

PRIMEROS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS VALORES EXTREMOS DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA A NIVEL DEL SUELO, EN CASTILLA Y LEÓN

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

* *Departamento de Física General y de la Atmósfera, Universidad de Salamanca*

** *Departamento de Estadística, Universidad de Salamanca*

*** *Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid*

RESUMEN

A partir de series de datos diarios de valores máximos y mínimos de la presión atmosférica a nivel del suelo en 9 observatorios de Castilla y León, se establecen las series de anomalías diarias de presión máxima y mínima en cada uno de ellos, para el intervalo de tiempo 1974-1995, y se construyen las series regionales de dichas anomalías para toda la zona de estudio. Se establecen como umbrales de valores extremos de las series regionales de anomalías los valores correspondientes a los percentiles P_{05} y P_{95} . Se construyen las series de frecuencias anuales de días con valores de las anomalías por debajo y por encima de los valores umbrales.

Del análisis de tendencia de las series de frecuencias anuales de valores extremos de anomalías de presión diaria máxima y mínima se deduce que los valores más pequeños de presión máxima diaria presentan una frecuencia anual decreciente, mientras que los valores más grandes presentan una frecuencia creciente. En el caso de la presión mínima diaria, los resultados son similares, los valores más pequeños presentan una frecuencia anual decreciente y los más grandes crecientes.

Palabras clave: Presión, anomalías de presión, valores extremos, frecuencias, tendencia.

ABSTRACT

Starting from series of daily data of maximum and minimum values of the atmospheric pressure at level of the floor in 9 observatories of Castile and León, the series of daily anomalies of maximum and minimum pressure are built in each one of them, for the interval of time 1974-1995. They are built, also, the regional series of these anomalies for the whole study area. The values corresponding to the percentiles P_{05} and P_{95} settle down as thresholds of extreme values of the regional series of anomalies. The series of annual frequencies of days are built with values of the anomalies for under and above the values thresholds.

Of the analysis of tendency of the series of annual frequencies of extreme values of anomalies of pressure daily maximum and minimum it is deduced that the smallest values in daily maximum pressure present a decreasing trend of annual frequency, while the biggest values present a increasing trend of the frequency. In the case of the daily minimum pressure, the results are similar, the smallest values present a falling annual frequency and the biggest growing.

Key words: Pressure, anomalies of pressure, extreme values, frequencies, trends.

1. INTRODUCCIÓN

La presión atmosférica es uno de los elementos más importantes del clima, ya que es determinante en el comportamiento de los demás. Los estudios específicos de la presión atmosférica al nivel del

mar, en el campo del clima y cambio climático, abordan usualmente la reconstrucción de series (BÄRRING *et al.*, 1999; ALLAN *et al.*, 2002), sus cambios temporales (ZVERYAEV, 1999; PINTO *et al.*, 2001) y su relación con otras variables climáticas (KUTIEL y PAZ, 1998; GOUIRAND y MORON, 2003; ZANGVIL *et al.*, 2003).

En el Tercer Informe de Evaluación del Cambio Climático (IPCC, 2002) se incide especialmente en la necesidad de estudiar el comportamiento de los eventos extremos de los distintos elementos del clima. En este trabajo trataremos de realizar un primer análisis del comportamiento de los valores extremos de la presión atmosférica a nivel del suelo, a partir de series de datos diarios obtenidas en las estaciones de primer escalón de las redes sinóptica y climatológica del INM en Castilla y León.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos empleados para este estudio, proporcionados por el INM, son datos de observación de presiones máxima y mínima diarias, obtenidos en los observatorios de Ávila, Burgos (Villafría), León (Virgen del Camino), Palencia, Salamanca (Matacán), Segovia, Soria, Valladolid, Valladolid (Villanubla) y Zamora. (Fig. 1).

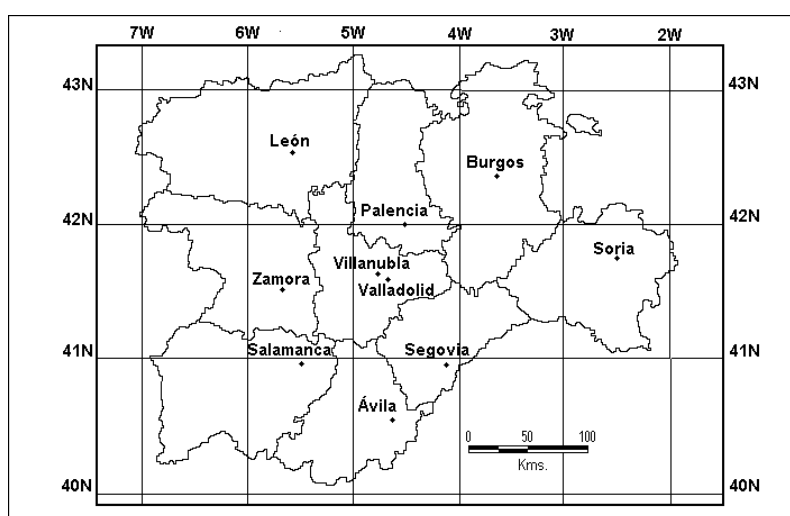


Fig. 1. Situación de los observatorios de trabajo

Estos observatorios pertenecen a las redes sinóptica y/o climatológica del INM en Castilla y León. La disponibilidad de datos de estos observatorios, en el momento actual, nos obligan a considerar un intervalo de tiempo relativamente pequeño, de 1965-1995. Por otra parte, las series de datos están incompletas, fundamentalmente en los primeros años, en los que, en algunas estaciones, hay ausencia de datos de años completos.

Para que los resultados a obtener puedan ser considerados al menos como orientativos, impondremos las condiciones de que las series de trabajo sean de la misma longitud y que el porcentaje de huecos no exceda en ninguna de ellas del 15%. En consecuencia, es necesario

reducir el intervalo de tiempo de las series disponibles al comprendido entre 1974 y 1995. Así mismo, las condiciones precedentes obligan a desestimar las series de Palencia y Zamora, en las que el porcentaje de huecos supera ampliamente el límite establecido. Así mismo se han eliminado los datos correspondientes al día 29 de febrero de los años bisiestos. Las series de datos de trabajo serán, por tanto, las correspondientes a los observatorios de Ávila, Burgos, León, Salamanca, Segovia, Soria, Valladolid y Valladolid (Villanubla), que cubren suficientemente la zona de trabajo, y cuya longitud, una vez efectuado el proceso de relleno de lagunas, es de 8.030 datos cada una, correspondientes al intervalo de tiempo 1974-1995.

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. Las correlaciones entre las series de los diferentes observatorios son muy altas, superando el coeficiente de correlación, en todos los casos, el valor de 0,95 y llegando en algunos al 0,99. Se ha comprobado la homogeneidad de las series mediante la metodología al uso.

Con esta base de datos diarios se han construido las series de anomalías diarias de las presiones máximas ($an(p)_{max}$) y mínimas ($an(p)_{min}$). Para ello se han calculado las diferencias de los valores diarios de las series de trabajo con los valores medios diarios, obtenidos como promedio para cada uno de los 365 días del año, de los datos de las series originales (1965-1995).

El hecho de considerar las series de valores de anomalías diarias en lugar de las series de valores diarios de presiones 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 presión. 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 presión.

A partir de estas series de anomalías se construyen las series regionales correspondientes a las presiones máximas y mínimas en Castilla y León. 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 40° y 43° de latitud N y los 2° y 7° de longitud W. De acuerdo con este método, la anomalía de presión en el centro de la celda vendrá dada por

$$an(p)_r = \frac{\sum_1^n d_m an(p)_m}{\sum_1^n d_m}$$

siendo $an(p)_r$ la anomalía de presión ponderada en el centro de la celda, $an(p)_m$ la anomalía de presión correspondiente a cada estación, y d_m la distancia desde cada estación al centro de la celda.

3. UMBRALES DE VALORES EXTREMOS

A partir de las series regionales de anomalías se van a establecer los umbrales que permitan definir los valores extremos de anomalías, tanto para los valores más pequeños como para los más grandes, en las series correspondientes a las presiones máximas como a las mínimas.

Para ello vamos a considerar dos criterios diferentes. El primero consiste en usar como valores umbrales de los casos de anomalías de presión más altas y más bajas los que se obtienen sumando, o restando, al valor medio de las anomalías para cada serie de valores la desviación típica correspondiente ($\mathbf{anp} \leq \bar{\mathbf{an}} - \sigma$; $\mathbf{anp} \geq \bar{\mathbf{an}} + \sigma$).

El segundo consiste en determinar los valores umbrales de las anomalías de presión más altas y más bajas mediante la consideración de percentiles, criterio este ampliamente empleado por los investigadores tanto para determinar 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 (SUPPIAH Y HENNESSY, 1998; BRUNETTI *et al.*, 2001; GRIFFITHS *et al.*, 2003).

Los percentiles utilizados para determinar umbrales de valores extremos de variables climáticas son diferentes en función, entre otras causas, de la variabilidad de cada una de las variables. Normalmente, para los extremos más bajos los percentiles considerados oscilan entre el P₀₁ y el P₁₀, y para los extremos más altos entre el P₉₀ y el P₉₉. En este estudio se van a utilizar los percentiles P₀₅, como umbral de los valores extremos más bajos, y 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 propia definición de la *trimedia*, que es una media establecida para una serie de valores excluidos los que se encuentran por debajo del umbral marcado por el P₀₅ y los que superan el marcado por el P₉₅, para, de esta manera, eliminar la fuerte influencia que los valores extremos tienen en la media y evitar así la distorsión de este estadístico.

A partir de las series de anomalías de presiones máximas y mínimas diarias, la aplicación a estas series de cada uno de los dos criterios para la determinación de umbrales de valores extremos, nos proporciona los valores umbrales, por debajo, o por encima, de los cuales las anomalías diarias de presión se van a considerar como valores extremos, o, lo que es lo mismo, como valores de presión extremadamente bajos o extremadamente altos. Los valores de estos umbrales, y los correspondientes a los percentiles 10 y 90, para las series de trabajo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores umbrales de extremos de anomalías de presión considerando los percentiles P₀₅ y P₉₅, P₁₀ y P₉₀, y $\mathbf{anp} \leq \bar{\mathbf{an}} - \sigma$, $\mathbf{anp} \geq \bar{\mathbf{an}} + \sigma$, para el intervalo de tiempo 1974-1995

Variables	P ₀₅	P ₉₅	P ₁₀	P ₉₀	$\bar{\mathbf{an}} - \sigma$	$\bar{\mathbf{an}} + \sigma$
Anomalías de pmax.	-11,47	10,12	-7,89	7,85	-6,21	6,63
Anomalías de pmin.	-9,88	8,82	-6,72	6,79	-5,36	5,72

Como se puede observar, los umbrales que se obtienen para los percentiles P_{10} y P_{90} están muy próximos a los que se obtienen con el criterio de la desviación típica. Los umbrales que se obtienen para los percentiles P_{05} y P_{95} restringen mucho más que los obtenidos para los otros dos criterios, los casos extremos de valores de anomalías de presión.

Este hecho, junto con el criterio de la *trimedia*, lleva a seleccionar los umbrales definidos con el criterio de los percentiles P_{05} y P_{95} para establecer la frecuencia (nº de días) que presentan valores extremos de las series de anomalías de presiones diarias máxima y mínima.

4. RESULTADOS

En función de los umbrales establecidos en el apartado anterior, y desde la serie regional de anomalías de presión máxima diaria en Castilla y León, se construyen las series de frecuencias anuales de anomalías por encima del valor 10,12 hPa y por debajo del valor -11,47 hPa. La secuencia temporal de frecuencias así obtenidas desde 1974 a 1995 se muestra en la figura. 2. En las gráficas de la figura se incluyen, además las líneas de tendencia que muestran las dos series.

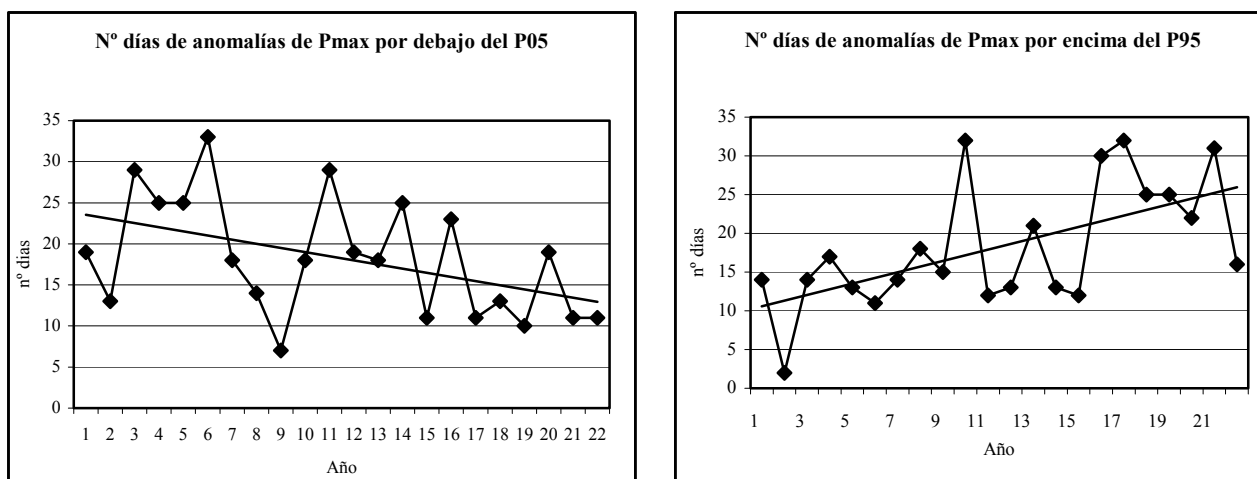


Fig. 2. Evolución temporal de la frecuencia anual de días con anomalías de presión máxima por debajo del umbral definido por el P_{05} , y por encima del umbral definido por el P_{95} , en el intervalo 1974-1995.

La línea recta es la línea de tendencia

De la misma manera se establecen, para las series de anomalías diarias de presión mínima, las series de frecuencias anuales de anomalías por encima del valor 8,82 hPa y por debajo del valor -9,88 hPa. Las gráficas de la figura 3 muestran, como en el caso de las frecuencias anuales de anomalías de presiones máximas diarias, el comportamiento temporal de las frecuencias anuales de valores extremos. También incluyen las gráficas las correspondientes líneas de tendencia

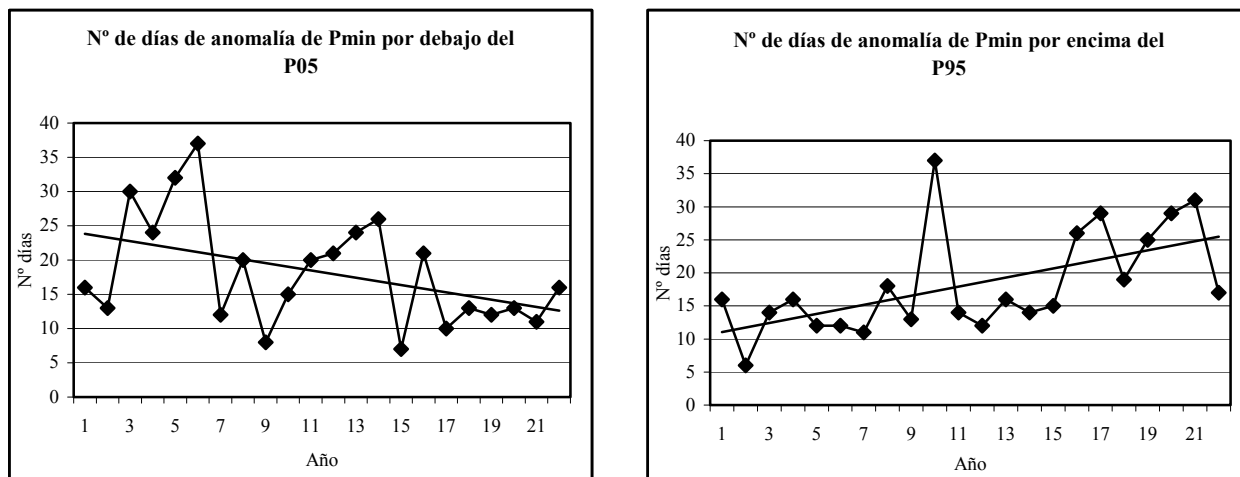


Fig. 3. Evolución temporal de la frecuencia anual de días con anomalías de presión mínima por debajo del umbral definido por el P_{05} , y por encima del umbral definido por el P_{95} , en el intervalo 1974-1995.

La línea recta es la línea de tendencia

Las líneas de tendencia incluidas en las gráficas muestran la existencia de tendencias, en todos los casos, durante el periodo de estudio. 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 las anomalías extremas, y a las de anomalías no extremas. Previamente, y para poder contrastar resultados, se aplica el test de tendencia a las series de anomalías de presión diaria máxima y mínima. Los resultados que se obtienen en este caso se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Tendencias de las anomalías de presión máxima y mínima diarias
(C = Creciente, D = decreciente, NT = no tendencia)

	r_s	$u(r_s)$	α_s	Nº datos	Tendencia
anpmax	0,0404	3,62	0,0002	8030	C
anpmin	0,0492	4,41	0,0001	8030	C

Los resultados que se obtienen muestran una tendencia creciente, tanto para las anomalías de presión máxima diaria como para las de presión mínima diaria. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por PINTO *et al.* (2001), para las series de presiones medias anuales, obtenidas a partir de valores medios mensuales de la presión, en el intervalo 1972-1994.

Los resultados del test de Spearman, al aplicarlo a las series de frecuencias de anomalías extremas de las presiones máximas diarias se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Tendencias de las frecuencias anuales de anomalías de presión máxima, inferiores, superiores o comprendidas entre los valores umbrales establecidos por P_{05} y P_{95}
(C = creciente, D = decreciente, NT = no tendencia)

	r_s	$u(r_s)$	α_s	Nº datos	Tendencia
$anp_{max} < P_{05}$	-0,4798	2,1987	0,02	22	D
$anp_{max} > P_{95}$	0,5375	2,4631	0,01	22	C
$p_{05} [anp_{max} [p_{95}$	-0,0844	0,3867	0,71	22	NT

De los datos de la tabla 3 se ve que las tendencias son significativas a niveles de confianza superiores al 95%, salvo en el caso de las frecuencias anuales de valores no extremos que no presentan tendencia. Por otra parte, eso significa que la frecuencia anual de los valores extremos más bajos de las anomalías de presión máxima, observados en Castilla y León, tiende a disminuir a lo largo del intervalo 1974-1995, mientras que la de los valores extremos más altos tiende a aumentar. Es decir, se tiende a que se incremente el número de días al año con presiones máxima más altas, y disminuya el número de días al año con presiones máximas más bajas, lo que supondría un posible incremento de las situaciones anticiclónicas a expensas de la disminución de 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 presión mínima se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Tendencias de las frecuencias anuales de anomalías de presión mínima, inferiores, superiores o comprendidas entre los valores umbrales establecidos por P_{05} y P_{95}
(C = creciente, D = decreciente, NT = no tendencia)

	r_s	$u(r_s)$	α_s	Nº casos	Tendencia
$anp_{min} < P_{05}$	-0,4110	1,8834	0,057	22	D
$anp_{min} > P_{95}$	0,6257	2,8756	0,002	22	C
$p_{05} [anp_{min} [p_{95}$	-0,0549	0,2516	0,808	22	NT

Al igual que en el caso de la presión máxima, las tendencias son significativas a un nivel de confianza prácticamente igual o mayor que el 95%, excepto para las frecuencias anuales de valores no extremos. En el caso de la serie de frecuencias anuales de valores de anomalías de presión mínima inferiores al umbral determinado por el P_{05} el nivel de confianza sea ligeramente inferior (94,3%). Así mismo, las tendencias obtenidas indican que, a lo largo del intervalo de tiempo de trabajo, el número anual de casos de anomalías de presión mínima diaria más bajas disminuye, mientras que los casos de anomalías de presión mínima diaria más altas aumentan.

5. CONCLUSIONES

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

- Las series de anomalías diarias de presión máxima y mínima presentan una tendencia creciente a un nivel de confianza superior al 99%.

- Para la serie de anomalías de las presiones máximas diarias, la tendencia de la frecuencia anual de los valores extremos más altos, a lo largo del intervalo de tiempo considerado, es creciente a un nivel de confianza superior al 95%, y la tendencia de la frecuencia de los valores extremos más bajos es decreciente.
- La frecuencia anual de casos extremos más altos de la serie de anomalías de las presiones mínimas diarias presentan una tendencia creciente, a lo largo del intervalo de tiempo de estudio, mientras que la frecuencia anual de casos extremos más bajos la presentan decreciente, aunque en este caso el nivel de confianza es ligeramente inferior al 95% (94,3%).
- Las series de frecuencias de valores no extremos (comprendidos entre los umbrales que delimitan los casos extremos) no presentan tendencia significativa en ninguno de los casos.
- A pesar de que sólo se han considerado 22 años de observaciones, dada la concordancia de los resultados con los de otros trabajos previos, se puede aceptar que la tendencia creciente de las anomalías de presiones diarias máxima y mínima, en el intervalo 1974-1995, se debe fundamentalmente a un aumento, tanto en el caso de las presiones máximas diarias como en el de las mínimas, de la frecuencia anual de casos extremos más altos y a una disminución de la frecuencia anual de los casos extremos más bajos. Es decir, en Castilla y León, durante el último cuarto del siglo XX, bien se han reforzado las situaciones anticiclónicas y/o se ha incrementado su frecuencia anual a expensas de las situaciones ciclónicas.

Los resultados de este trabajo podrán ser confirmados cuando se pueda disponer de series de datos de presión diaria de longitud suficiente, si bien, como ya se ha indicado antes, son, como mínimo, orientativos.

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

- ALLAN, R.J.; REASON, C.J.C.; CARROLL, P.; JONES, P.D. (2002). "A reconstruction of Madras (Chennai) mean sea level pressure using instrumental records from the late 18th and early 19th centuries". *Int. J. of Climatology*, 9, pp. 1119-1142.
- BÄRRING, L.; JÖNSSON, P.; ACHBERGER, C.; EKSTRÖM, M. and ALEXANDERSSON, H. (1999). "The lund instrumental record of meteorological observations: reconstruction of monthly sea-level pressure 1780-1997". *Int. J. of Climatology*, 19, pp. 1427-1443.
- BRUNETTI, M.; MAUGERI, M, and NANNI, T. (2001). "Changes in total precipitation, Rainy days and extreme events in northeastern Italy". *Int. J. of Climatology*, 21, pp. 861-871.
- GARCÍA-HERRERA, R. *et al.* (2003). "Precipitation trends in the Canary Islands". *Int. J. 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. J. of Climatology*, 23, pp. 847-869.
- GOUIRAND, I. and MORON, V. (2003). "Variability of the impact of the El Niño-southern oscillation on sea level pressure anomalies over the North Atlantic in January to March (1874-1996)". *Int. J. of Climatology*, 23, pp. 1549-1566.
- 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.
- KUTIEL, H. and PAZ, S. (1998). "Sea Level Pressure Departures in the Mediterranean and their Relationship with Monthly Rainfall Conditions in Israel". *Theor. Appl. Climatol.*, 60, pp. 93-109.
- JONES, P.D. and HULME, M. (1996). "Calculating Regional Climate Time Series for Temperature and Precipitation: Methods and Illustrations". *Int. J. of Climatology*, 16, pp. 361-377.
- LANA, X.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. (2003). "Trends affecting pluviometric indices at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) from 1917 to 1999". *Int. J. of Climatology*, 23, pp. 315-332.
- PINTO, M.; LABAJO, J.L. and PIORNO, A. (2001). "Atmospheric Pressure Trends between 1945 and 1994 in Castilla and León (Spain)". En: BRUNET INDIA, M. and LÓPEZ BONILLO (Eds). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer, pp. 239-249.
- SUPPIAH, R. and HENNESSY, K.J. (1998). "Trends in total rainfall, heavy rain events and number of days in Australia, 1910-1990". *Int. J. of Climatology*, 10, pp. 141-1164.
- SNEYERS, r. (1975). *Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones*. OMM, Nota Técnica 143, OMM- n° 415, 192 pp.
- ZANGVIL, A.; KARAS, S.; SASSON, A. (2003). "Connection between Eastern Mediterranean seasonal mean 500 hPa height and sea-level pressure patterns and the spatial rainfall distribution over Israel". *Int. J. of Climatology*, 23, pp. 1567-1576.
- ZVERYAEV, I.I. (1999). "Decadal and longer changes of the winter sea level pressure fields and related synoptic activity over the North Atlantic". *Int. J. of Climatology*, 11, pp. 1177-1185.

