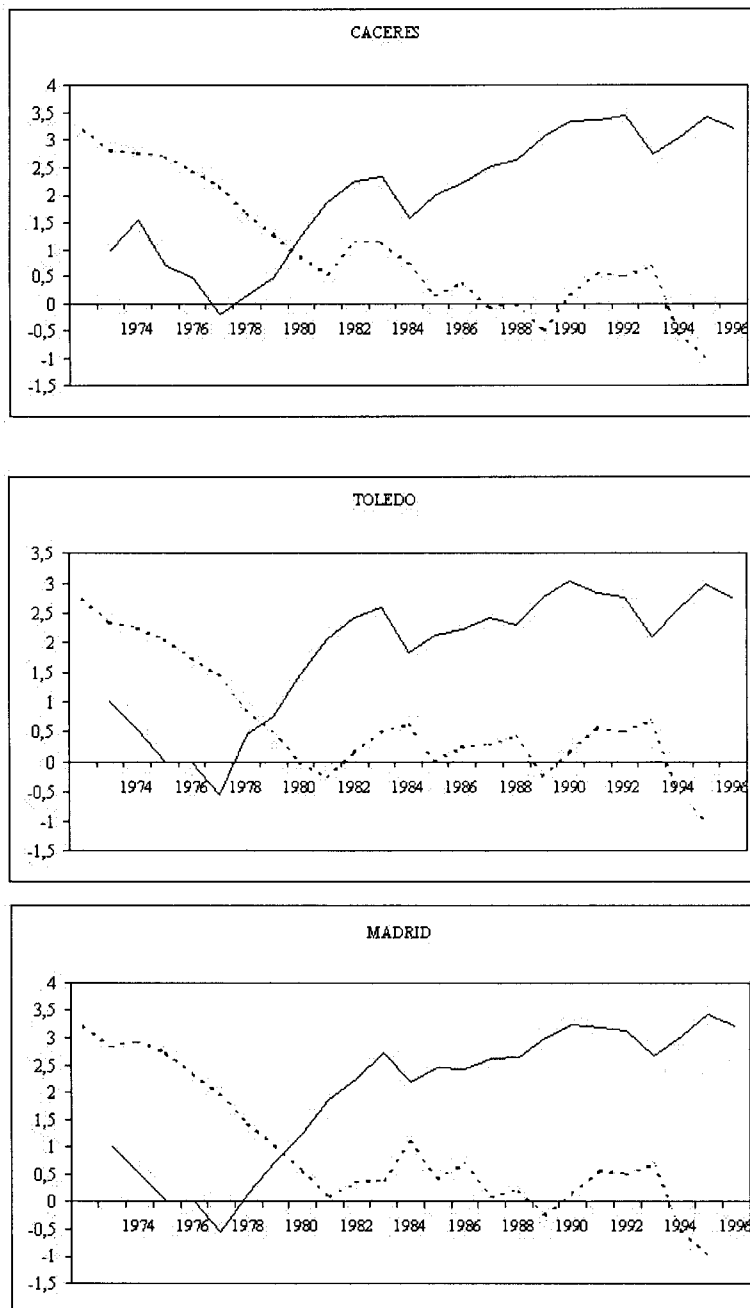


Fig. 2 a: Test de Mann-Kendall de las temperaturas máximas medias anuales (1972-96).

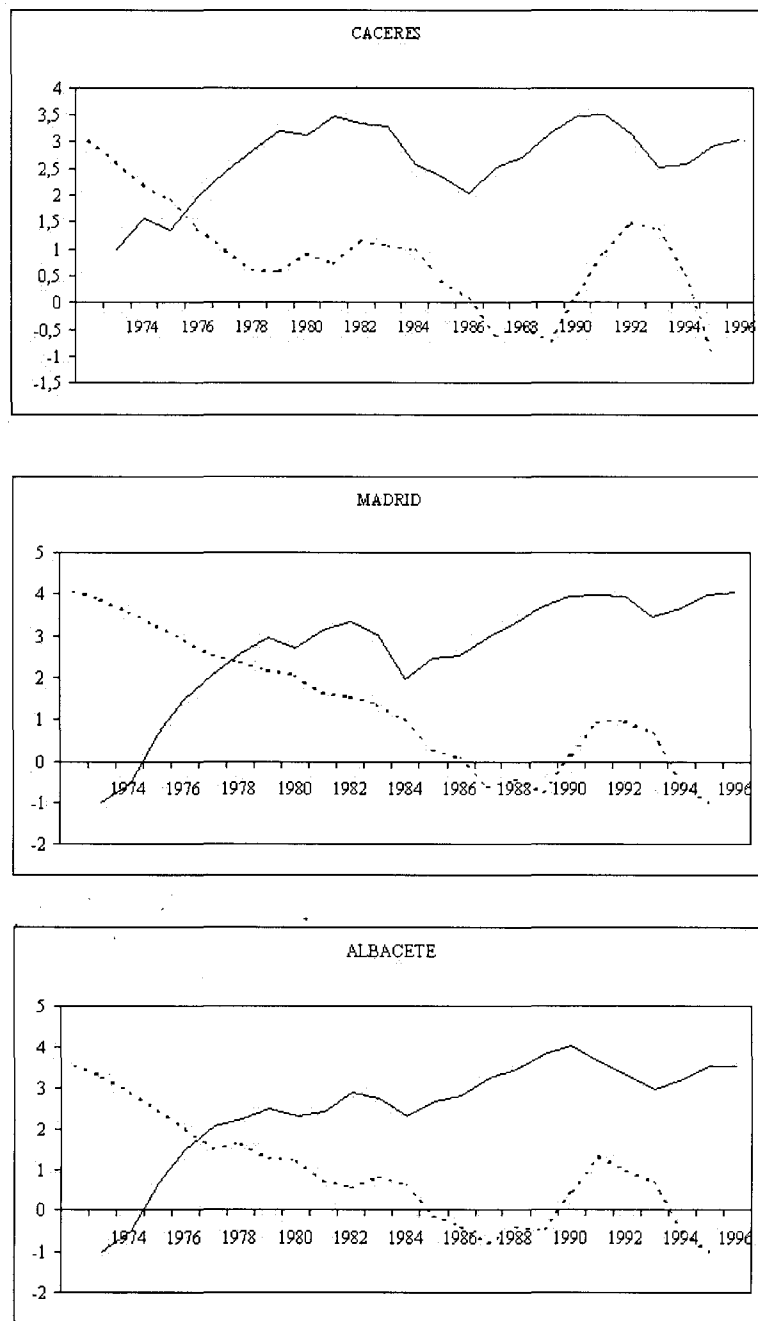


Fig. 2 b: Test de Mann-Kendall de las temperaturas mínimas medias anuales (1972-96).

0,012° C año en Madrid y 0,007° C año en Cuenca; no ocurre lo mismo con las mínimas, ya que su tendencia sólo es significativa en Ciudad Real, al que corresponde un coeficiente de 0,007° C año. No obstante en la tabla se recogen los cálculos para el resto de los observatorios.

Si multiplicamos el coeficiente de tendencia por el número de años (período 1909-96) obtendremos la tendencia total de los promedios anuales de las máximas y de las mínimas (Tabla 3).

Los resultados de la cuantificación de la tendencia desde 1972 hasta 1996 (Tabla 4) ponen de manifiesto el más rápido aumento térmico conocido de los registrados en las series de ambas variables. En este tramo de los últimos veinticinco años, las temperaturas máximas medias anuales se han incrementado entre 2° C (Ciudad Real) y 1,4° C (Albacete); mientras que las mínimas lo han hecho entre 1,2° C (Cuenca) y 1,8° C (Ciudad Real) (Tabla 4).

Tabla 4: VALORES DE LOS COEFICIENTES DE TENDENCIA ANUAL Y TOTAL EN °C (1972-1996)

	Temperaturas máximas			Temperaturas mínimas		
	Tendencia anual	Signif.	Tendencia total	Tendencia anual	Signif.	Tendencia total
Albacete	0,056	0,004	1,4	0,060	0,000	1,5
Badajoz	0,062	0,002	1,6	0,052	0,002	1,3
Cáceres	0,072	0,002	1,8	0,051	0,004	1,3
Ciudad Real	0,080	0,000	2	0,072	0,000	1,8
Cuenca	0,077	0,000	1,9	0,046	0,002	1,2
Madrid	0,069	0,001	1,7	0,064	0,000	1,6
Toledo	0,071	0,002	1,8	0,053	0,003	1,3

4. CONCLUSIONES

Las series de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales de los observatorios principales de la Meseta Meridional presentan una tendencia positiva para el periodo 1909-96, significativa para las máximas, no significativa para las mínimas.

Los gráficos de la evolución temporal permiten establecer con gran claridad una subserie desde 1972-96, caracterizada por un rápido y robusto crecimiento de las temperaturas máximas y mínimas medias en toda la región con unos niveles de confianza superiores al 99%. Las representaciones gráficas de los valores directos y retrógrados de las series sitúan el comienzo de la tendencia significativa a mediados de la década de los setenta, como lo pone de manifiesto la intersección de ambas curvas.

El valor de la tendencia anual de las temperaturas máximas medias anuales para todo el periodo oscila entre 0,012° C en Madrid y 0,007° C en Cuenca, lo que supone un aumento total de 1° C en Madrid y 0,6° C en Cuenca. Las mínimas aumentan en menor medida, pero este aumento ya hemos señalado que no es significativo.

Para el periodo 1972-1996, la tendencia en general es mayor en las máximas que en las mínimas; en las máximas oscila entre 0,05° C (Albacete) y 0,08° C (Ciudad Real) por año y, en las mínimas, entre 0,04° C (Cuenca) y 0,07° C (Ciudad Real). Esto supone un incremento acumulado de 2° C

en las temperaturas máximas en Ciudad Real. El resto de las estaciones presentan valores próximos a éste, mientras que en las temperaturas mínimas, las cifras son un poco menores, pues fluctúan entre 1,2° C y 1,8° C.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto CLI96-1842-C05-03, financiado por la CICYT.

6. REFERENCIAS

- ALEXANDERSSON, H. y MOBERG, A. (1997): "Homogeneization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test for Linear Trends". *Int. Journal of Climate*, 17, 25-34.
- AUNE, B. (1994): "Climate variations in Norway in the period of instrumental observations". En: *Proceedings European Workshop on Climate Variations (5th Nordic Climate Workshop)*, Kirkkonummi, Finland, 97-103.
- BÖHM, R. (1993): "Air temperature in variations in Austria 1775-1991. A contribution to greenhouse warming discussion". En: *Proceedings of the 73rd American Meteorological Society*, Annual Meeting, Anaheim, CA.
- BRIFFA, K. R. *et al.* (1992): "Fennoscandian Summers from A.D. 500: Temperature changes on short and long time scales". *Clim. Dyn.*, 7, 111-119.
- BRUNET, M., AGUILAR, E., SALADIE, O., SIGRÓ, J. y LÓPEZ, D. (1999): "Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria en el NE de España". En RASO NADAL, J.M. y MARTÍN VIDE, J. (eds.): *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Barcelona, 103-112.
- ESTEBAN PARRA, M. J. *et al.* (1995): "Temperature trends and change points in the Northern Spanish Plateau during the last 100 years". *International Journal of Climatology*, 15, 1031-1042.
- FERNÁNDEZ, F. y GALÁN, E. (1993): "L' evolution thermique dans la Peninsule Ibérique pendant la deuxième moitié du XX siècle". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 6, 161-171.
- FERNÁNDEZ, F. (1994): "Los cambios climáticos recientes. Tendencias metodológicas y estado de la cuestión en España Peninsular". En PITA, F., AGUILAR, M y CAMARILLO, J.M (eds.): *Cambios y variaciones climáticas en España*, Actas de la I Reunión del Grupo de Climatología de la Asociación de Geógrafos Españoles, Sevilla, Ed. Fundación El Monte, pp. 19-46.
- FOLLAND, C.K., KARL, T.R. y VINNIKOV, K. (1990): "Observed climate variations and change". En : HOUGHTON, J.T., JENKIS, G.J. y EPHRAMUS, J. (eds.) *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, pp.195-238.
- FOLLAND, C.K., KARL, T.R., NICHOLLS, N., NYENZI, B., PARKER, S. y VINNIKOV, K. (1992): "Observed climate variability and change". En HOUGHTON, J.T., CALLANDER, B. y VARNEY, S.(eds.) *Climate Change: The Supplementary Report to IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, pp.135-170.
- HANSEN, J. y LEBEDEFF, S. (1987): "Global trends of measure surface air temperature". *Journal Geophysical Research Letters*, 92, 13345-13372.
- HANSEN., J. y LEBEDEFF, S. (1988): "Global surface air temperature: update through 1987". *Journal Geophysical Research Letters*, 15, 323-326.
- JONES, P.D., RAPER, S., BRADLEY, R., DÍAZ, H., KELLY, P. WIGLEY, T. (1986a): "Northern Hemisphere surface air temperature variations.,1851-1984". *Journal of Climate Applied and Mete-*

orology, 25, 161-179

JONES, P.D., RAPER, S. y WIGLEY, T.M.L. (1986b): "Southern Hemisphere surface temperature variations: 1851-1984". *J. Climate Appl. Meteor.*, 25, 1213-30.

JONES, P. D. (1994): "Hemispheric Surface Air Temperature Variations: A Reanalysis and an Update to 1993". *Journal of Climate*, 7, 1794-1802.

KARL, T.R., *et al.* (1993): "A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature: empirical evidence and possible causes". *Bulletin of American Meteorological Society*, 74, 1007-1023.

LABAJO, J. L. y PIORNO, A. (1999): "Comportamiento de variables climáticas en Castilla y León: temperatura mínima media anual". En J.M. Raso y J. Martín Vide (eds.), "*La Climatología española en los albores del siglo XXI*", Barcelona, 259-266.

LAMB, H. (1972): "*Climate: Present, Past and Future*". London, Methuen, 613 pp.

LÓPEZ, A., FERNÁNDEZ, F. y CAÑADA, R. (1986): "Variabilité interannuelle des températures dans la Moitié Sud du Plateau Central". En: "*Cambios recientes en climas mediterráneos*", Madrid, Instituto Juan Sebastián Elcano, CSIC, pp. 23-44.

MAUGUERI, M. y NANNI, T. (1998): "Surface Air Temperature Variations in Italy: Recent Trends and Update to 1993". *Theor. Appl. Climatology*, 61, 191-196.

METAXAS, D., BARTZOKAS, A. y VITSAS, A. (1991): "Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the last 120 years". *Int. J. Climatology*, 11, 897-908.

MONTON, E. y QUEREDA, J. (1997): "Evolución de las temperaturas en la cuenca del Mediterráneo". En MONTON y QUEREDA: "*¿Hacia un cambio climático?, La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*". Castellón, Fundación Dávalos-Fletcher, pp. 111-245.

OÑATE, J. J. y POU, A. (1996): "Temperature variations in Spain since 1901: A preliminary analysis". *International Journal of Climatology*, 16, 805-815.

PFISTER, C. (1988): "Variation in the Spring-Summer climate of Central Europe from the high middle ages to 1850". En WANNER *et al.* (eds.), "*Long and Short Term Variability of Climate*", Berlin, Springer, pp. 57-82.

QUEREDA, J. (1992): "Significant warming in the Spanish Mediterranean", *Weather*, 274-275.

RASO, J. M. (1987): "Variaciones recientes de la temperatura media en el Observatorio del Ebro". *Annales de la Universidad Complutense*, pp. 155-165.

SALA, L. (1995): "Evolución del clima actual en la región de Cantabria". En: CREUS NOVAU, J. (ed.): "*Situaciones de riesgo climático en España*". Huesca, Ed. Ins. Pirenaico de Ecología, pp. 317-327.

SCHÖNWIESE, CH. D., RAPP, J., FUCHS, T. y DENHARD, M. (1994): "Observed climate trends in Europe 1891-1990". *Meteorol. Zeitschrift*. Neue Folge, 3, 22-28.

SNEYERS, R. (1975): "*Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones*". OMM, Nota técnica 143, OMM-Nº 415, Geneva, 192 pp.

VINNIKOV, K., GROISMAN, P. y LUGINA, K.M. (1990): "Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation)". *Journal of Climate*, 3, 662-677.

YONETANI, T. y MCCABE, G.J. (1994): "Abrupt changes in regional temperature in the conterminous United States. 1895-1989". *Climate Research*, 4, 13-23.