

LA EVOLUCIÓN DE LA VARIABILIDAD PLUVIOMÉTRICA EN ANDALUCÍA Y SUS RELACIONES CON EL ÍNDICE DE LA NAO

M^a Fernanda PITA LÓPEZ, Juan Mariano CAMARILLO NARANJO
y Mónica AGUILAR ALBA
Departamento de Geografía Física y A.G.R. Universidad de Sevilla

RESUMEN

El trabajo analiza los cambios experimentados en los dos últimos siglos por la variabilidad pluviométrica en Andalucía (medida ésta a partir de los coeficientes de variación móviles de 30 años de los totales anuales de precipitación) y sus relaciones con el comportamiento del índice de la NAO. Los cambios en la variabilidad son evidentes y las relaciones con el índice de la NAO significativas y negativas.

Palabras clave: Variabilidad pluviométrica, Oscilación del Atlántico Norte, Andalucía.

ABSTRACT

The paper analyses changes in rainfall variability in Andalusia over the two last centuries (rainfall variability is measured by the moving coefficient of variation of annual precipitation over a 30 year period), and its relation with the North Atlantic Oscillation. There is a strong evidence of rainfall variability changes as well as significant and negative correlations between them and the NAO index.

Key words: Rainfall variability, North Atlantic Oscillation, Andalusia.

1. INTRODUCCIÓN

Una buena parte de los estudios relativos al cambio climático intenta identificar variaciones significativas en los parámetros de tendencia central de las series de observación, especialmente en el ámbito de las temperaturas y, menos frecuentemente, en el de las precipitaciones. Estos estudios comienzan ya a arrojar algunos resultados concluyentes en relación con la temperatura (por ejemplo, el incremento de los valores de las temperaturas mínimas, particularmente intenso en los medios urbanos), y algo más confusos en las precipitaciones, donde pueden aparecer conclusiones discordantes incluso dentro de un mismo ámbito espacial, como el ámbito mediterráneo (TABONY, 1981; DJELLOULY y DAGET, 1989; MAHERAS, 1988; BENITO, ORELLANA y ZURITA, 1994). Hay, sin embargo, muy pocos estudios que se centren en el análisis de la evolución de variabilidad de las series. El acercamiento más generalizado al tema se ha producido, indirectamente, a través de los análisis de fenómenos extremos (KUTIEL *et al.*, 1996), y esta misma metodología es la que está presente en los propios documentos del IPCC cuando aborda el análisis de las tendencias experimentadas por la variabilidad (HOUGHTON, 1996)

A pesar de ello, la variabilidad constituye un parámetro descriptivo de las series de observación, al mismo nivel que los parámetros de tendencia central, e incluso en algunos dominios espaciales, como el Mediterráneo, el comportamiento temporal de la variabilidad puede tener implicaciones socio-económicas de extraordinaria importancia. Por ejemplo, los periodos de baja variabilidad pluviométrica facilitan la gestión de los recursos hídricos, dado que en ellos la mayor parte de los años registran valores cercanos a la media anual de precipitaciones. Justamente lo contrario sucede cuando los valores de variabilidad se incrementan y se multiplica la presencia de valores extremos, propiciándose, de esta forma, la aparición de sequías e inundaciones con sus correspondientes impactos negativos (PITA, CAMARILLO y AGUILAR, 1998; AGUILAR y PITA, 1996).

Parecidas consideraciones pueden ser invocadas en relación con la oscilación del Atlántico Norte (NAO), la cual ha suscitado muchas investigaciones acerca de su relación con los totales anuales o estacionales de precipitación en diversos ámbitos espaciales (KALNICKY, 1987; LAMB y PEPLER, 1987; MAKROGIANNIS *et al.*, 1991; HURRELL, 1995; KARL, 1995; RUIZDELVIRA y ORTIZBEVIA, 1997), pero muy pocas encaminadas a esclarecer sus relaciones con los patrones temporales de la variabilidad pluviométrica. Todo ello parecía sugerir la necesidad de este tipo de estudios en nuestra región.

2. OBJETIVOS, FUENTES Y METODOLOGÍA

En consonancia con lo que acabamos de exponer, la comunicación persigue dos objetivos principales: por un lado, examinar la evolución de la variabilidad interanual de la precipitación en Andalucía, y por otro lado, verificar la posible relación existente entre esta evolución y el comportamiento de la circulación atmosférica en el Atlántico Norte.

Para este fin, hemos seleccionado los registros de ocho estaciones meteorológicas andaluzas, bien distribuidas a lo largo de la región y con una longitud mínima de registros de 60 años (Fig.1).

La homogeneidad de las series de precipitación fue comprobada mediante la aplicación del test del cúmulo de doble masa y el test de las ratios, obteniéndose en ambos casos resultados satisfactorios. Por otro lado, sólo tres series de datos presentaban lagunas en sus registros, las cuales fueron completadas mediante regresión lineal simple a partir de la estación vecina mejor correlacionada (en todos los casos el coeficiente de correlación superaba el valor de 0,8).

Para expresar la variabilidad pluviométrica hemos utilizado el coeficiente de variación móvil de los totales de precipitación, con un periodo de referencia de 30 años. En consecuencia, cada coeficiente se ha construido con 30 totales de precipitación, de los cuales 29 son comunes con los que componen el valor que le precede (los 29 primeros) y los otros 29 (en este caso, los últimos) con el valor que le sucede. La elección de este coeficiente para la expresión de la variabilidad responde a su condición de medida *standard* y, por tanto, comparable entre distintos observatorios. Por su parte, la elección del periodo de 30 años para la elaboración de los coeficientes, respondió a un doble motivo: en primer lugar, su coincidencia con el periodo recomendado por la OMM como periodo mínimo para la caracterización de las series climáticas; y en segundo lugar, la constatación de que a partir de esta duración los coeficientes de variación de las series comenzaban a estabilizarse (para periodos más cortos, los coeficientes presentaban continuas fluctuaciones, lo que reducía su representatividad)

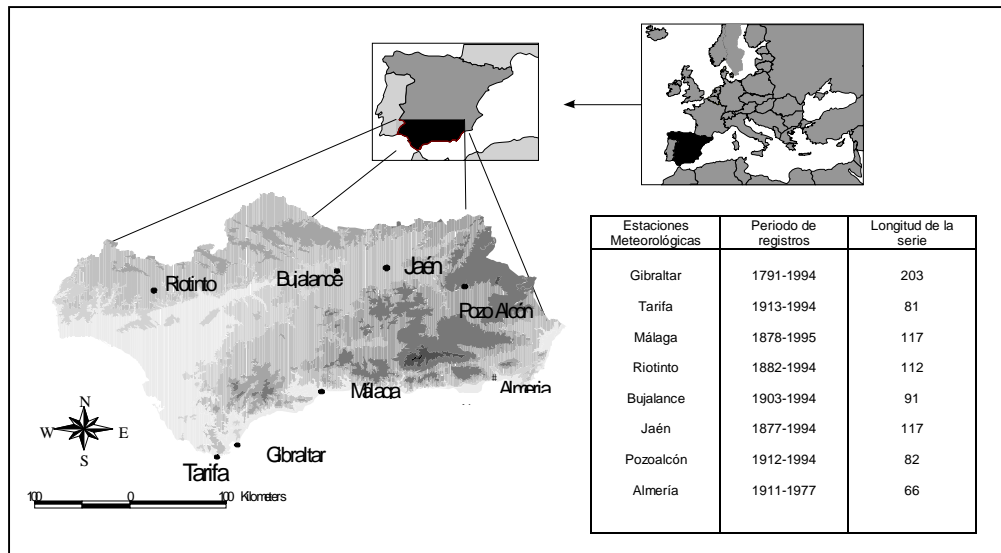


Figura 1. Área de estudio

Para el análisis de la circulación atmosférica en el Atlántico Norte hemos utilizado los índices mensuales de la NAO elaborados por Jim Hurrell para el periodo comprendido entre 1865 y 1995 a partir de las diferencias normalizadas de presión al nivel del mar existentes entre Ponta Delgada (Azores) y Stykkissholmer (Islandia) (HURRELL, 1995). Con estos datos mensuales obtuvimos los valores medios anuales y estacionales y, con ellos, elaboramos las correspondientes series de medias móviles y de desviaciones típicas móviles con periodos de referencia de 30 años. Estas dos series fueron las utilizadas para verificar las posibles conexiones existentes entre el comportamiento de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y el registrado por la circulación atmosférica en el Atlántico Norte.

3. RESULTADOS

3.1. El comportamiento de la variabilidad pluviométrica

La aplicación del método descrito a los observatorios andaluces muestra la existencia de cambios importantes en los valores del coeficiente de variación móvil para todas las series de precipitación estudiadas. Los valores más bajos se sitúan en torno al 20%, mientras que los máximos alcanzan el 35% - 40%, lo que genera una diferencia media entre mínimos y máximos de un 15% - 20%. Existen, no obstante, algunas estaciones que superan esos umbrales (Fig. 2).

Los valores más bajos de variabilidad interanual se producen en todos los casos a finales del siglo XIX. A partir de entonces hay un incremento generalizado de la misma, con valores máximos en la época actual para las estaciones situadas al sur de la región, y a mediados del s. XX para las estaciones del norte. En el observatorio de Gibraltar, que dispone de un periodo de observaciones

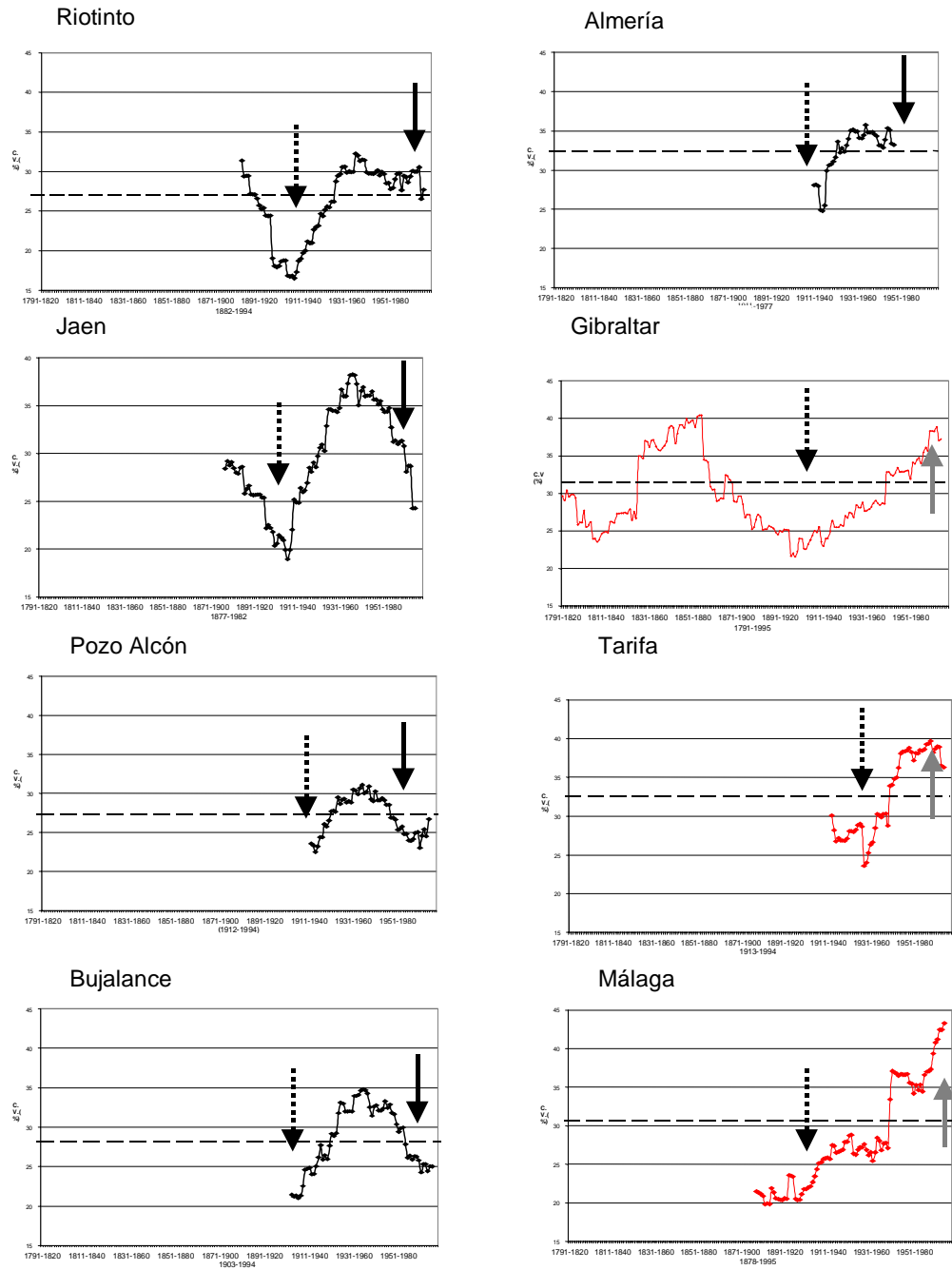


Figura 2. Coeficientes de variación móviles (30 años) de las estaciones seleccionadas

más prolongado, se detecta un segundo máximo a comienzos del siglo XIX y un segundo mínimo a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX.

Para precisar mejor la naturaleza de las diferencias registradas entre los observatorios situados al norte y al sur de la región, calculamos los coeficientes de correlación de Pearson existentes entre los coeficientes de variación móviles correspondientes a los distintos observatorios. Los resultados, efectivamente, confirmaron este comportamiento, mostrando una fuerte correlación interna en cada uno de estos dominios ($r > 0,8$) y, sin embargo, una correlación muy escasa ($r < 0,3$) entre las estaciones encuadradas en distintos ámbitos espaciales (fig. 3).

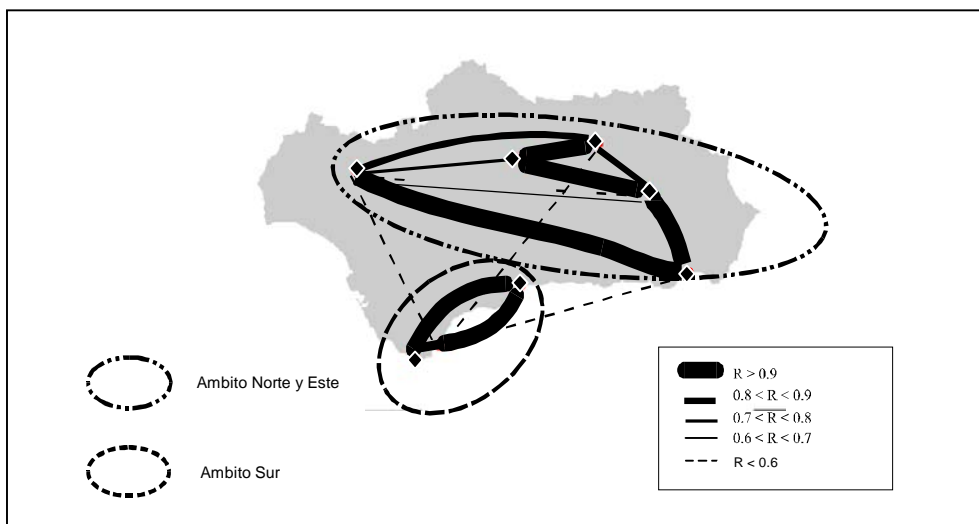
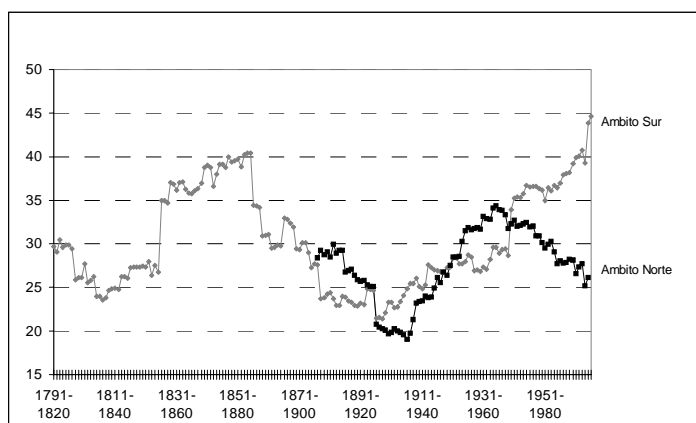
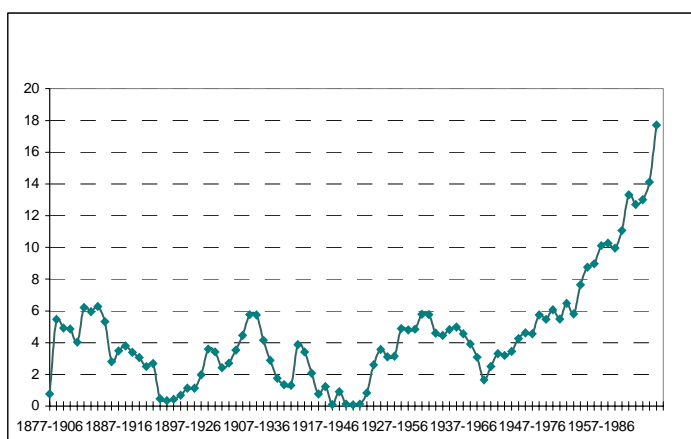


Figura 3. Coeficientes de correlación de Pearson (r) calculados entre los coeficientes de variación móviles de los totales anuales de precipitación de los observatorios estudiados

La identidad de cada uno de estos dominios queda claramente de manifiesto al calcular los valores medios de los coeficientes de variación móviles registrados en cada uno de ellos. Hasta la década de los años 50, ambos dominios describen comportamientos similares en el devenir temporal de su variabilidad interanual; sin embargo, a partir de esa fecha los observatorios situados al sur comienzan a experimentar un incremento en sus coeficientes de variación pluviométrica, mientras que las estaciones del norte asisten a su progresiva reducción. Lógicamente, las diferencias absolutas existentes entre los coeficientes de variación móviles de ambos dominios experimentan un proceso similar: se mantienen constantes en torno a un 3% hasta los años cincuenta y, a partir de entonces y hasta el final del periodo, se van incrementando hasta alcanzar valores de un 20% en los últimos años (fig. 4).



a) Coeficientes de variación móviles de las precipitaciones anuales de las áreas norte y sur de la región.



b) Diferencias absolutas entre los coeficientes de variación móviles de la precipitación anual de las áreas norte y sur de la región

Figura 4. Comportamiento pluviométrico diferencial de las áreas Norte y Sur de la región.

3.2. Las relaciones entre la variabilidad pluviométrica y el índice de la NAO

Para establecer las relaciones existentes entre la variabilidad pluviométrica en Andalucía y el comportamiento del índice de la NAO, hemos procedido en dos fases:

En la primera de ellas testamos la hipótesis de la existencia de relaciones entre el comportamiento de la variabilidad pluviométrica y el de la variabilidad del índice de la NAO. Para verificarla calculamos la matriz de correlación entre los valores del coeficiente de variación móvil de las precipitaciones y los de la desviación típica móvil del índice de la NAO, obteniéndose en todos los casos resultados desalentadores (Fig. 5).

En la segunda fase testamos la relación entre la variabilidad pluviométrica y los valores medios del índice de la NAO. En este caso, la matriz de correlación entre los coeficientes de variación móviles de la precipitación y las medias móviles del índice de la NAO produjo resultados satisfactorios (Fig.5)

Figura 5. Coeficientes de correlación entre los coeficientes de variación móviles de la precipitación y las medias móviles del índice de la NAO (izquierda) y las desviaciones típicas móviles del índice de la NAO

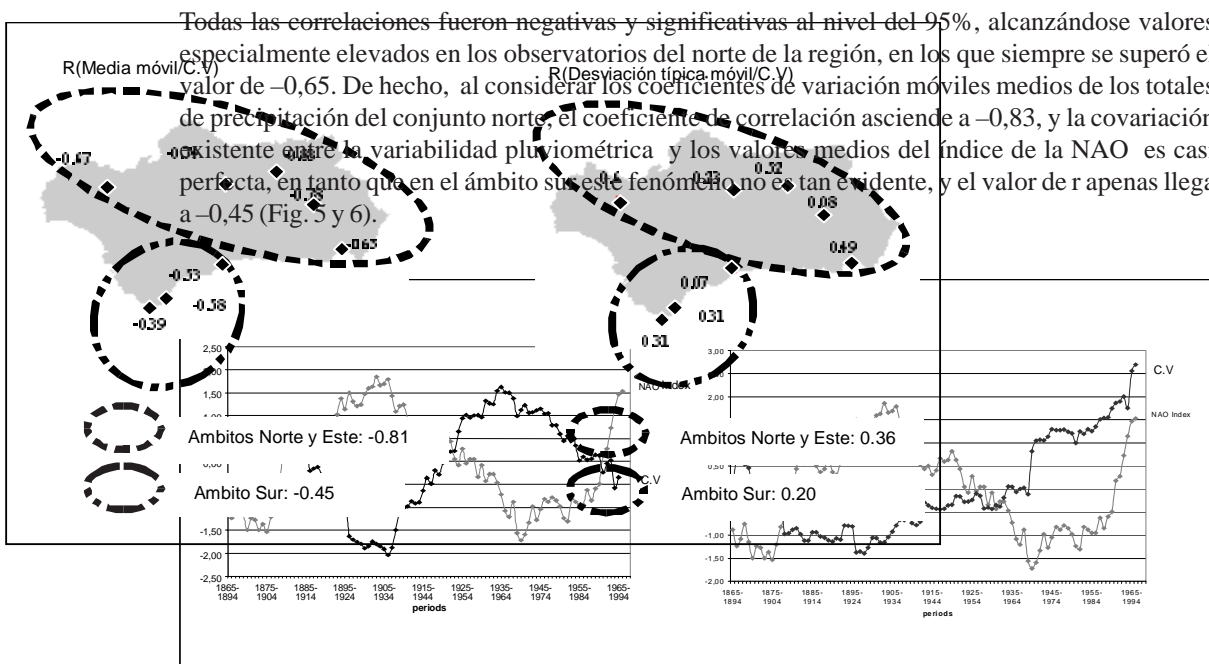


Figura 6. Covariación entre las medias móviles del índice de la NAO y los coeficientes de variación móviles de las precipitaciones registradas en el norte y el sur de Andalucía.

La causa de esta asociación entre periodos con alto valor de variabilidad pluviométrica y bajo valor medio de índice de la NAO puede estribar en el hecho de que en el área mediterránea, los periodos de fuerte variabilidad pluviométrica se suelen generar como consecuencia de la existencia de algunos años extraordinariamente lluviosos que disparan los valores de los coeficientes de variación. Estos elevados totales pluviométricos se producen en nuestro medio con posiciones meridiana de la corriente en chorro y, por tanto, con valores muy bajos de índice de la NAO (JOHNSON, 1989). La consecuencia de todo ello es esta fuerte correlación negativa entre la variabilidad pluviométrica de la región –especialmente en el norte- y los valores medios del índice de la NAO.

		PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	AÑO
COEFICIENTE DE VARIACIÓN MÓVIL DE LA LLUVIA ANUAL	AMBITO NORTE	-0,36	0,32	0,69	-0,71	-0,83
	AMBITO SUR	0,19	0,48	0,37	-0,81	-0,45

Cuadro I. Coeficientes de correlación existentes entre la variabilidad pluviométrica y el índice de la NAO a escala estacional

A escala estacional conviene destacar cómo es el comportamiento del índice de la NAO del invierno el que guarda mejor correlación con la variabilidad pluviométrica interanual en ambos dominios, siendo la correlación mucho menor en las restantes estaciones y presentando, incluso, valores positivos (**ver cuadro I**). Sin duda, es el predominio de las lluvias invernales el que explica en gran medida este fenómeno, idea que se corrobora, además, por el hecho de que es en el ámbito sudoeste, de claro predominio de lluvias invernales, donde esta correlación alcanza sus máximos valores.

4. CONCLUSIONES

De todo lo expuesto hasta ahora cabe destacar las siguientes conclusiones:

La variabilidad pluviométrica en Andalucía ha experimentado cambios importantes a lo largo de los dos últimos siglos, con periodos de baja variabilidad (finales del siglo XIX y comienzos del XX) y otros de variabilidad muy elevada (segunda mitad de los siglos XIX y XX). En este sentido podría hablarse de que la variabilidad pluviométrica es en sí misma, también, muy variable.

El ámbito sur de la región tiene una variabilidad pluviométrica más moderada y más estable en el tiempo que el ámbito norte, en el cual los valores de variabilidad son mucho más elevados e irregulares.

Desde finales del siglo XIX hasta la segunda mitad del siglo XX los valores de variabilidad pluviométrica son muy similares en el norte y el sur de la región. En los últimos años, sin embargo, se registra un progresivo distanciamiento entre ambos dominios por este concepto. Este distanciamiento se genera por un aumento de la variabilidad pluviométrica en el sudoeste de la región simultáneo a una disminución en el norte.

Existe una fuerte correlación negativa entre el comportamiento temporal de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y el comportamiento de los índices de la NAO. Así, los periodos de fuerte variabilidad pluviométrica registran valores bajos de índice de la NAO y viceversa.

Esta correlación es patente, sobre todo, en el norte de la región y especialmente en relación con los valores del índice de la NAO del invierno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, M. y PITA, M. F. (1996): "Evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía occidental: su repercusión en la gestión de los recursos hídricos", in MARZOL, M. V., DORTA, P. y VALLADARES, P. (Ed): "Clima y agua: la gestión de un recurso climático", Tabapress, La Laguna, 299-311.
- ALMARZA, C. *et al.* (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente.
- BENITO, A.; ORELLANA, P. y ZURITA, E. (1994): "Análisis de la estabilidad temporal de los patrones de precipitación en la Península Ibérica", in PITA y AGUILAR (Ed): "Cambios y variaciones climáticas en España. Universidad de Sevilla, 183-193.
- DJELLOULI, Y. y DAGET, PH. (1989): «Le climat méditerranéen, change-t-il? Précipitations de quelques stations algériennes», *Publications de l'AIC*, **2**, 227-232.
- HOUGHTON, J. T. *et al.* (1996): «Climate Change 1995. The Science of Climate change. Contribution of Working Group 1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change», Cambridge University Press.
- HURRELL, J. (1995): "Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation", *Science*, **269**, 676-679.
- JOHNSON, D. (1989): "Seasonal precipitation in Spain and atmospheric teleconnections", *XIV General Assembly of the European Geophysical Society*, Barcelona.
- KALNICKY, R. (1987): "Seasons, singularities, and climatic changes over the Midlatitudes of the Northern Hemisphere during 1899-1969", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **26**, 1496-1510.
- KARL, T. *et al.* (1995): "Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century", *Nature*, **377**, 217-220.
- KUTIEL *et al.* (1996): «Circulation and extreme rainfall conditions in the Eastern Mediterranean during the last century», *International Journal of Climatology*, **16**, 73-92.
- LAMB, P. y PEPPLER, R. (1987): "North Atlantic Oscillation: concept and application", *Bulletin American Meteorological Society*, **68**, 10, 1218-1225.
- MAHERAS, P. (1988): «Changes in precipitation conditions in the Western Mediterranean over the last century», *Journal of Climatology*, **8**, 179-189.

MAKROGIANNIS, P. *et al.* (1991): "Analysis of monthly zonal index values and long-term changes of circulation over the North Atlantic and Europe", *International Journal of Climatology*, **11**, 493-503.

PITA, M. F.; CAMARILLO, J. M. y AGUILAR, M. (1998): "L'évolution de la variabilité pluviométrique en Andalousie (Espagne)", en *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, **10**, 313-325.

RUIZDELVIRA, A. y ORTIZBEVIÁ, J.M. (1997): "Precipitation, drought and oceano: meteorological influences in the Spanish climate", *Proc. Of the Third Conference on Climate Variations*, 23-36.

TABONY, CH. (1981): «A principal component and spectral analysis of European rainfall», *Journal of Climatology*, **1**, 283-294.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto CLI96-1842-C05-05 del P.N.C.