

TENDENCIAS RECIENTES DE LAS FRECUENCIAS DE LOS VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA EN LA REGIÓN DE CASTILLA Y LEÓN

M^a Teresa ORTEGA^{*}, Carlos G. MORALES^{*}, José L. LABAJO^{**}, Ángel L. LABAJO^{**},
Antonio PIORNO^{**}, Quintín MARTÍN^{***}

^{*} Departamento de Geografía. Universidad de Valladolid

^{**} Departamento de Física General y de la Atmósfera. Universidad de Salamanca

^{***} Departamento de Estadística. Universidad de Salamanca

RESUMEN

A partir de los datos diarios del intervalo temporal comprendido entre 1961-2003, se establecen las series de anomalías diarias de temperatura máxima y mínima en las capitales de provincia de la región de Castilla y León. A continuación se construyen las series regionales de dichas anomalías para todo el territorio analizado. De las series regionales de anomalías se establecen como umbrales extremos los valores correspondientes a los percentiles P_{05} y P_{95} . Seguidamente se elaboran las series de frecuencias anuales de días con valores de anomalías por debajo y por encima de los citados valores umbrales. El análisis de las tendencias permite apreciar que los valores más bajos de temperatura máxima diaria presentan una frecuencia anual decreciente, mientras que los valores más elevados tienen una frecuencia creciente. Por su parte, las temperaturas mínimas diarias muestran resultados similares, los valores más bajos presentan una frecuencia anual decreciente y los más altos creciente.

Palabras clave: Temperatura, anomalías de temperatura, valores extremos, frecuencias, tendencia, Castilla y León

ABSTRACT

On the basis of daily data for the period 1961-2003, this paper lays out the series of daily anomalies in maximum and minimum temperatures recorded for all capital cities in the region of Castile-Leon. Next it builds up the regional series of such anomalies for the whole of the territory that is the subject of this analysis. Within these regional series, threshold values are assigned corresponding to percentiles P_{05} and P_{95} . The next step consists in drawing the series of annual occurrence rates for days where anomalies score either higher or lower than the above-mentioned threshold values. The analysis of these trends shows that the lowest values for maximum daily temperatures point at a decreasing annual rate, while the highest values exhibit a growing rate of occurrence. On the other hand, minimum daily temperatures point at similar results, the lowest values showing a decreasing annual rate and the highest values reflecting an increase in such a rate.

Key words: Temperature, temperature anomalies, extreme values, occurrence rates, trends, Castilla y León

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura constituye una variable climática de primer orden al ser representativa de los caracteres climáticos de un territorio. La mayor parte de los fenómenos físicos como la evaporación o condensación, dependen directamente de la temperatura del aire, lo mismo que ocurre con otros fenómenos fisiológicos, de tal modo que los seres vivos en general no pueden subsistir fuera de unos determinados umbrales térmicos. Es más, a través de ella es como quizá mejor se detecta el comportamiento de la existencia de un posible cambio climático.

Los estudios actuales sobre temperaturas suelen tratar como temas de interés la reconstrucción de series y sus cambios temporales (PETERSEN y EASTERLING, 1994; JONES y HULME, 1996; LABAJO y PIORNO, 1999; JONES y MOBERG, 2003, entre otros). Igualmente, los resultados de las últimas investigaciones dejan claro que en la segunda mitad del siglo pasado se detecta un incremento en las temperaturas medias del aire a escala global (*Tercer Informe de Evaluación del Cambio Climático* IPCC, 2002), que también tiene reflejo a escala regional (MORALES *et al.* 2005). Pero en general no suele ser habitual el tratamiento por separado de la evolución de las temperaturas máximas y mínimas y de su contribución a este incremento.

Cada vez se pone más de manifiesto la necesidad de analizar y destacar el comportamiento de los fenómenos extremos en el desarrollo del clima terrestre, pues en intervalos temporales más dilatados son los que ayudan a definir el clima de un territorio concreto, y además pueden ser a largo plazo los responsables de la evolución temporal que experimentan los valores medios globales. En el caso concreto de las temperaturas, es evidente que su valor medio siempre va a quedar matizado por el comportamiento temporal de sus valores máximos y mínimos.

Por ello, para tratar de abundar más sobre esta idea con este trabajo se pretende realizar un análisis del comportamiento de los valores extremos de temperatura en la cuenca del Duero española, es decir, el territorio perteneciente a la comunidad autónoma de Castilla y León.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para este estudio se ha contado con la información proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología de las series de datos diarios de temperatura máxima y mínima de los observatorios de Ávila, Burgos (Villafría), León, Palencia, Salamanca (Matacán), Segovia, Soria, Valladolid (Villanubla) y Zamora (figura 1).

Para obtener unos resultados lo suficientemente fiables se ha considerado como punto de partida el trabajar con series lo suficientemente largas, de la misma longitud y donde el porcentaje de huecos no exceda en ninguna de ellas del 15%. Esto nos ha conducido a analizar el intervalo temporal comprendido entre 1961 y 2003, en todos los observatorios a excepción del de Palencia, que en virtud de su escasa y mala información se ha optado por prescindir de ella. Además su influencia en el proceso de regionalización tampoco es significativa dada la proximidad del observatorio de Villanubla y la de ambos al centro de la región. Por otro lado, y para favorecer una mayor homogeneidad en el tratamiento de la información se han eliminado los datos correspondientes al día 29 de febrero de los años bisiestos.

TENDENCIAS RECIENTES DE LAS FRECUENCIAS DE LOS VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA EN LA REGIÓN DE CASTILLA Y LEÓN

Inicialmente las series han sido completadas, siempre que ha sido posible, con la información obtenida directamente de los Boletines Meteorológicos diarios que edita el INM. Seguidamente se han depurado estas series de datos y los nuevos huecos así generados, se ha rellenado mediante técnicas de regresión lineal múltiple. Las correlaciones entre las distintas series han sido muy altas como acreditan en todos los casos los coeficientes obtenidos. Siempre han alcanzado valores por encima del 0.90, llegando algunos al 0.99, lo que habla a favor de la calidad de las series de datos definitivas. La homogeneidad de las series obtenidas se ha comprobado con la metodología al uso. En definitiva, se ha trabajado con unas series de datos que cubren suficientemente el área de estudio, que tienen una longitud de 15.695 datos cada uno de los observatorios, correspondientes al intervalo temporal anteriormente citado (1961-2003).

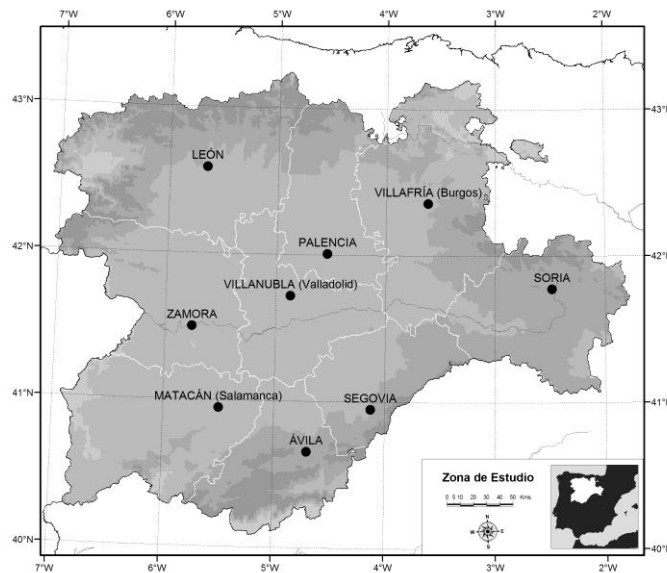


Fig. 1. Zona de estudio

A partir de esta base de datos diarios se han construido las series de anomalías diarias de las temperaturas máximas ($AnT_{m\acute{a}x}$) y mínimas ($AnT_{m\acute{i}n}$). Para ello, tras ordenar la serie de datos de cada observatorio por día (todos los días 1, todos los días 2), mes (todos los meses de enero) y año (de 1961 a 2003), se calculan las diferencias entre cada valor diario de la serie y el valor promedio calculado para cada día del año en los 43 años de observación.

Dos son las causas fundamentales que nos han llevado a considerar las series de valores de anomalías diarias en lugar de los valores diarios de temperaturas máximas y mínimas: de un lado, se evita la influencia de los factores topoecológicos de los observatorios en los valores y, por lo tanto, se pueden comparar directamente unos con otros sin necesidad de hacer ningún tipo de corrección; y de otro lado, el hecho de que filtra la periodicidad anual que afecta a los valores de temperatura.

A partir de estas series de anomalías se construyen las series regionales correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas de Castilla y León. Para construir estas series se emplean las de los ocho observatorios seleccionados, utilizando el método del inverso de la distancia (JONES y

HULME, 1996), en una celda comprendida entre los 40° y 43° de latitud N y los 2° y 7° de longitud W.

3. LOS UMBRALES DE VALORES EXTREMOS

A partir de las series regionales de anomalías se establecen los umbrales que permiten definir los valores extremos de anomalía, tanto para los valores más elevados como para los más bajos, en las series correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas.

Dichos umbrales de extremos, aunque se pueden establecer de distintas maneras, se ha optado por el criterio de percentiles, dado que está siendo empleado profusamente tanto para definir intervalos de clase en las series de variables (LANA *et al.*, 2003; GARCÍA HERRERA, *et al.*, 2003), como para determinar los umbrales de valores extremos de variables climáticas (MANTON *et al.*, 2001; SALINGER y GRIFFITHS, 2001; DE GAETANO y ALLEN, 2002; GRIFFITHS, *et al.*, 2003). Los percentiles que se han elegido para este trabajo son el P₀₅ como umbral de los valores extremos más bajos, y el P₉₅ como umbral de los valores extremos más altos.

La aplicación del criterio de los percentiles a las series de datos de anomalías de temperaturas máximas y mínimas, nos proporciona los valores extremos umbrales, por debajo o por encima de los cuales las anomalías diarias de temperatura se van a considerar como valores extremos, es decir, como valores de temperatura extremadamente bajos o extremadamente altos. Los valores que se obtienen de estos umbrales para las series de trabajo aparecen en la tabla 1.

VARIABLES	P ₀₅ (°C)	P ₉₅ (°C)
Anomalías de T _{máx} (AnT _{máx})	-6.37	6.39
Anomalías de T _{mín} (AnT _{mín})	-4.97	5.02

Tabla 1. VALORES UMBRALES DE EXTREMOS DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA EN EL INTERVALO 1961-2003

Como se aprecia en la tabla 2, estos umbrales de anomalías de temperatura se corresponden a los umbrales de valores extremos de temperaturas máximas y mínimas diarias en Castilla y León para el intervalo 1961-2003.

VARIABLES	P ₀₅ (°C)	P ₉₅ (°C)
Temperatura máxima	5.33	31.30
Temperatura mínima	-3.32	17.85

Tabla 2. VALORES UMBRALES DE TEMPERATURAS EXTREMAS EN EL INTERVALO 1961-2003

TENDENCIAS RECIENTES DE LAS FRECUENCIAS DE LOS VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA EN LA REGIÓN DE CASTILLA Y LEÓN

De esta manera, se puede considerar como días muy calurosos aquellos que superen los 31.3°C de temperatura máxima, y los 17.8°C de temperatura mínima; mientras que los días muy fríos serán aquellos en los que la temperatura máxima esté por debajo de los 5.3°C o bien la mínima por debajo de los -3.3°C .

4. RESULTADOS

A partir de los umbrales establecidos en el epígrafe anterior, y desde la serie regional de anomalías de temperatura máxima diaria en Castilla y León, se construyen las series de frecuencias anuales de anomalías ($\text{FAnT}_{\text{máx}}$) por encima del valor 6.39°C y por debajo del valor -6.37°C . La secuencia temporal de frecuencias obtenidas desde 1961 a 2003, expresadas en número de días al año, se refleja en la Figura 2, donde además se indican las líneas de tendencia calculadas a partir de las medias móviles (línea discontinua) que muestran ambas series.

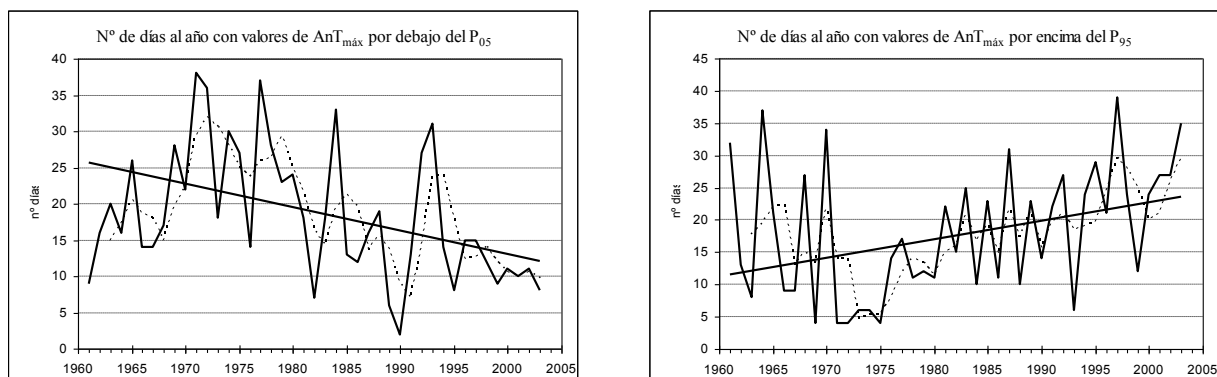


Fig. 2. Evolución temporal de la frecuencia anual de días con anomalías de temperatura máxima por debajo del umbral definido por el P_{05} , y por encima del umbral definido por el P_{95} en el intervalo 1961-2003.

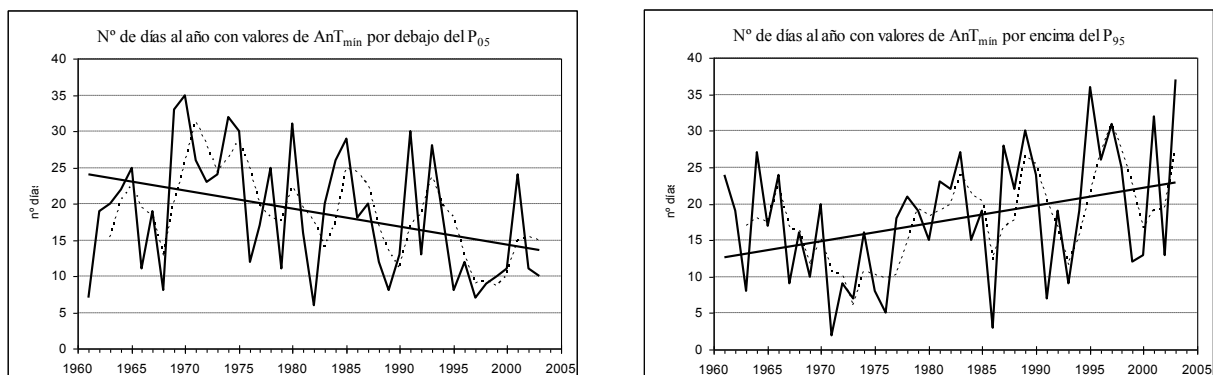


Fig. 3. Evolución temporal de la frecuencia anual de días con anomalías de temperatura mínima por debajo del umbral definido por el P_{05} , y por encima del umbral definido por el P_{95} en el intervalo 1961-2003.

De igual manera se establece para las series de anomalías diarias de temperaturas mínimas ($FAnT_{\min}$), las series de frecuencias anuales de anomalías por encima del valor 5.02°C y por debajo del valor -4.97°C . Las gráficas de la figura 3 muestran el comportamiento temporal de las frecuencias anuales de valores extremos con sus correspondientes líneas de tendencia

En todos los casos las líneas de tendencia que aparecen en las gráficas muestran la existencia de tendencia. Para comprobar si éstas son significativas, al menos a un nivel de significación del 0.05, se aplica a las series de frecuencias anuales de las anomalías extremas el test de Spearman (SNEYERS, 1975). Previamente, y para poder contrastar resultados, se aplica el test a las series de anomalías de temperatura diaria máxima y mínima. Los resultados se muestran en la tabla 3.

	n	r_s	α_s	Tendencia
AnT_{\max}	15695	0.112	1.00e-06	C
AnT_{\min}	15695	0.061	1.00e-06	C
(La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral))				

Tabla 3. TENDENCIAS DE LAS ANOMALÍAS DE TEMPERATURA MÁXIMA (AnT_{\max}) Y MÍNIMA (AnT_{\min}) DIARIAS. (C = creciente, D = decreciente, NT = no tendencia ($\alpha=0.05$))

Los resultados del test de Spearman al aplicarlo a las series de frecuencias de anomalías extremas de las temperaturas máximas diarias aparecen reflejados en la tabla 4.

	n	r_s	α_s	Tendencia
$FAnT_{\max} < P_{05}$	43	-0.427	0.004	D
$FAnT_{\max} > P_{95}$	43	0.388	0.010	C

Tabla 4. TENDENCIAS DE LAS FRECUENCIAS ANUALES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA MÁXIMA INFERIORES O SUPERIORES A LOS UMBRALES ESTABLECIDOS POR P_{05} Y P_{95}
(C = Creciente, D = Decreciente, NT = no tendencia ($\alpha=0.05$))

Como puede apreciarse, las tendencias son significativas a niveles de confianza superiores al 95%. Además, su interpretación manifiesta que la frecuencia anual de los valores extremos más bajos de las anomalías de temperatura máxima, observados en Castilla y León, tiende a disminuir a lo largo del intervalo temporal 1961-2003, mientras que la de los valores extremos más altos tiende a aumentar. Esto viene a decir que el número de días al año con temperaturas máximas más altas se incrementa, mientras que disminuye el número de días con temperaturas máximas más bajas. Lo que relacionándolo con la dinámica atmosférica no sería descabellado el suponer un posible incremento de las situaciones anticiclónicas a lo largo del año a expensas de las situaciones más inestables.

Por su parte, los resultados de la aplicación del test de Spearman a las series de frecuencias anuales de anomalías extremas de temperatura mínima aparecen reflejados en la tabla 5.

	n	r _s	α _s	Tendencia
FAnT _{mín} < P ₀₅	43	-0.289	0.060	D
FAnT _{mín} > P ₉₅	43	0.326	0.033	C

Tabla 5. TENDENCIAS DE LAS FRECUENCIAS ANUALES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA MÍNIMA INFERIORES O SUPERIORES A LOS UMBRALES ESTABLECIDOS POR P₀₅ Y P₉₅
(C = Creciente, D = Decreciente, NT = no tendencia (α=0.05))

En este caso las tendencias son significativas a un nivel de confianza en torno o superior al 95% para las frecuencias anuales de anomalías de temperatura mínima superiores al umbral del P₉₅. Sin embargo, no sucede lo mismo para el caso de las temperaturas mínimas inferiores al umbral determinado por el P₀₅ donde el nivel de confianza es ligeramente inferior, (94%). Pese a todo, los resultados obtenidos indican que, a lo largo del período de tiempo analizado, el número anual de casos de anomalías de temperatura mínima diaria más bajas disminuyen mientras que los casos de anomalías de temperatura mínima más altas aumentan.

Este comportamiento muestra unas tendencias más significativas si nos centramos en el periodo 1971-2003, tanto porque las tendencias, marcando el mismo comportamiento, acentúan sus valores, como porque la significación es aún mayor en todos los casos, prácticamente con coeficientes de confianza del 100% en todos los casos, como se observa en la tabla 6.

Esta manera de manifestarse los valores extremos viene a coincidir con lo señalado para el comportamiento de las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias en ese mismo periodo (MORALES *et al.*, 2005).

	n	r _s	α _s	Tendencia
FAnT _{máx} < P ₀₅	33	-0.646	4.89e-05	D
FAnT _{máx} > P ₉₅	33	0.705	4.63e-06	C
FAnT _{mín} < P ₀₅	33	-0.506	0.003	D
FAnT _{mín} > P ₉₅	33	0.465	0.006	C

Tabla 6. TENDENCIAS DE LAS FRECUENCIAS ANUALES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA INFERIORES O SUPERIORES A LOS UMBRALES ESTABLECIDOS POR P₀₅ Y P₉₅ Y PARA EL PERIODO 1971-2003
(C = Creciente, D = Decreciente, NT = no tendencia (α=0.05))

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten destacar las siguientes conclusiones:

- En Castilla y León la tendencia de la frecuencia anual de los valores extremos más altos de las anomalías de temperaturas máximas (FAnT_{máx}), entre 1961 y 2003, es creciente a un nivel de

confianza superior al 95%, y la tendencia de la frecuencia de los valores extremos más bajos es decreciente al mismo nivel de confianza.

- La frecuencia anual de los valores extremos más altos de las anomalías de las temperaturas mínimas diarias ($F_{AnT_{min}}$) presentan una tendencia creciente, entre 1961-2003, mientras que la frecuencia anual de los valores extremos más bajos la presentan decreciente, a un nivel de confianza muy similar al caso anterior (94%).
- Estas tendencias, tanto para las temperaturas máximas como para las mínimas alcanzan coeficientes de confianza en torno al 100% si se considera el subperíodo 1971-2003.
- Dada la concordancia de los resultados obtenidos con los de otros trabajos previos (SALINGER y GRIFFITHS, 2001; LABAJO *et al.* 2005), se puede aceptar que la tendencia creciente de las anomalías de temperaturas diarias máximas y mínimas, en el intervalo 1961-2003, se debe fundamentalmente a un aumento de la frecuencia anual de casos extremos más altos y a una disminución de la frecuencia anual de los casos extremos más bajos.
- Esta situación si se pone en relación con la evolución que los valores de presión atmosférica han experimentado en ese mismo intervalo (LABAJO *et al.* 2004) nos lleva a decir que en Castilla y León durante los últimos 40 años se ha podido tender a un reforzamiento y/o un incremento de las situaciones dinámicas de tipo anticiclónico, al menos durante buena parte del año, que son las que han posibilitado esta evolución de las temperaturas. También cabe pensar que las situaciones anticiclónicas invernales, generadoras muchas veces en la región de uno de los tipos de tiempo más fríos de esta estación, sobre todo si permiten la aparición de nieblas, no estén produciendo situaciones de frío tan intensas (temperaturas mínimas y máximas tan bajas) como en otros períodos.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación REN2003-01866, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Los autores agradecen al INM la disposición de los datos que ha permitido su realización.

7. REFERENCIAS

- DE GAETANO, A.T. AND ALLEN R.J. (2002). "Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States". *Journal of Climate*, 15, pp. 3188-3205.
- GARCÍA HERRERA, R.D., GALLEGRO E., HERNÁNDEZ, I., GIMENO, I., RIVERA P. AND CALVO, N. (2003). "Precipitation trends in the Canary Islands". *Int. Journal of Climatology*, 23, pp. 235-241.
- GRIFFITHS, G.M., SALINGER, M.J. AND LELEU, I. (2003). "Trends in extreme daily rainfall across the south Pacific and relationship to the south Pacific convergence zone". *Int. Journal of Climatology*, 23, pp. 847-869.

- IPCC (2002). Cambio Climático: Ciencia, impactos, adaptación y mitigación. En *Principales conclusiones del Tercer informe de Evaluación*. Oficina española de Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente.
- JONES, P.D. AND HULME, M. (1996). "Calculating regional climate times series for temperature precipitation: Methods and illustrations". *Int. Journal of Climatology*, 16, pp. 361-377.
- JONES, P.D. AND MOBERG, A. (2003). "Hemispheric and large-scale air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001". *Journal of Climate*, 16, pp. 206-223.
- LABAJO, J.L. Y PIORNO, A. (1999). "Comportamiento de variables climáticas en Castilla y León: temperatura mínima media anual". En *La Climatología española en los albores del siglo XXI*. J.M. Raso, y J. Martín Vide (Eds). Publicaciones de la AEC, serie A, nº 1, pp. 259-266.
- LABAJO, J.L., MARTÍN, Q., PIORNO, LABAJO, A., A. MORALES, C. Y ORTEGA, M^a T. (2004). "Primeros resultados del análisis del comportamiento de los valores extremos de la presión atmosférica a nivel del suelo, en Castilla y León". En *El clima entre el mar y la montaña*. García Codrón, J.C. *et al.* (Eds). Publicaciones de la AEC, serie A, nº 4, pp. 313-321.
- LABAJO, J.L., LABAJO, A., MARTÍN, Q., PIORNO, A. MORALES, C. Y ORTEGA, M^a T. (2006). "Tendencias recientes de los valores extremos de temperatura en la Meseta Sur española". V Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Sevilla
- LANA, X, SERRA, C. Y BURGUEÑO, A. (2003). "Trends affecting pluviometric indices at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) from 1917 to 1999". *Int. Journal of Climatology*, 16, pp. 361-377.
- MANTON, M.J. *ET AL.* (2001). "Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998". *Int. Journal of Climatology*, 21, pp. 269-284.
- MORALES, C., ORTEGA, M^a T., LABAJO, J.L. Y PIORNO, A. (2005). "Recent trends and temporal behavior of thermal variables in the region of Castilla-Leon (Spain)". *Atmósfera*, 18-2, pp. 71-90.
- PETERSON, T.C. AND EASTERLING, D.R. (1994). "Creation of homogeneous composite climatological reference series". *Int. Journal of Climatology*, 14, pp. 671-679.
- SALINGER, M.J AND GRIFFITHS, G.M. (2001). "Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes". *Int. Journal of Climatology*, 21, pp. 1437-1452.