

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO RECIENTE DE LAS FRECUENCIAS DE LOS VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA EN LA ZONA MADRID-CASTILLA LA MANCHA

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

*Dpto. de Física General y de la Atmósfera. Universidad de Salamanca. **Dpto. de Estadística. Universidad de Salamanca. ***Dpto. de Geografía. Universidad de Valladolid.

RESUMEN

Con datos diarios de temperaturas máximas y mínimas, medidos en 8 observatorios de las regiones de Madrid y Castilla la Mancha, en el intervalo de tiempo de 1961 a 2003, se construyen las series de anomalías de las temperaturas máximas y mínimas diarias para cada una de ellas. A partir de esas series se obtienen las series regionales de anomalías correspondientes a las temperaturas máximas y mínimas en la zona de estudio. Establecemos como valores umbrales que determinan los extremos más bajos y más altos de temperaturas los de los percentiles P_{05} y P_{95} de las series de anomalías. En función de esos umbrales se construyen las series de frecuencias anuales de días con valores extremos de temperaturas. El análisis de tendencia de estas series indica que, tanto para las temperaturas máximas diarias como para las mínimas, la frecuencia de los extremos más bajos tiende a disminuir durante el intervalo de estudio y la de los más altos tiende a aumentar.

Palabras clave: Valores extremos, temperatura máxima, temperatura mínima, frecuencia, tendencias

ABSTRACT

Using a series of daily data of values maximum and minimum of temperature collected at 8 weather stations in Madrid and Castilla-La Mancha, from 1961 to 2003, the series of daily anomalies of maximum and minimum temperatures are constructed. With the series of anomalies the regional series corresponding to the maximum and minimum temperatures in study zone are constructed. The values thresholds that determine the lowest and higher extremes in temperature are those of the percentiles P_{05} and P_{95} of the series of anomalies. In function of these thresholds the series of annual frequencies of days with extreme values of anomalies are constructed. The analysis of trend of these series indicates that, as much for the daily maximum temperatures as for the minimum ones, the frequency of the lowest extremes decreased and that of the highest increased.

Key words: Extreme values, maximum temperature, minimum temperature, frequency, trends.

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura es el elemento del clima que, en principio, detecta mejor la existencia de un posible cambio climático, e influye, de forma clara, en el comportamiento de los demás. Los estudios del comportamiento de las variables climáticas, la temperatura entre ellas, realizados en épocas recientes, abordan usualmente la reconstrucción de series y sus cambios temporales (PETERSEN y EASTERLING, 1994; JONES y HULME, 1996; LABAJO y PIORNO, 1999; GALÁN *et al.*, 2001; JONES y MOBERG, 2003; entre otros).

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 (IPCC, 2002), que se refleja también a escala regional (MORALES *et al.*, 2004). Sin embargo no se discierne la aportación de la variación de los valores máximos y mínimos de temperatura a ese incremento.

En el Tercer Informe de Evaluación del Cambio Climático (IPCC, 2002) se indica la necesidad de estudiar el comportamiento de los eventos extremos de los distintos elementos del clima que, en principio, podrían ser los responsables de la evolución temporal que experimentan sus valores globales medios. Esto está siendo analizado en los últimos años (PLUMIER *et al.*, 1999; LÓPEZ, 2002; LABAJO *et al.*, 2004).

En el caso de la temperatura es lógico pensar que la tendencia temporal de su valor medio va a quedar determinada por el comportamiento temporal de sus valores máximos y mínimos. Esto puede ponerse de manifiesto por la evolución temporal de la frecuencia anual que presentan los valores extremos de ambas variables. En esta línea ya se están realizando estudios desde hace algunos años (DOMONKOS *et al.*, 2003). Para tratar de confirmar si esto se cumple para zonas relativamente poco extensas, en este trabajo vamos a realizar un análisis del comportamiento de los valores extremos de temperatura en las comunidades de Madrid y Castilla la Mancha (Meseta Sur española), a partir de series de datos diarios obtenidas en las estaciones meteorológicas principales de las redes sinóptica y climatológica del INM en esa zona (figura 1).

2. DATOS

Los datos empleados para este estudio, proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología, son datos de observación de temperaturas máxima y mínima diarias, obtenidos en los observatorios de 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 de 1961-2003. Se ha elegido este intervalo de tiempo por ser en el que las series de datos presentan menos huecos.

Las series de datos se han depurado, aplicando una serie de filtros lógicos, y los huecos así generados, junto con los inicialmente existentes, se han rellenado mediante técnicas de regresión lineal, eliminando las series de aquellas estaciones que presentaran más de un 20% de huecos, o no se puede garantizar su homogeneidad. Este criterio ha obligado a eliminar las series de Albacete y de Guadalajara. Las correlaciones entre las series de los diferentes observatorios son muy altas, superando el coeficiente de correlación, en todos los casos, el valor de 0,90 y llegando en algunos al 0,99, lo que garantiza la calidad de las series de datos

definitivas. La homogeneidad de las series así obtenidas se ha comprobado con la metodología al uso (test de Levene; LEVENE, 1960).

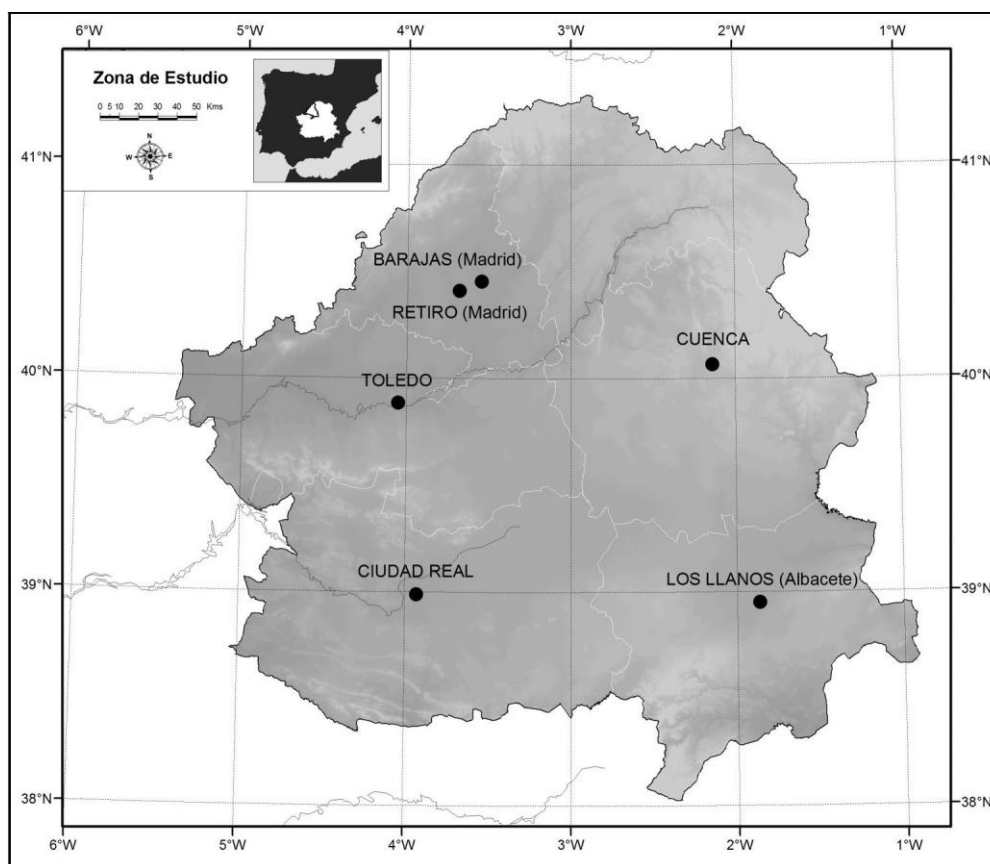


Fig. 1: Zona de estudio

Con esta base de datos diarios se han construido las series de anomalías diarias de las temperaturas máximas (ATMA) y mínimas (ATMI), entendiéndose por anomalía la diferencia respecto de la media. Para ello se han calculado las diferencias entre los valores diarios de las series de trabajo y los valores medios diarios, obtenidos como promedio, para cada uno de los 365 días del año, de los datos de las series originales.

El hecho de considerar las series de valores de anomalías diarias en lugar de las series de valores diarios de temperatura máxima y mínima se debe, fundamentalmente, a dos causas: En primer lugar, a que dichos valores no dependen de la altitud de los observatorios y, por lo tanto, se pueden comparar directamente unos con otros sin necesidad de hacer ningún tipo de corrección, lo que no sucede en el caso de los valores de temperatura observados. Pero, además, el utilizar los datos de anomalías en lugar de los datos diarios de observación, 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 en la Meseta Sur española. Para construir estas series empleamos las de los observatorios seleccionados, utilizando el método del inverso de la distancia (JONES y HULME, 1996), en una celda comprendida entre los 38° y 41° de latitud N y los 1° y 5° de longitud W.

3. UMBRALES DE EXTREMOS

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

Los umbrales de valores extremos de temperatura se pueden fijar de distintas maneras, en algunos casos un tanto arbitrarias, como por ejemplo considerar los 0° C como el umbral inferior de los valores extremos de temperatura mínima de invierno. 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, tanto para determinar intervalos de clase en las series de variables (GARCÍA-HERRERA *et al.*, 2003) como para determinar los umbrales de valores extremos de variables climáticas (MANTON *et al.*, 2001; SALINGER y GRIFFITHS, 2001; DEGAETANO y ALLEN, 2002; GRIFFITHS *et al.*, 2003; LABAJO *et al.*, 2004).

Los percentiles que se van a utilizar en este trabajo son el P₀₅, como umbral de los valores extremos más bajos, y el P₉₅ como umbral de los valores extremos más altos. Se puede justificar en algún modo la elección de los percentiles indicados para fijar los umbrales de valores extremos por la definición de un parámetro estadístico denominado *trimedia*.

La trimedia se define como la media que se obtiene excluyendo de las series de valores los que se encuentran por debajo del valor del percentil P₀₅ y los que superan el del percentil P₉₅. De esta manera se elimina la fuerte influencia que los valores extremos tienen en la media y se evita así la distorsión de este estadístico.

Los valores que se obtienen de estos umbrales, para las series de trabajo se muestran en la tabla 1.

Variables	P ₀₅ (°C)	P ₉₅ (°C)
Anomalías de Tmax. (ATMA)	-6,2	5,8
Anomalías de Tmin. (ATMI)	-4,8	4,6

Tabla 1: VALORES UMBRALES DE EXTREMOS DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA EN LA MESETA SUR ESPAÑOLA, EN EL INTERVALO 1961-2003

Para poder tener una idea de los valores de temperaturas máximas y mínimas que se pueden considerar como extremos, se determinan los valores de los mismos percentiles en las series regionales de temperaturas máxima y mínimas diarias, que corresponden al intervalo de tiempo de trabajo. Estos umbrales de temperatura se dan en la tabla 2 y son, por tanto, los umbrales a partir de los cuales las temperaturas máximas y mínimas diarias se califican de extremadamente altas o extremadamente bajas, en la Meseta Sur española y para el intervalo 1961-2003.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO RECIENTE DE LAS FRECUENCIAS DE LOS VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA EN LA ZONA MADRID-CASTILLA LA MANCHA

Variables	P ₀₅ (°C)	P ₉₅ (°C)
Temperatura máxima	8,1	34,5
Temperatura mínima	-2,0	18,3

Tabla 2. VALORES UMBRALES DE EXTREMOS DE TEMPERATURAS EN LA MESETA SUR ESPAÑOLA, PARA EL INTERVALO 1961-2003

4. RESULTADOS

En función de los umbrales establecidos en el apartado anterior, y a partir de la serie regional de anomalías de temperatura máxima diaria en Meseta Sur española, se construyen las series de frecuencias estacionales, y anuales, de anomalías (FATMAINV, FATMAPRI, FATMAVER, FATMAOTO, FATMAAÑO) por encima del valor 5,8 °C y por debajo del valor -6,2 °C, mediante un software diseñado para ello.

De la misma manera se establecen, para las series de anomalías diarias de temperatura mínima, las series de frecuencias anuales de anomalías (FATMI) por encima del valor 4,6 °C y por debajo del valor -4,8 °C.

Las secuencias temporales de frecuencias anuales de valores extremos de ATMA y ATMI se muestran en las figuras 2 y 3. En estas gráficas se han incluido las rectas de ajuste lineal, para poner en evidencia las posibles tendencias

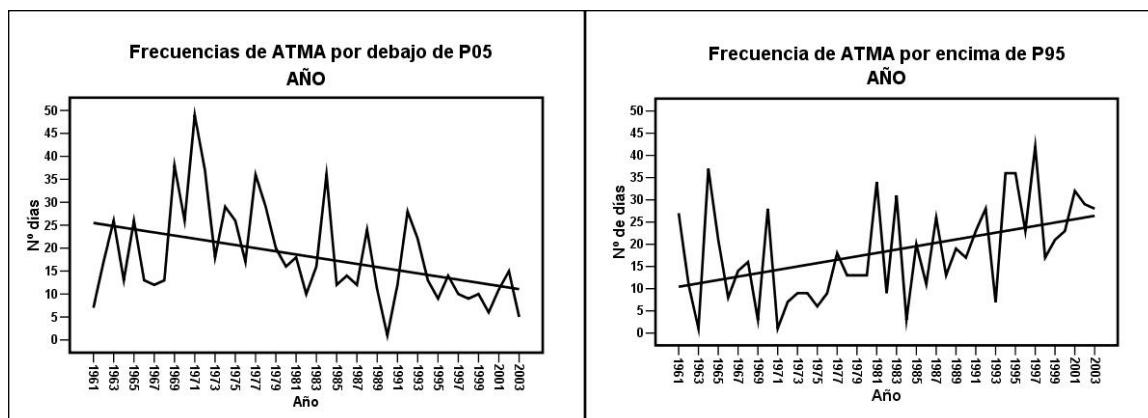


Fig. 2: Evolución temporal de las frecuencias anuales de valores extremos de ATMA en la Meseta Sur española (intervalo 1961-2003)

Para comprobar si las series de frecuencias de extremos, estacionales y anuales, presentan tendencias significativas, al menos a un grado de confianza del 95%, vamos a aplicarlas el test de Spearman (SNEYERS, 1975). Los resultados se muestran en la tabla 3.

De los valores que aparecen en la tabla 3 se ve que las tendencias de los valores extremos de ATMA son significativas a distintos grados de confianza, superiores al 94% salvo en los casos de extremos menores en invierno y mayores y menores en otoño, aunque el signo de la

tendencia de los valores extremos más bajos es negativo en todos los casos y en el caso de los valores más altos es positivo salvo en otoño

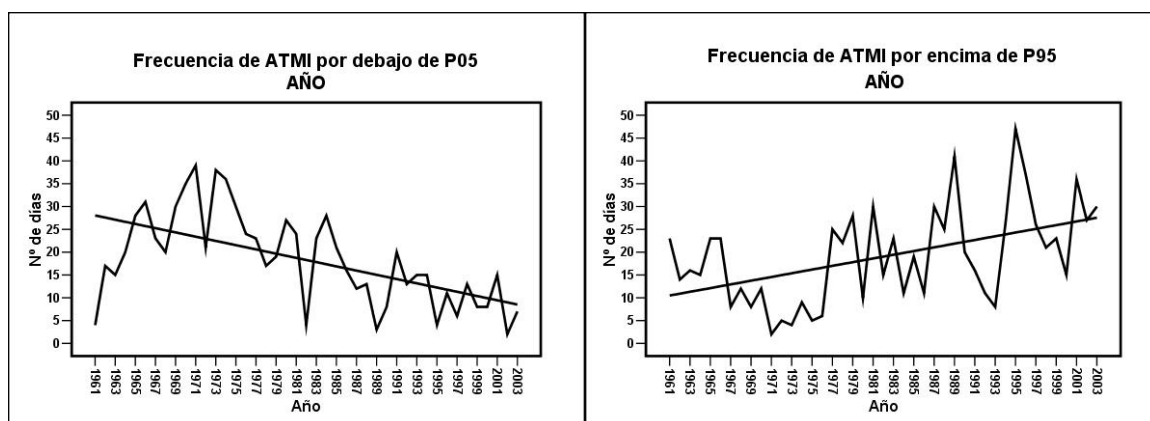


Fig. 3: Evolución temporal de las frecuencias anuales de valores extremos de ATMI en la Meseta Sur española (intervalo 1961-2003)

	Variables	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Año
ATMA<P ₀₅	r _s	-,177	-,355(*)	-,343(*)	-,113	-,469(**)
	α _s	,262,	,019	,025	,469	,002
	Tendencia	NT	D	D	NT	D
ATMA>P ₉₅	r _s	,560(**)	,384(*)	,289	-,046	,452(**)
	α _s	<10 ⁻³	,011	,060	,768	,002
	Tendencia	C	C	NT	NT	C

Tabla 3: TENDENCIAS DE LAS FRECUENCIAS ESTACIONALES Y ANUALES DE ATMA INFERIORES O SUPERIORES A LOS UMBRALES P₀₅ y P₉₅. (C = CRECIENTE, D = DECRECIENTE, NT = NO TENDENCIA. (**) GRADO DE CONFIANZA 99%. (*) GRADO DE CONFIANZA 95%).

En consecuencia, durante el otoño los valores extremos de temperatura no presentan tendencia en su comportamiento en el intervalo de estudio, y sus tendencias anuales vienen determinadas fundamentalmente por las de primavera y verano, aunque en el caso de los extremos más altos el invierno también influye.

Las tendencias que se obtienen indican que en primavera y verano los extremos más bajos de ATMA presentan una tendencia decreciente, mientras que los extremos más altos muestran una clara tendencia creciente excepto en otoño. En el caso anual, los valores extremos más bajos de ATMA presentan tendencia claramente decreciente y los más altos la presentan claramente creciente. Es decir, de forma general, la tendencia es a incrementarse el número de días al año con temperaturas máxima más altas, y disminuir el número de días al año con temperaturas máximas más bajas, lo que podría indicar un posible incremento en el número de días despejados (posible incremento de las situaciones anticiclónicas) a expensas de la

disminución del número de días nublados o cubiertos (asociados a situaciones ciclónicas), a lo largo del año.

Los resultados de la aplicación del test de Spearman a las series de frecuencias anuales de anomalías extremas de temperatura mínima se muestran en la tabla 4.

	VARIABLES	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Año
ATMI<P ₀₅	r _s	-,303(*)	-,521(**)	-,295	-,455(**)	-,607(**)
	α _s	,050	<10 ⁻³	0,055	,002	<10 ⁻³
	Tendencia	D	D	NT	D	D
ATMI>P ₉₅	r _s	,236	,271	,690(**)	,203	,477(**)
	α _s	,128	0,79	<10 ⁻³	,192	0,01
	Tendencia	NT	NT	C	NT	C

Tabla 4: TENDENCIAS DE LAS FRECUENCIAS ESTACIONALES Y ANUALES DE ATMI INFERIORES O SUPERIORES A LOS UMBRALES P₀₅ y P₉₅. (C = CRECIENTE, D = DECRECIENTE, NT = NO TENDENCIA. (**) GRADO DE CONFIANZA 99%. (*) GRADO DE CONFIANZA 95%).

Al igual que en el caso de las frecuencias anuales de las ATMA, las tendencias de las ATMI son significativas a un grado de confianza mayor que el 99%, siendo decreciente para el caso de las anomalías más bajas y creciente para el de las más altas. Los resultados estacionales indican que, en el caso de los valores más bajos de ATMI, la tendencia de sus frecuencias en cada una de las estaciones del año es decreciente, a un grado de confianza superior al 94%, pero los valores más altos de ATMI sólo presentan tendencia creciente, a un grado de confianza superior al 99%, en el verano.

Las tendencias obtenidas indican que, a lo largo del intervalo de tiempo considerado, el número anual de casos de anomalías de temperatura mínima diaria más bajas disminuye, mientras que los casos de anomalías de temperatura mínima diaria más altas aumentan. A estas tendencias contribuyen, en el primer caso, el conjunto de las cuatro estaciones del año, mientras que en el segundo solamente contribuye el verano.

5. CONCLUSIONES

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

- En la Meseta Sur española, la tendencia de la frecuencia anual de los valores extremos más altos de las anomalías de las temperaturas máximas diarias (ATMA), desde 1961 a 2003, es creciente a un grado de confianza superior al 99%, y la tendencia de la frecuencia de los valores extremos más bajos es decreciente al mismo grado de confianza. Este comportamiento viene determinado por los de la primavera y verano en el caso de los extremos más bajos, y por los del invierno, la primavera y, en menor medida, el verano.

- La frecuencia anual de casos extremos más altos de la serie de anomalías de las temperaturas mínimas diarias (ATMI) presentan una tendencia creciente, entre 1961 y 2003, mientras que la frecuencia anual de casos extremos más bajos la presentan decreciente, a un grado de confianza similar al de ATMA (superior al 99%)
- En el caso de ATMI, las tendencias de las frecuencias anuales están marcadas, en el caso de los extremos más bajos, por las de todas las estaciones del año, aunque en el caso de los extremos más altos la influencia se reduce exclusivamente al verano.
- Dada la concordancia de los resultados obtenidos con los de otros trabajos previos (SALINGER y GRIFFITHS, 2001), se puede aceptar que la tendencia de la temperatura media anual, en el intervalo 1961-2003, se debe fundamentalmente a un aumento, tanto en el caso de las temperaturas máximas diarias como de las mínimas, de la frecuencia anual de los casos extremos más altos y a una disminución de la frecuencia anual de los casos extremos más bajos. Esto puede indicar un incremento de los días extremadamente calurosos y una disminución de los días extremadamente fríos.
- Una hipótesis que podría explicar las tendencias observadas es considerar la posibilidad de un incremento en la frecuencia con que las situaciones de estabilidad atmosférica afectan a la península Ibérica a lo largo del año, lo que supondría un posible incremento en el número de días al año con situaciones anticiclónicas y, por tanto, una posible disminución del número de días de situaciones ciclónicas.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación REN2003-01866, financiado por el MCT. Los autores agradecen al INM la puesta a su disposición de los datos que han permitido realizarlo.

7. REFERENCIAS

- DOMONKOS P.; KYSELÝ, J.; PIOTROWICZ, K.; PETROVIC, P y 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, pp. 987-1010.
- DeGAETANO, A.T. y ALLEN, R.J. (2002). "Trends in Twentieth-Century Temperature Extremes across the United States." *Journal of Climate*, 15, pp. 3188-3205.
- GALÁN, E.; CAÑADA, R.; FERNÁNDEZ, F. y CERVERA, B. (2001). Annual temperature evolution in the Southern Plateau of Spain from the construction of regional climatic time series. En *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, pp. 235-241.

- GRIFFITHS, G.M.; SALINGER, M.J. y 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, 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. y HULME, M. (1996). "Calculating regional climate time series for temperature precipitation: Methods and illustrations." *International Journal of Climatology*, 16, pp. 361-377.
- JONES, P.D. y 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*, RASO, J.M. y MARTÍN-VIDE (Eds.), Publicaciones de la AEC, serie A nº 1, pp. 259-266.
- LABAJO, J.L. ; MARTÍN, Q.; PIORNO, A.; LABAJO, A.L.; MORALES, C. y 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, HERNÁNDEZ, P.; GARMENDIA PEDRAJA, C. y RASILLA ÁLVAREZ, D. (Eds.), Publicaciones de la AEC, Serie A, nº 4 , pp. 313-321.
- 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, pp. 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. y YEE, D. (2001). "Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998." *International Journal of Climatology*, 21, pp. 269-284.
- MORALES, C.G., ORTEGA, M.T.; LABAJO, J.L. y PIORNO, A. (2004). "Recent trends and temporal behavior of thermal variables in the region of Castilla-León (Spain)." *Atmósfera*, 18, 2, pp. 71-90.
- PETERSON, T.C. y EASTERLING, D.R. (1994). "Creation of homogeneous composite climatological reference series." *International Journal of climatology*, 14, pp. 671-679.
- PLUMMER, N.; SALINGER, M.J.; NICHOLLS, N.; SUPPIAH, R.; HENNESSY, K.J.; LEIGHTON, R.M.; TREWIN, B.; PAGE, C.M. y 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. y GRIFFITHS, G.M. (2001). "Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes." *International Journal of Climatology*, 21, pp. 1437-1452.
- SNEYERS, R. (1975). *Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones*. OMM, Nota Técnica 143, OMM-Nº415. 192 pp.