

COMPORTAMIENTO DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN CASTILLA Y LEÓN: TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL

José Luis LABAJO SALAZAR y Antonio PIORNO HERNÁNDEZ
Universidad de Salamanca

RESUMEN

Se analiza el comportamiento espacio temporal de la temperatura mínima media anual en nueve puntos de Castilla y León, que se pueden considerar representativos de toda la región. Se homogeneizan y rellenan las series de datos, y se hace un análisis de tendencia. Los resultados parecen indicar una tendencia creciente de la temperatura mínima media anual desde comienzos de los años 70 hasta el final del periodo de estudio, tendencia que se puede cuantificar en un valor del orden de 0,051 °C/año.

Palabras clave: Temperatura mínima, tendencia, punto de cambio, cambio climático.

ABSTRACT

The spatio-temporal behavior of the annual mean minimum temperature is analyzed in nine points of Castile and León, that can be considered representative of the whole region. They are homogenized and they stuff the series of data, and a tendency analysis is made. The results seem to indicate an increasing trend of the annual mean minimum temperature from beginnings of the seventies until the end of the period of study, tendency that is quantified in a value of the order of 0.051 °C/year.

Key words: Minimum temperature, trend, point of change, climatic change.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta hace muy poco tiempo, el clima se consideraba como esencialmente invariable, caracterizándose por los valores de los estadísticos de series temporales de datos de elementos climáticos suficientemente largas (30 años o más). No obstante, se acepta la existencia de una variación natural de los parámetros climáticos a escalas de temporales muy largas. Los cambios climáticos resultantes de esta variación natural a largo plazo están ligados a diferentes eras geológicas, particularmente las que incluyen periodos glaciares (LINES, 1990). Sin embargo, desde finales del siglo pasado, y como una de las consecuencias del desarrollo industrial, la incidencia de la actividad humana ha sido suficientemente importante para dar lugar a posibles cambios de comportamiento en las magnitudes que definen el estado del sistema climático.

Muchas son las especulaciones que, desde hace algún tiempo, se vienen haciendo sobre la posibilidad de un cambio progresivo en el comportamiento espacio-temporal de los elementos del clima, cambio que se centra, fundamentalmente, en un posible incremento de la temperatura de la atmósfera terrestre. Los numerosos estudios realizados en las últimas décadas (JONES *et al.*, 1986; VINNIKOV *et al.*, 1990; KARL *et al.*, 1993; YONETANI y McCAB, 1994; SCHÖNWISE y RAPP, 1994-1997; MENDONÇA y PINTO, 1996; AESAWY y HASANEAN, 1998, entre otros) parecen coincidir en ese posible incremento de temperatura y en la posibilidad de que se produzca una redistribución espacio-temporal de la precipitación que recibe la superficie del planeta.

Para concretar más estas conclusiones, y teniendo en cuenta que las variables climáticas pueden cambiar su comportamiento de unos lugares a otros y presentar tendencias distintas durante el mismo intervalo de tiempo, en los últimos años se ha comenzado a realizar estudios del comportamiento de las variables climáticas a escalas espacio-temporales más pequeñas - menos de 100 años y 500 km, u otras - (JONES, 1988; ESTEBAN-PARRA *et al.*, 1995; HUANG, 1996; KADIOGLU, 1997; LABAJO *et al.*, 1998; LABAJO y PIORNO, 1988, entre otros), obteniéndose resultados que concuerdan con los globales, y que, además, ponen de relieve otras cuestiones que podrían servir para justificar la posibilidad de existencia un cambio climático en el presente siglo. No obstante, es difícil separar la parte del cambio debida a causas naturales y la debida a causas no naturales.

Tratando de contribuir a la solución del problema, este estudio pretende establecer el comportamiento espacio-temporal de la temperatura mínima media anual en Castilla y León, durante el intervalo 1945-1994, contrastándolo con el de otras variables climáticas en la misma zona e intervalo de tiempo.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Como en estudios anteriores (LABAJO, *et al.*, 1997; LABAJO y PIORNO, 1998), la zona de trabajo seleccionada es la Meseta Norte española, zona muy interesante, desde el punto de vista climático, por su situación y características geográficas. Dentro de la zona se han seleccionado las nueve estaciones cuya situación geográfica se indica en la tabla I. Las series de trabajo corresponden a las de temperatura mínima media anual (T_m), obtenidas como promedio de las series de temperatura mínima media mensual, en cada una de estas estaciones seleccionadas, en un intervalo de tiempo comprendido entre 1945 y 1994. Este intervalo se ha elegido por ser en el que las series de datos pueden presentar inhomogeneidades menores.

La metodología empleada en el desarrollo de este trabajo, es la empleada habitualmente en estudios similares. Inicialmente,

Observatorio	Longitud (°W)	Latitud (°N)	Altitud (m)
Ávila (Av)	4.68	40.65	1143
Burgos (Bu)	3.68	42.33	860
León (Le)	5.63	42.58	914
Palencia (Pa)	4.52	42.01	750
Salamanca (Sa)	5.48	40.93	795
Soria (So)	2.47	41.75	1083
Valladolid (Va)	4.73	41.63	690
Villanubla (Vn)	4.85	41.72	854
Zamora (Za)	5.73	41.50	661

Tabla I. Situación geográfica de las estaciones de estudio.

mediante una serie de filtros lógicos, se tratará de detectar y eliminar los posibles datos erróneos; después se rellenarán los huecos existentes, y los generados por los filtros, mediante técnicas de regresión lineal múltiple. Posteriormente, para establecer la homogeneidad de las series hacemos uso del test abreviado de Bartlett (MITCHELL *et al.*, 1966).

Para determinar los posibles puntos de cambio en la tendencia de la variable de estudio haremos uso de las gráficas de su evolución temporal en el intervalo de tiempo considerado, y para analizar la tendencia de la variable de estudio, en cada caso, se utiliza el test no paramétrico de Spearman, confirmando los casos que se encuentren en los límites de confianza mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall, (SNEYERS, 1975). La cuantificación del valor de la tendencia, en el caso de que exista, se hará mediante tests de regresión lineal (SNEYERS, 1992) de la forma $T_m = a + b t$, entre los valores de la temperatura media y el tiempo, en cada caso, utilizando como unidad el año. El coeficiente b (°C/año) representará la variabilidad media anual de la temperatura mínima media anual.

3.RESULTADOS

Los resultados que se obtienen al aplicar el test reducido de Bartlett a las series de trabajo, depuradas y rellenas, se muestran en la tabla II,

Observatorio	Av	Bu	Le	Pa	Sa	So	Va	Vn	Za
S^2_{\max} / S^2_{\min}	2,11	1,28	4,13	7,63	3,39	7,17	2,32	3,21	4,25

Tabla II. Resultados de la aplicación del test reducido de Bartlett a las series de trabajo ($k = 5$, $N = 10$. S^2_{\max} / S^2_{\min} entre las varianzas máxima y mínima de las 5 subseries de 10 datos. Valor máximo del cociente para considerar homogénea la serie a un nivel del 95%, 7.11)

Las series de trabajo se pueden considerar homogéneas, pues aunque las de Palencia y Soria exceden ligeramente el valor máximo admitido por el test se puede admitir su homogeneidad a un nivel de confianza levemente inferior al establecido (95%).

El análisis de las gráficas de evolución temporal de la temperatura mínima media anual, entre 1945 y 1994 de las series de trabajo (fig.1), nos va a permitir la detección inicial de posibles cambios bruscos y tendencias. Se puede observar que los valores menores de las series no se producen en los mismos años es todas las estaciones, como ocurre en el caso de las temperaturas máximas (LABAJO y PIORNO, 1998). Se pueden apreciar valores mínimos (absolutos o relativos) en 1956 y entre 1971 y 1973. No obstante, se puede admitir que desde 1971 hasta 1994, los menores valores de T_m que se observan en todos los observatorios se encuentran localizados entre 1971 y 1973. Esto permite suponer la existencia de un cambio de tendencia en el comportamiento temporal de T_m a partir de esos años. Los resultados obtenidos en el estudio de otras variables, para la misma zona e intervalo de tiempo (LABAJO *et al.*, 1998; LABAJO y PIORNO, 1998, entre otros) pueden justificar la elección de 1972 como año inicial de dicho cambio.

El análisis de tendencias, para todas las series en estudio, lo realizaremos aplicando en primer lugar los tests de Spearman y Mann-Kendall a las series completas de datos (1945-1994) y, después, a las subseries de datos del intervalo 1972-1994. Los resultados se muestran en las tablas III y IV.

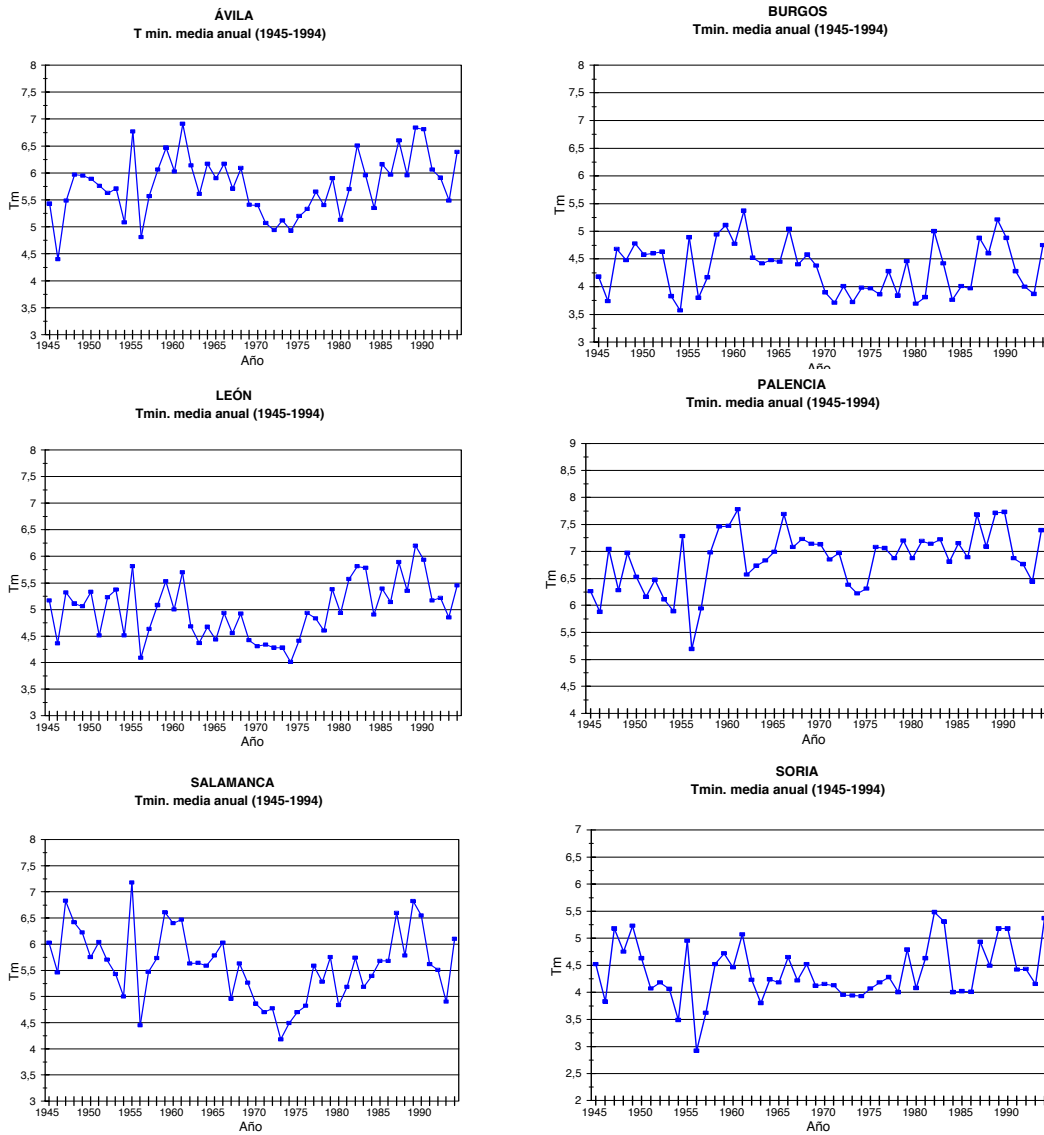


Figura 1. Evolución temporal, en el intervalo 1945-1994, de T_m en Ávila, Burgos, León, Palencia Salamanca y Soria.

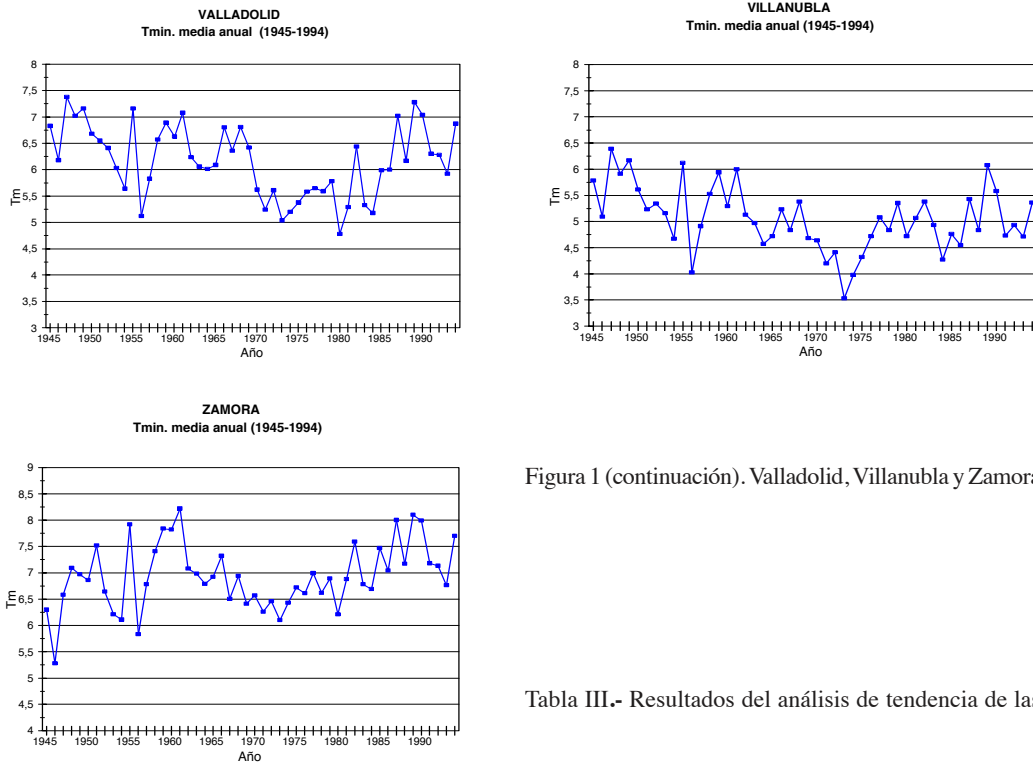


Figura 1 (continuación). Valladolid, Villanubla y Zamora

Tabla III.- Resultados del análisis de tendencia de las

		Av	Bu	Le	Pa	Sa	So	Va	Vn	Za
Spearman	r_s	0,196	-0,104	0,253	0,405	-0,179	0,111	-0,275	-0,317	0,273
	$u(r_s)$	1,372	-0,728	1,771	2,835	-1,253	0,777	-1,925	-2,219	1,191
	α_s	0,171	0,465	0,077	0,005	0,211	0,435	0,055	0,026	0,234
	Tend.	N	N	N	C	N	N	N	D	N
Mann Kendall	t	694,5	557,0	707,0	778,5	537,0	649,0	481,0	481,5	722,5
	$u(r_s)$	1,372	-0,929	1,581	2,777	-1,263	0,611	-2,033	-2,192	1,841
	α_s	0,171	0,352	0,114	0,005	0,208	0,542	0,044	0,029	0,066
	Tend.	N	N	N	C	N	N	D	D	N

series completas de T_m , aplicando los tests de Spearman y Mann-Kendall. r_s , t, $u(r_s)$ y $u(r_t)$ estadístico y parámetros de Spearman y Mann-Kendall; α_s y α_t , niveles de probabilidad; Tend., tendencia a ese nivel de probabilidad (C = creciente, D = decreciente, N = no tendencia. Nivel de confianza: 95%; $\alpha_0 = 0.05$)

De los valores que aparecen en las tablas III y IV se observa que hay concordancia casi total en los resultados de los dos tests. Cuando se analizan las series completas sólo difieren los resultados de Valladolid, y cuando se analizan las subseries 1972-1994, sólo difieren los resultados de Burgos. La diferencia, en ambos casos, puede atribuirse a la existencia de algún dato erróneo no detectado.

		Av	Bu	Le	Pa	Sa	So	Va	Vn	Za
Spearman	r_s	0,735	0,418	0,619	0,358	0,676	0,552	0,702	0,474	0,727
	$u(r_s)$	3,447	1,960	2,901	1,679	3,170	2,589	3,292	2,223	3,410
	α_s	0,001	0,050	0,004	0,093	0,002	0,009	$<10^{-3}$	0,026	0,001
	Tend.	C	C	C	N	C	C	C	C	C
Mann Kendall	t	197,0	158,0	178,0	159,0	191,0	172,5	190,0	170,5	192,0
	$u(r_s)$	3,724	1,664	2,720	1,717	3,407	2,430	3,354	2,324	3,460
	α_s	$<10^{-3}$	0,097	0,007	0,085	$<10^{-3}$	0,015	$<10^{-3}$	0,020	$<10^{-3}$
	Tend	C	N	C	N	C	C	C	C	C

Tabla IV. Igual que la tabla III, para las subseries de datos del intervalo 1972-1994

Como puede observarse, los resultados del análisis de las series completas no muestra tendencia alguna, generalizada. Los resultados obtenidos al analizar las subseries de 1972 a 1994, por el contrario, muestran una tendencia creciente generalizada a un nivel de confianza que en varios casos supera el 99%. Hay dos excepciones, Burgos y Palencia, que muestran tendencia a un nivel de confianza menor, pero superior al 90%. Esto puede deberse, también, a la posible existencia de algún dato erróneo.

Los resultados de la cuantificación de las tendencias desde 1971 hasta 1994, mediante el test de regresión lineal, se muestran en la tabla V.

	Av	Bu	Le	Pa	Sa	So	Va	Vn	Za
b	0,06	0,03	0,06	0,03	0,07	0,04	0,07	0,04	0,06
r	0,704**	0,446*	0,641*	0,415*	0,662*	0,474*	0,694**	0,533**	0,672**

(* significativo al nivel del 95%; ** significativo al nivel del 99%)

Tabla V. Valores de las tendencias lineales de T_m en el intervalo 1972-1994 ($T_m = a + b t$; b (°C/año), r es el coeficiente de correlación).

Los valores del coeficiente b, confirman, en todos los casos que la tendencia es creciente, y las correlaciones son significativas a niveles de confianza del 95% o superiores. Los valores de la tendencia oscilan entre los 0,03 °C/año de Palencia y Burgos, y los 0,07 °C/año de Salamanca y Valladolid. El valor medio de la tendencia en la zona sería del orden de 0,051 °C/año, lo que implica que en los 23 años del intervalo T_m se habría incrementado en 1,17 °C.

El comportamiento temporal de la temperatura mínima media anual en la zona de Castilla y León es similar al que presenta la temperatura máxima media anual. Además, concuerda con lo que se podría esperar como consecuencia del comportamiento de la presión atmosférica media anual en superficie.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis del comportamiento espacio-temporal de la temperatura mínima media anual en Castilla y León, durante 1945-1994, nos permiten establecer, entre otras las siguientes conclusiones:

- Las series de datos de trabajo son homogéneas respecto a la varianza a un nivel de confianza del 95%, salvo las de Palencia y Soria que lo son a un nivel de confianza ligeramente menor. Hay que señalar que sería suficiente la existencia de un dato anómalo no detectado para que el comportamiento de la variable de trabajo en la serie que lo contenga sea distinto al del resto de las series. Esto puede justificar el comportamiento de las series de Palencia y Burgos.
- Los gráficos de la evolución temporal de las series estudiadas, y las conclusiones del estudio de otras variables en la misma zona e intervalo de tiempo, permiten tomar el año 1972 como el de comienzo de un posible cambio de comportamiento de T_m .
- El análisis de tendencia, cuando se considera la serie completa de datos (1945-1994), indica que no existe tendencia generalizada en la zona. Las tendencias detectadas en Palencia, Valladolid y Villanubla, dado que presentan características diferentes, no pueden tomarse como representativas en la zona de estudio, e incluso podrían deberse a la existencia de algún dato erróneo no detectado.
- El análisis de tendencia de las subseries correspondientes al intervalo 1972-1994 establece la existencia de tendencia creciente generalizada en toda la zona de estudio a un nivel de confianza del 95% o mayor. Las anomalías de Burgos (que podría no considerarse ya que presenta tendencia con uno de los tests) y Palencia pueden ser debidas a la misma causa indicada antes, es decir a la existencia de algún dato erróneo no detectado con los filtros aplicados inicialmente.
- Cuantitativamente, la tendencia media en la zona entre 1972 y 1994 es del orden de 0,051 °C/año, lo que supone un incremento de T_m en ese intervalo de 1,17 °C.

No hay evidencias suficientes para asegurar que, en el futuro, las tendencias detectadas se vayan a mantener, neutralizar o invertir, pero, dada la concordancia que presentan los resultados de este estudio con los obtenidos por otros investigadores, habrá que tener en cuenta la posibilidad de que en Castilla y León se esté produciendo un incremento de los valores medios anuales de la temperatura mínima, conclusión que concuerda con el comportamiento encontrado para la temperatura máxima. Este incremento podría atribuirse a una posible modificación de las trayectorias de las borrascas frontales que llegan, por el oeste, a la península Ibérica, hipótesis coincidente con otras similares propuestas para otras zonas por otros investigadores (YONETANI, 1994).

BIBLIOGRAFÍA

- AESAWY, A.M. and H.M. HASANEAN (1998): "Annual and Seasonal Climatic Analysis of Surface Air Temperature Variations at Six Southern Mediterranean Stations". *Theor. Appl. Climatol.*, **61**, pp 55-68
- ESTEBAN-PARRA. M.J. *et al.* (1995): "Temperature trends and change points in the Northern Spanish Plateau during the last 100 years". *Int. J. of Climatology*, **15**, 1031-1042.

- HUANG, J. *et al.* (1996): "Long Lead Seasonal Temperature Prediction Using Optimal Climate Normals". *J. of Climate*, **9**, 809-817
- JONES, P.D. *et al.* (1986): "Northern Hemisphere Surface Air Temperature Variation: 1851-1984". *J. of Climate and Appl. Meteorology*, **25**, 161-179.
- JONES, P.D. (1988): "Hemispheric surface air temperature: Recent trends an Update to 1987". *J. of Climate*, **1**, 654-660.
- KADIOGLU, M. (1997): "Trends in Surface Air Temperature Data over Turkey". *Int. J. of Climatology*, **17**, 511-520.
- KARL, T.R. *et al.* (1993): "A New Perspective on Recent Global Warming: Asymmetric Trends of Daily Maximum and Minimum Temperature". *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **74** (6), 1007-1023.
- LABAJO, J.L. *et al.* (1998): "Temporal Behaviour of the Annual Mean Pressure on the Northern Spanish Plateau between 1945 and 1994". *Int. J. of Climatology*, **18**, 637-647.
- LABAJO, J.L. and PIORNO, A. (1998): "Análisis del comportamiento temporal de la temperatura en Castilla y León: Primeros resultados". Fernandez, F *et al.* (Ed.): *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*. Editorial Parteluz, pp. 577-591
- MENDONÇA, S; J. PINTO (1996): "The Autorregresive Model of Climatological Time Series: An Application to the Longest Time Series in Portugal". *Int. J. of Climatology*, **16**, 1165-1173
- MITCHELL, J.M. (1966): *Climatic Change*. WMO. Technical Note 79. TP-100. 79 pp. Geneva.
- SCHÖNWISE, C.D (1994): "Observed climate trends in Europe 1891-1990". *Meteorol. Zeitschrift*, **3**, 22-28.
- SCHÖNWISE, C.D. and J. RAPP (1997): "*Climate trend Atlas of Europe based on observations 1891-1990*". Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 228 pp.
- SNEYERS, R. (1975): *Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones*. OMM. Nota Técnica 143. OMM-Nº 415. Geneva. 192 pp.
- SNEYERS, R. (1992): "On the Use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climate Change". *Meteorol. Zeitschrift. N.F*, **1**, 247-256.
- VINNIKOV, K.Ya. *et al.* (1990): "Empirical Data on Contemporary Global Climate Changes (Temperature and Precipitation)". *J. of Climate*, **3**. 662-677.
- YONETANI, T. and G.J. McCABE (1994): "Abrupt changes in regional temperature in the conterminous United States, 1895-1989". *Climate Research*, **4**, 13-23.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación CICYT, CLI96-1842-C05-02, y del proyecto SA-13/96 de Castilla y León. Agradecemos también al I.N.M. la ayuda prestada para su desarrollo

