

EVOLUCIÓN DE LA FRECUENCIA ANUAL DE LOS DÍAS EXTREMADAMENTE FRÍOS, EN ÉPOCA FRÍA, ENTRE 1961 Y 2003, EN LA MESETA CENTRAL ESPAÑOLA

Ángel L. LABAJO IZQUIERDO¹, José L. LABAJO SALAZAR²

¹Dpto. de Informática y Automática. Universidad de Salamanca.

²Dpto. de Física General y de la Atmósfera. Universidad de Salamanca

alabajo@usal.es, jll45@usal.es

RESUMEN

Se establece el criterio de considerar un día como extremadamente frío cuando se cumpla, simultáneamente, que la anomalía de temperatura máxima del día sea menor que el valor del percentil P_{05} de la serie de anomalías diarias de temperatura máxima, y que el valor de la anomalía de temperatura mínima diaria sea a su vez menor que el percentil P_{05} de la serie de anomalías correspondiente. Las series de anomalías diarias de temperaturas máxima y mínima se obtienen a partir de datos diarios de las temperaturas máxima y mínima, como diferencia entre el dato real y el dato medio correspondiente de cada día del año. La zona de estudio es la Meseta Central española. Los datos de temperaturas máxima y mínima diarias se corresponden a las observaciones realizadas en 14 observatorios (8 en la submeseta Norte y 6 en la submeseta Sur) durante el intervalo de tiempo 1961-2003. A partir de las series de anomalías de las temperaturas máxima y mínima diarias se construyen las series de anomalías diarias para la zona de estudio y cada una de las dos subzonas. Se establecen los valores umbrales más bajos (percentiles P_{05}) considerando sólo los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, que son los que se incluyen en la época fría del año para la Meseta Central. En función de estos umbrales se determinan los días extremadamente fríos en toda la zona de estudio y en las dos subzonas diferenciadas.

Una vez determinados los días extremadamente fríos en la época fría, en todo el periodo de estudio y en cada zona, se obtienen las correspondientes series de frecuencias anuales. El análisis de tendencia de estas series indica que en todos los casos la tendencia es decreciente. Es decir que el número de días extremadamente fríos al año, observados durante la época fría, está disminuyendo a lo largo del intervalo de tiempo estudiado.

Palabras clave: Temperatura, Anomalía de temperatura, Valores extremos, Frecuencia, Tendencia

ABSTRACT

We establish a criterion to consider a day as extremely cold when the maximum temperature anomaly and the minimum temperature anomaly are simultaneously smaller than the P_{05} percentile value of each data series. The anomalies daily series of maximum and minimum temperature are obtained from daily data of the maximum and minimum temperature, as the difference between real data and mean data corresponding to each day of the year. The zone studied is the Spanish Central Plateau. The maximum and minimum daily temperature data

are obtained from the observations on 14 meteorological stations (8 in the north subplateau and 6 in south subplateau) during the period of time between 1961 and 2003. From the daily anomalies series we obtain the corresponding mean series of daily anomalies in the consider area, and in each of the 2 sub-zones. The values of the lower threshold (P_{05} percentiles) are established only from November, December, January and February, that are the months included in the cold period for the Spanish Central Plateau. From this threshold, the extremely cold days are determined in the studied zone and the 2 sub-zones.

Once the extremely cold days are determined, in the cold period and each zone, the corresponding series of annual frequencies are obtained. The trend analysis of this series shows, in all the cases, that the trend is decreasing. Thus the number of extremely cold days in a year, observed during the cold period, is decreasing during the period studied.

Key words: Temperature, Temperature anomaly, Extreme values, Frequency, Trend.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha realizado estudios muy completos de los distintos elementos climáticos, inicialmente tratando de establecer los modelos de comportamiento medios anuales y mensuales de las variables climáticas (PETERSON y ESTERLING, 1994; JONES y HULME, 1996; LABAJO y PIORNO, 1999; GALÁN *et al.*, 2001; JONES y MOBERG, 2003; MORALES *et al.*, 2004).

Los resultados de las investigaciones dejan claro que en la última mitad del siglo XX se detecta un incremento en el valor de la temperatura media del aire a escala global que se refleja también a escala regional (MORALES *et al.*, 2004). Sin embargo, en general, no se establece la incidencia de la variación de los valores máximos y mínimos de temperatura en ese incremento.

Los últimos informes sobre la Evaluación del cambio Climático (IPCC 2002 , IPCC 2007) indican la necesidad de estudiar el comportamiento de los eventos extremos de los diferentes elementos del clima por que, en principio, podrían incidir de forma importante en la evolución temporal observada en sus valores medios. En ese sentido se han comenzado a realizar estudios tendentes a establecer la aportación de estos eventos extremos a la modificación global del clima en la tierra (PLUMMER *et al.*, 1999; BRUNETTI *et al.*, 2001; LÓPEZ-DÍAZ, 2002; LABAJO *et al.*, 2004; SHOURASENI *et al.*, 2004, LABAJO *et al.*, 2006 y 2008).

En el caso de la temperatura, esta incidencia puede ponerse de manifiesto estableciendo la evolución temporal de la frecuencia anual de los valores extremos de ambas variables, temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria. En este sentido, se han realizado en los últimos años diversos estudios en distintas escalas espaciales (MANTON *et al.*, 2001; SALINGER y GRIFFITHS, 2001; DOMONKOS *et al.*, 2003; KLEIN y KÖNNEN, 2003).

Por otra parte, los fenómenos atmosféricos extremos, huracanes, grandes riadas, valores extremadamente altos y extremadamente bajos de temperatura, han influido siempre negativamente en el desarrollo normal de las actividades humanas. En muchos casos se han producido daños materiales muy importantes, daños que han llegado a afectar a la seguridad de las personas incluso con pérdida de vidas. Todo ello indica la necesidad de establecer la

evolución temporal de la frecuencia de producción de estos fenómenos ligados a los valores más extremos de las variables climáticas.

En este trabajo se pretende establecer qué se entiende por días extremadamente fríos y la evolución que ha experimentado su frecuencia anual, en la zona de la Meseta Central de la península Ibérica, entre 1961 y 2003, durante la época fría del año, época que incluye los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

En trabajos previos (PLUMMER, 2001; SALINGER y GRIFFITHS, 2001; DE GAETANO y ALLEN, 2002; DOMONKOS *et al.*, 2003; LABAJO *et al.*, 2006; ORTEGA *et al.*, 2006) se ha analizado el comportamiento temporal de la frecuencia anual de temperaturas extremas diarias. Ahora se va a estudiar la evolución temporal de la frecuencia anual de situaciones de fríos extremos, para lo cual es necesario definir qué se entiende por día extremadamente frío (DEF).

Los umbrales de valores extremos de temperatura se pueden fijar de distintas maneras, en algunos casos, un tanto arbitrarias. Estos umbrales arbitrarios no son siempre suficientemente representativos por lo que muchos investigadores han adoptado el criterio de percentiles para definirlos. Este criterio está siendo ampliamente empleado 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; LABAJO *et al.*, 2004, 2006 y 2008).

En general se consideran días extremadamente fríos (DEF) aquellos en los que la temperatura mínima diaria se diferencia de la media en valores concretos que se corresponden con los de los umbrales marcados por los percentiles P_{10} , P_{05} o, incluso en los análisis más exigentes, P_{01} (DOMONKOS *et al.*, 2003).

Para definir estos días de una forma más exacta parece lógico pensar que no basta con que la temperatura mínima cumpla los requisitos que se acaban de indicar. Además se deberían cumplir simultáneamente otros, como que la temperatura máxima sea inferior a valores umbrales dados.

El criterio que se va a seguir en el desarrollo de este trabajo es considerar los umbrales definidos por los valores de P_{05} tanto en las series de Anomalías de la Temperatura Máxima Diaria (ATMAD) como en las de las Anomalías de la Temperatura Mínima Diaria (ATMID). Estos valores umbrales se calculan a partir de las series de datos correspondientes a los meses incluidos en la época fría del año. La razón de escoger estos valores umbrales se indica en trabajos anteriores (LABAJO *et al.* 2004, 2006 y 2008).

La zona de estudio seleccionada es la Meseta Central española que cubre un área definida por los $38^{\circ} 01' N$ y $43^{\circ} 14' N$ y los $0^{\circ} 54' W$ y $06^{\circ} 07' W$ (Fig.1). Los datos empleados para este estudio, proporcionados por Instituto Nacional de Meteorología (actualmente Agencia Estatal de Meteorología, AEMET), son datos de observación de temperaturas máxima y mínima diarias, obtenidos en los observatorios de Ávila, Burgos, León, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid (Villanubla), Zamora, Los Llanos (Albacete), Ciudad Real, Cuenca, Toledo, Madrid (Retiro) y Barajas (Madrid). La disponibilidad de datos de estos observatorios, en el momento actual, nos obliga a considerar el intervalo de tiempo 1961-2003.

Con esta base de datos diarios se han construido las series de anomalías de las temperaturas máximas diarias (ATMAD) y de anomalías de las temperaturas mínimas diarias (ATMID) (entendiéndose por anomalía la diferencia respecto de la media de cada día). Estas series de datos ya están depuradas, y comprobada su homogeneidad, en trabajos previos citados antes.

A partir de las series de anomalías se construyen las series regionales de anomalías de temperaturas máximas y mínimas diarias en la Meseta Central española, y las de la submeseta Norte (Castilla y León) y submeseta Sur (Castilla La Mancha y Madrid). Para construir estas series empleamos las de los observatorios seleccionados, utilizando el método del inverso de

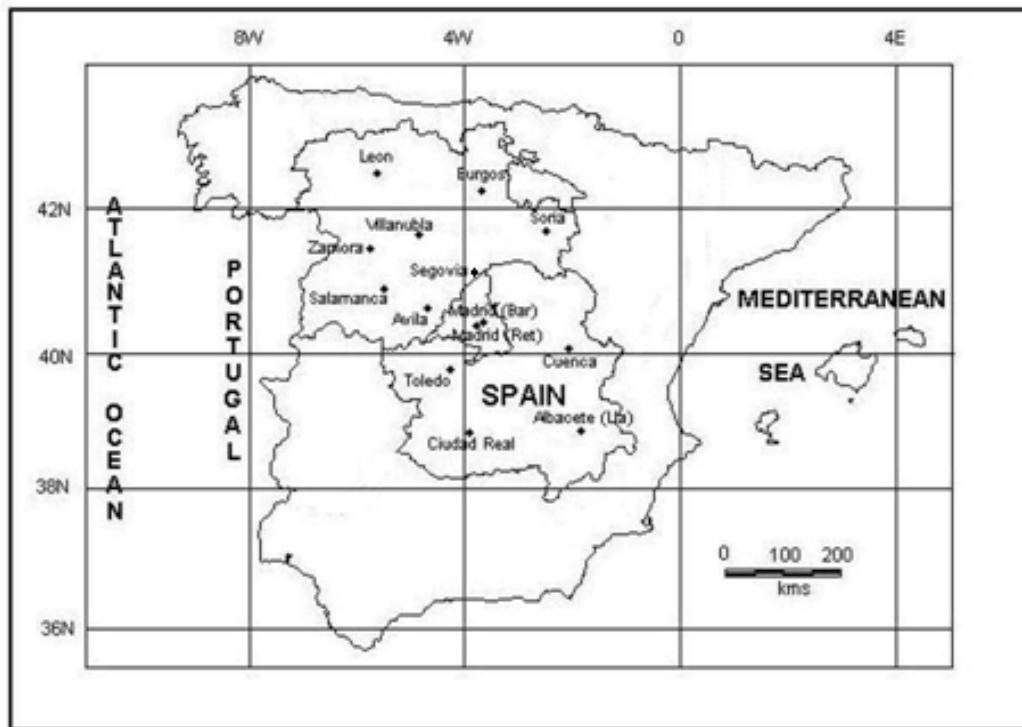


Figura 1. Zona de Estudio

la distancia (JONES y HULME, 1996). A continuación se determinan los umbrales de valores de ATMAD y ATMID que corresponden al percentil P_{05} , que van a permitir identificar los días extremadamente fríos. Los valores de estos umbrales se dan en la tabla 1.

	ATMID $P_{05}(^{\circ}\text{C})$	ATMAD $P_{05}(^{\circ}\text{C})$
submeseta Norte	-5.33	-5.33
submeseta Sur	-5.42	-4.94
Meseta Central	-5.21	-4.98

Tabla 1. VALORES UMBRALES DE EXTREMOS MÁS BAJOS DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURAS (P_{05}), EN LA ÉPOCA FRÍA (NOVIEMBRE-DICIEMBRE-ENERO-FEBRERO), PARA EL INTERVALO 1961-2003.

3. RESULTADOS

En función de los umbrales establecidos en el apartado anterior, y a partir de las series regionales de anomalías de temperatura máxima y mínima diarias en la Meseta Central española y en las dos submesetas, se establecen las series de días extremadamente fríos (DEF) en cada zona, durante la época fría. Para ello se establecen los casos en los que se cumple simultáneamente que en la submeseta Norte $ATMAD < -5.33$ y $ATMID < -5.33$, en la submeseta Sur $ATMAD < -4.94$ y $ATMID < -5.42$ y en toda la zona de estudio (Meseta Central) $ATMAD < -4.98$ y $ATMID < -5.21$. Estas series permiten la determinación del número de esos días en cada año del periodo estudiado y, por tanto, construir las correspondientes series de frecuencia anual de producción.

Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en las figuras siguientes 2, 3 y 4. El número total de DEF en el intervalo de tiempo de estudio (1961-2003) es de 98 en la Meseta Central. En la submeseta Norte el número de DEF es 109 y en la submeseta Sur 70. En cuanto a los años con mayor número de DEF, en la submeseta Norte son 1963 (10 días) y 1985 (11 días), coincidiendo con los correspondientes de la Meseta Central. En la submeseta Sur, las dos mayores frecuencias son prácticamente consecutivas y son de 8 casos en el año 1983 y de 9 casos en 1985. El número de años sin ningún día extremadamente frío, durante el intervalo de estudio, varía mucho de una subzona a otra. En la submeseta Norte los años sin DEF son 12, mientras que en la Sur son 21.

Las gráficas de las secuencias temporales permiten apreciar que, en todos los casos, existe tendencia de la frecuencia de producción que se hace más patente mediante la inclusión en las gráficas de las correspondientes rectas de regresión.

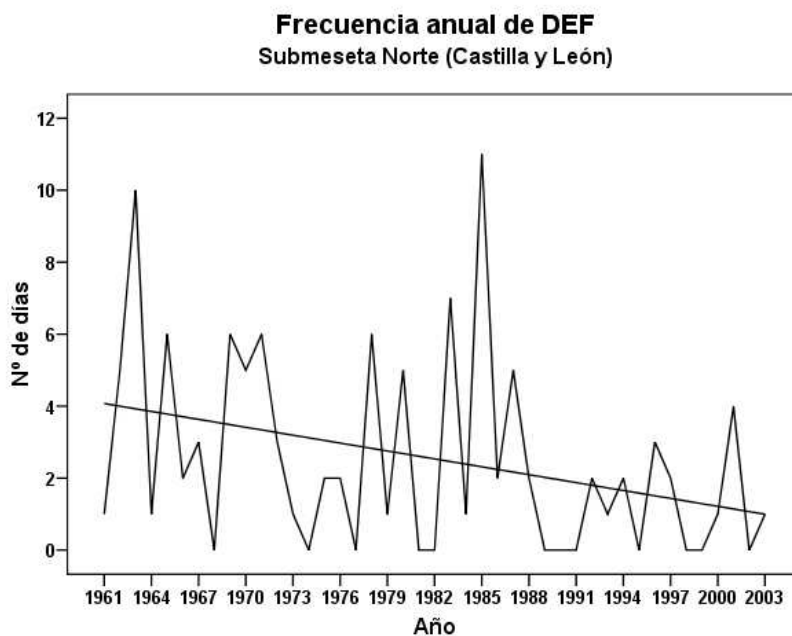


Fig. 2: Evolución temporal de la frecuencia anual de DEF en la submeseta Sur (Castilla y León) en el intervalo 1961-2003. La línea recta es la línea de tendencia.

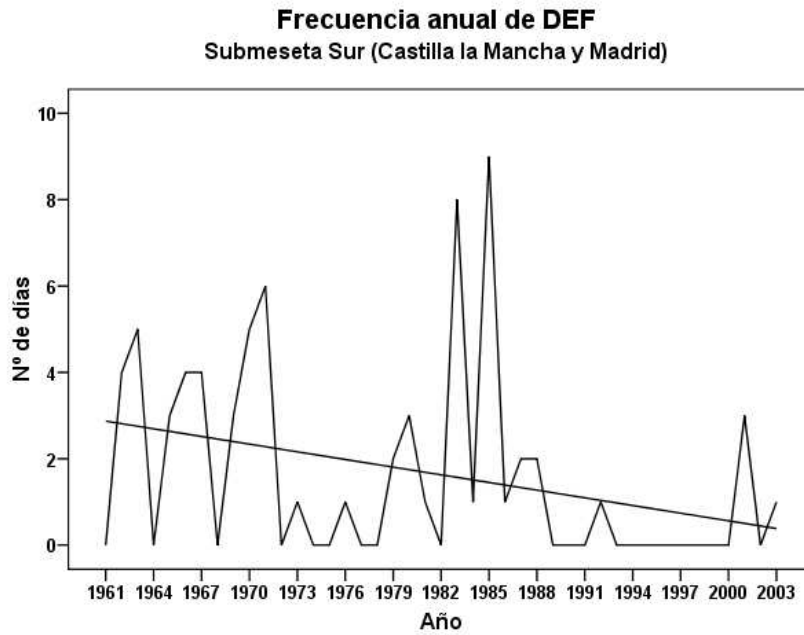


Fig. 3: Lo mismo que la fig. 2 para la submeseta Sur (Castilla la Mancha y Madrid)

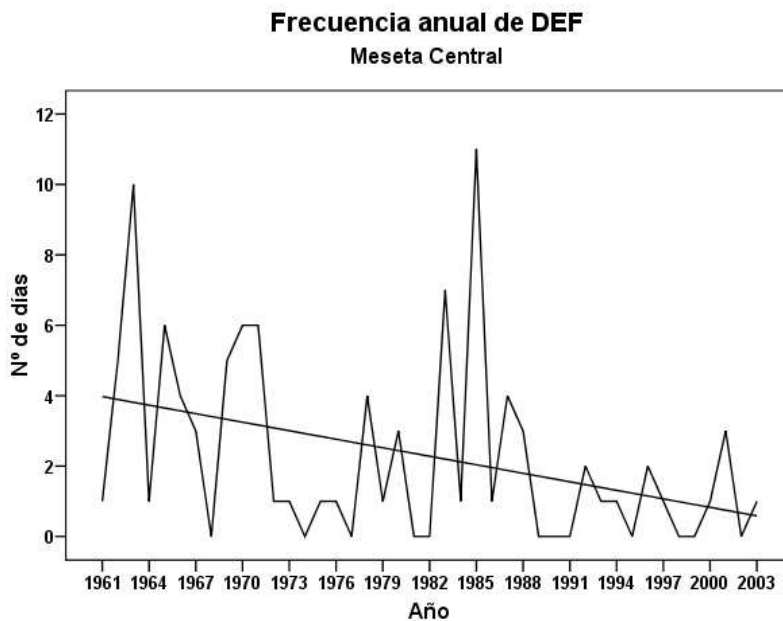


Fig. 4: Lo mismo que la fig. 2 para la Meseta Central.

Para comprobar si las tendencias marcadas son significativas, al menos a un nivel de significación del 95%, vamos a aplicar el test de Spearman (SNEYERS, 1975) a las series de frecuencias anuales de días extremadamente fríos (DEF). Los resultados que se obtienen se muestran en la tabla 2.

	r_s	α_s	Nº datos	Tendencia
submeseta Norte	-.342	.025	43	D
submeseta Sur	-.364	.016	43	D
Meseta Central	-.376	.013	43	D

Tabla 2: TENDENCIAS DE LAS FRECUENCIAS ANUALES DE DEF EN ÉPOCA FRÍA (C = CRECIENTE, D = DECRECIENTE, NT = NO TENDENCIA).

Estos resultados indican que existe una tendencia decreciente en la frecuencia anual de DEF tanto en las dos submesetas como en toda la Meseta Central. La frecuencia anual de DEF disminuye en la submeseta Norte a razón de 0,73 días cada 10 años, en la submeseta Sur de 0,59 días cada 10 años y en la Meseta Central de 0,81 días cada 10 años.

Por otra parte, de los datos de la tabla 2 se ve que las tendencias son significativas a niveles de confianza superiores al 95 %, superando en la submeseta Sur y en toda la zona de estudios el 98%. Eso significa que la frecuencia media anual de DEF, durante la época fría, ha disminuido en el intervalo de tiempo estudiado, con una tendencia que es altamente significativa.

4. CONCLUSIONES

De los resultados que se han obtenido hay que destacar las siguientes conclusiones:

- El número de DEF es mayor en la submeseta Norte que en la Sur, lo que parece lógico dadas las diferencias de características geográficas que presentan ambas. En promedio, la frecuencia anual de DEF en la submeseta Norte, a lo largo del intervalo de tiempo de estudio, es de 2,5 días/año y en la Sur de 1,6 días/año. En toda la Meseta Central la frecuencia anual media de DEF es de 2,3 días/año.

Por otra parte, la frecuencia anual de los DEF presenta una variabilidad relativamente grande en el intervalo de tiempo de estudio. Los valores mínimos (0 días al año) se observan en casi la mitad de casos en la submeseta Norte (12) que en la submeseta Sur (21).

- En la Meseta Central se aprecia un máximo absoluto de días de DEF al año en 1985 (11), máximo absoluto que también se aprecia en la submeseta Norte con la misma frecuencia anual (11), y en la submeseta Sur pero con un valor de la frecuencia algo menor (9). Además, tanto en la Meseta Central como en la submeseta Norte se pone de manifiesto un máximo secundario en 1963, lo que no sucede en la submeseta Sur que presenta un máximo secundario en 1983. Esto indica que el comportamiento de las frecuencias anuales de DEF en la Meseta Central está claramente diferenciado en las dos submesetas, y parece indicar que la zona sur es algo más cálida en los meses fríos que la norte,

- En cuanto a la evolución temporal de los DEF, los resultados del test de Spearman indican que en toda la zona de estudio, y en las dos subzonas, existe tendencia decreciente en la frecuencia anual de DEF, que son significativas a niveles de confianza superiores al 95%, incluso al 98% cuando se considera toda la zona de estudio. Esta tendencia se puede evaluar

en 0,7 por década en la submeseta Norte, 0,6 por década en la submeseta Sur y 0,8 días por década en la Meseta Central.

- De todo lo expuesto se puede concluir que en el periodo 1961-2003, la frecuencia anual de DEF ha disminuido a un ritmo lento, aunque, como en todos los fenómenos extremos, su variabilidad sea relativamente grande. Por otra parte, lo que sí podría aceptarse es que el comportamiento temporal de los DEF concuerda con la tendencia de las temperaturas medias anuales. En futuros estudios, cuando se puedan ampliar las series de datos, se tratará de confirmar los resultados obtenidos.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación CGL2009-08565 financiado por el MICINN. Los autores agradecen a la AEMET (antiguo INM) las facilidades dadas para la obtención de los datos que han permitido realizarlo.

6. REFERENCIAS

- DOMONKOS P.; KYSELÝ, J.; PIOTROWICZ, K.; PETROVIC, P and LIKSO, P. (2003). Variability of extreme temperature events in South-Central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, **23**, 987-1010.
- DeGAETANO, A.T. and ALLEN, R.J. (2002) Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States. *Journal of Climate*, **15**, 3188-3205.
- GALÁN, E.; CAÑADA, R.; FERNÁNDEZ, F. and CERVERA, B. (2001). Annual temperature evolution in the Southern Plateau of Spain from the construction of regional climatic time series". In *Detecting and modelling regional climate change*. M. BRUNET and D. LÓPEZ (Eds.). Springer-Verlag, 119-131.
- GARCÍA-HERRERA, R.; GALLEGO, D.; HERNÁNDEZ, E.; GIMENO, I.; RIVERA, L.P. and CALVO, N. (2003). Precipitation trends in the Canary Islands. *International Journal of Climatology*, **23**, 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. *International Journal of Climatology*, **23**, 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.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, WMO. Switzerland.
- JONES, P.D. and HULME, M. (1996). Calculating regional climate time series for temperature precipitation: Methods and illustrations. *International Journal of climatology*, **16**, 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**, 206-223.
- KLEIN, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. *Journal Climate*, **16**: 3665-3680.

- LABAJO, J.L. y PIORNO, A. (1999). Comportamiento de variables climáticas en Castilla y León: Temperatura mínima media anua". En *La climatología española en los albores del siglo XXI*, RASO, J.M. y MARTÍN-VIDE (Eds.), Publicaciones de la AEC, serie A nº 1, 259-266.
- LABAJO, J.L. ; MARTÍN, Q.; PIORNO, A.; LABAJO, A.L.; MORALES, C.; ORTEGA M.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.; DIEGO LIAÑO, C.; FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE, HERNÁEZ, P.; GARMENDIA PEDRAJA, C. y RASILLA ÁLVAREZ, D. (Eds.), Publicaciones de la AEC, Serie A, nº 4, 313-321.
- LABAJO, J.L. ; LABAJO, A.L.; MARTÍN, Q.; PIORNO, A.; MORALES, C.; ORTEGA, M.T. (2006). Análisis del comportamiento reciente de los valores extremos de temperatura en la zona Madrid-Castilla La Mancha. En *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. CUADRAT, J.M.; SAZ, M.A.; VICENTE, S.M.; LANJERI, S.; DE LUIS, M. y GONZÁLEZ, J.C. (Eds.), Publicaciones de la AEC, Serie A, nº 5 , 157-165.
- LABAJO, J.L.; MARTÍN, Q.; LABAJO, A.L.; PIORNO, A.; ORTEGA, M.T.; MORALES, C. (2008). Recent Trends in the Frequencies of Extreme Values of Daily Maximum Atmospheric Pressure at Ground Level in the Central Zone of the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, **28**:1227-1238
- LEVENE, H. (1960). *Contributions to Probability and Statistics: Assays in Honour of Harold Hotelling* I.OLKIN et al (Eds.). Stanford University Press, Stanford, California. 278-292.
- LÓPEZ-DÍAZ, J.A. (2002). A Nonparametric Test for Trends in the Occurrence of Rare Events. *Journal of Climate*, **16**, 2602-2614
- MANTON, M.J.; DELLA-MARTA, P.M.; HAYLOCK, M.R.; HENNESSY, K.J.; NICHOLLS, N.; CHAMBERS, L.E.; COLLINS, D.A.; DAW, G.; FINET, A.; GUNAWAN, D.; INAPE, K.; ISOBE, H.; KESTIN, T.S.; LEFALE, P.; LEYU, C.H.; LWIN, T.; MAITREPIERRE, L.; OUPRASITWONG, N.; PAGE, C.M.; PAHALAD, J.; PLUMMER, N.; SALINGER, M.J.; SUPPIAH, R.; TRAN, V.L.; TREWIN, B.; TIBIG, I. and YEE, D. (2001). Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, **21**, 269-284.
- MORALES, C.G., ORTEGA, M.T.; LABAJO, J.L. and PIORNO, A. (2004). Recent trends and temporal behaviour of thermal variables in the region of Castilla-León (Spain). *Atmósfera*, **18**, 2, 71-90.
- ORTEGA, M.T; MORALES, C.; LABAJO, J.L.; LABAJO, A.L.; PIORNO, A.; MARTÍN, Q. (2006). Tendencias recientes en las frecuencias de los valores extremos de temperatura en la región de Castilla y León. En *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. CUADRAT, J.M.; SAZ, M.A.; VICENTE, S.M.; LANJERI, S.; DE LUIS, M. y GONZÁLEZ, J.C. (Eds.), Publicaciones de la AEC, Serie A, nº 5, 251-259.
- PETERSON, T.C. and EASTERLING, D.R. (1994). Creation of homogeneous composite climatological reference series. *International Journal of Climatology*, **14**, 671-679.
- PLUMMER, N.; SALINGER, M.J.; NICHOLLS, N.; SUPPIAH, R.; HENNESSY, K.J.; LEIGHTON, R.M.; TREWIN, B.; PAGE, C.M. and LOUGH, J.M. (1999). Changes in Climate Extremes over the Australian Region and New Zealand During the Twentieth Century. *Climatic Change*. **42**, 183-202.
- SALINGER, M.J. and GRIFFITHS, G.M. (2001). Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes. *International Journal of Climatology*, **21**, 1437-1452.
- SNEYERS, R. (1975). *Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones*. OMM, Nota Técnica 143, OMM-Nº415. 192 pp.