

IMPACTO DE ÍNDICES CLIMÁTICOS EN LAS VARIACIONES DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN LOS MESES FEBRERO, MARZO Y ABRIL

C. RODRÍGUEZ PUEBLA*, A. H. ENCINAS**, M. D. FRÍAS DOMÍNGUEZ* y S. NIETO**

* *Dpto. Física G. y de la Atmósfera, Univ. Salamanca*

** *Dpto. Matemática Aplicada, Univ. Salamanca*

RESUMEN

Hemos analizado las series de precipitación acumulada en el comienzo de la primavera (febrero, marzo y abril) de la península Ibérica porque hemos identificado una tendencia de disminución en febrero y marzo, siendo más destacada hacia el sur de la península. La variabilidad de la precipitación fue caracterizada mediante el método de análisis de componentes principales. Las series temporales asociadas a los modos de variación se relacionaron con índices climáticos de circulación (teleconexión) y de temperaturas del mar como El Niño y la temperatura en zonas tropicales. Hemos obtenido que la disminución de la precipitación se corresponde con una tendencia de aumento de los índices oscilación del Ártico, El Niño y la temperatura del mar en la región tropical (10S- 10N).

Palabras clave: Precipitación, variabilidad climática, índices de teleconexión, análisis de componentes principales, tipos de tiempo.

ABSTRACT

The accumulated precipitation in February, March and April over the Iberian peninsula has been analysed because a decreasing trend was identified in February and March, it is higher towards southern part of the peninsula. The precipitation variations were characterized by means of principal component analysis and the associated time series were related to teleconexion and sea surface temperature (SST) indices like El Niño and SST over global tropical regions (10S-10N). There is a correspondence between the decreasing precipitation and the increasing of the Arctic oscillation, El Niño and the tropical SST.

Key words: *Spring precipitation, climatic variability, teleconexion indices, principal component analysis, weather types.*

1. INTRODUCCIÓN

La primavera es una estación con grandes contrastes térmicos entre las latitudes 35 y 45 N debido principalmente a la transición que produce el comienzo de la compresión del vórtice circumpolar y el enfrentamiento entre las masas de aire del anticiclón subtropical y del vórtice circumpolar. Numerosos trabajos (LAMB y PEPLER, 1987; THOMPSON y WALLACE, 1998; ROGERS, 1997; HURRELL, 1995; RODWELL *et al.*, 1999; PITA *et al.*, 1999; GÓMEZ NAVARRO *et al.*, 1999; GUIJARRO, 1999) relacionan las variaciones climáticas con la circulación del vórtice y patrones de circulación como la circulación del Ártico (AO) y la Oscilación del norte del Atlántico (NAO).

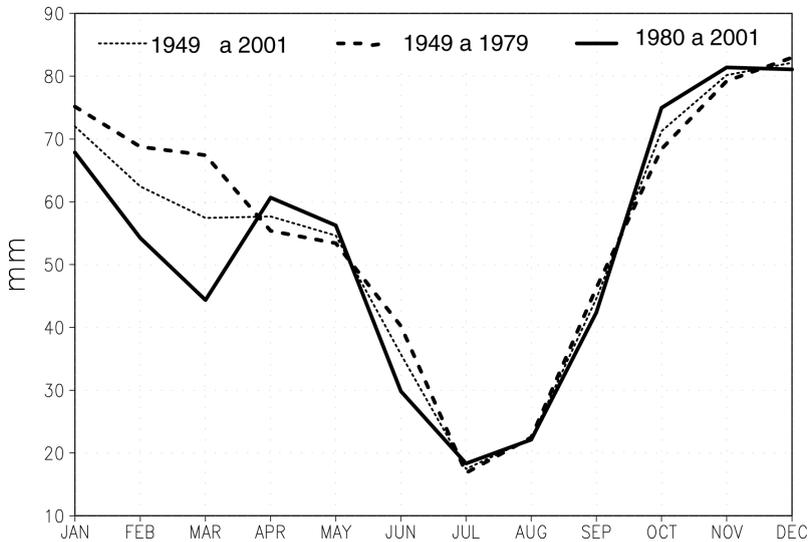


Figura 1: Evolución estacional de la precipitación para diferentes realizaciones temporales, promediada para 55 lugares de la península Ibérica.

La evolución estacional de la precipitación nos muestra una clara evidencia de la disminución de las cantidades en los meses de febrero y marzo, es decir, en la época de transición entre finales de invierno y comienzo de la primavera. Debido a la importancia que tiene esta estación para actividades agrícolas, resulta de interés primordial analizar los detalles particulares de lo que ocurre en esos meses y relacionarlos con los cambios de las características de la circulación.

La figura 1 muestra la evolución estacional de la precipitación promediada para 55 lugares distribuidos por la península Ibérica en realizaciones de tiempo diferente, una de las líneas nos representa la evolución para todo el periodo de estudio (1949 a 2001) y evidencia las mayores precipitaciones en invierno y menores en verano, lo cuál es una de las características particulares de los climas Mediterráneos (FONT TULLOT, 2000). Lo que merece destacar en la figura, es la disminución de la precipitación en febrero y marzo para el periodo 1980 a 2001 respecto al periodo 1949 a 1979. Otros autores como CORTE REAL *et al.* (1998) apuntaron la disminución de la precipitación en el mes de marzo en el sur de Portugal.

En este trabajo pretendemos dar una explicación a esta disminución de precipitación en la estación de transición final de invierno y comienzo de la primavera. Para ello, analizaremos las relaciones entre las variaciones de la precipitación en la estación de primavera, constituida por los meses de febrero-marzo-abril (FMA), con índices climáticos de teleconexión que representan la evolución de la circulación atmosférica y de temperatura superficial del mar (SST).

Entre los motivos por los que realizamos esta investigación merecen destacar: la utilidad que para la agricultura va a tener conocer si hay algún desplazamiento estacional en el régimen de

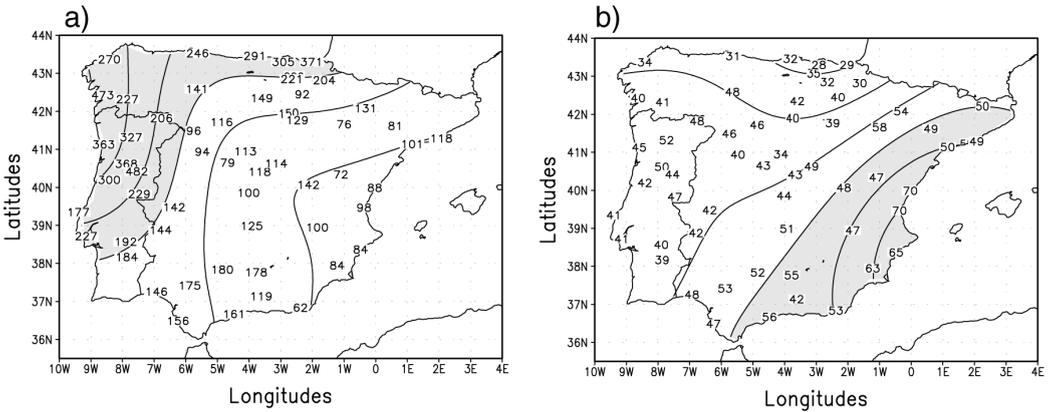


Figura 2: a) Distribución de la precipitación acumulada en FMA; b) Coeficiente de variación de la precipitación de FMA.

precipitación, con el fin de planificar sus actividades; y la posibilidad de disponer de indicadores de cambio climático.

El trabajo se ha estructurado de la siguiente manera: en la sección de datos y métodos se describen las características de los datos y se indican, brevemente, los métodos empleados en este estudio. En la sección resultados se muestran los modos de variación de la precipitación de la estación febrero-marzo-abril (FMA), se obtienen los índices de teleconexión asociados a los modos de variación de la precipitación, se relacionan los patrones de circulación con tipos de tiempo responsables de las precipitaciones y se indica posible causa de la tendencia de disminución de la precipitación. Finalmente, se destacan las conclusiones más importantes.

2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos de precipitación usados en este trabajo fueron proporcionados por el Instituto de Meteorología de España y el Instituto de Meteorología y Geofísica de Portugal. Los datos de precipitación acumulada mensualmente tuvieron una fase previa de preparación indicada ya en otros trabajos (RODRÍGUEZ-PUEBLA et al., 2001a y b). A partir de los datos mensuales obtuvimos la precipitación acumulada para la estación de inicio de la primavera (FMA). La distribución espacial del promedio de precipitación para los 53 años se muestra en la figura 2a, observamos mayores precipitaciones en el noroeste y un gradiente de disminución hacia el sureste, esta configuración es característica de los meses de invierno, primavera y otoño. En la figura 2b se representa el coeficiente de variación o desviación estándar dividida por el valor medio, se obtienen mayores variaciones hacia el sureste.

La disminución de la precipitación en la estación FMA se puede observar en la figura 3a, obtenida para el promedio de los 55 lugares de la península. La tendencia de disminución es mayor hacia

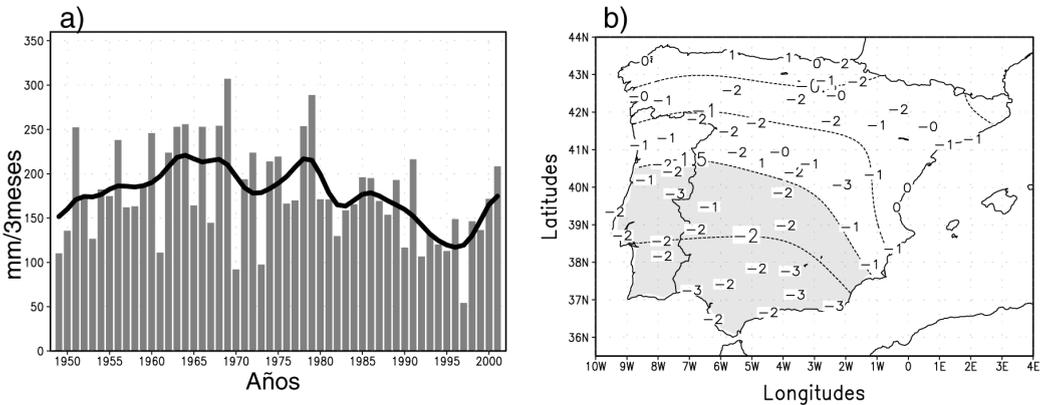


Figura 3: a) Evolución de la precipitación de los meses FMA para el promedio de los 55 lugares de la península; b) Coeficiente de tendencia de Mann-Kendall para la precipitación acumulada en FMA y el periodo 1949-2001.

la mitad sur de la península como así lo cuantifica el descriptor Z de Mann-Kendall (PRESS *et al.* 1995) cuyos valores son menores de -2 para la mayor parte de la península (figura 3b).

Los datos de precipitación no se ajustan al comportamiento normal o curva de distribución de Gauss, por ello, los análisis posteriores fueron realizados con los datos transformados mediante la función logarítmica.

El método que se utilizó para caracterizar la variabilidad de la precipitación fue el análisis de componentes principales en variantes rotadas por varimax y sin rotar. Seleccionamos los modos que admiten mejor explicación dinámica (DOMMENGET y LATIF, 2002). Este análisis se utilizó para resumir la dimensionalidad del campo de la precipitación y para regionalizar la península de acuerdo a zonas de variabilidad homogénea (VON STORCH y ZWIERS, 1999).

Para justificar dinámicamente la evolución de las series asociadas a los modos de variación, o componentes principales (PC), hemos utilizado índices de teleconexión que van a representar los modos de variación de la circulación. La descripción de los índices viene detallada en <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>. Una vez identificados los índices que explican la variabilidad de la precipitación en el comienzo de la primavera, elaboramos modelos empíricos por métodos de regresión paso a paso. Estos modelos no sólo van a explicar la variabilidad de la precipitación también posibilitarán la predicción (“downscaling”).

Por otra parte, para identificar los tipos de tiempo responsables de las variaciones de precipitación hemos utilizado los datos del proyecto de reanálisis (<http://wesley.wwb.noaa.gov/Reanalysis.html>) del NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Centre for Atmospheric Research).

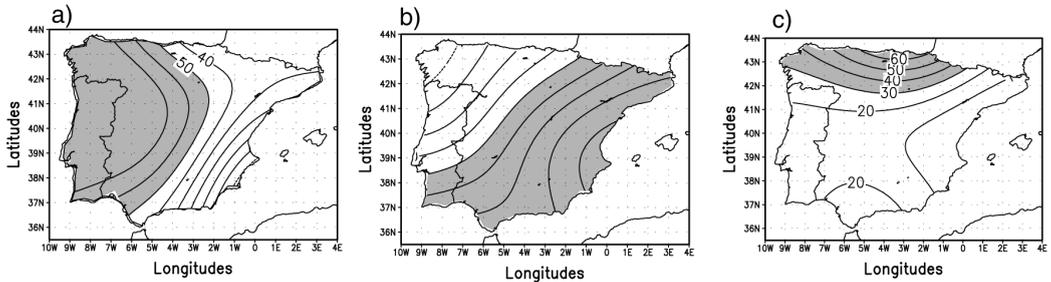


Figura 4: Funciones empírico-ortogonales rotadas de la precipitación de FMA: a) REOF1; b) REOF2 y c) REOF3.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de Variabilidad

El análisis de componentes principales se revela como un método adecuado para resumir la variabilidad de un campo. Las figuras 4a, 4b y 4c nos indican cuál es la distribución espacial de los tres modos rotados más significativos o funciones empírico ortogonales de la precipitación para FMA. El primer modo representa las variaciones en el oeste peninsular y describe 42 % de varianza. El segundo modo representa las variaciones de la vertiente Mediterránea y describe 18 % y el tercer modo representa las variaciones en el norte de la península y describe 10 % de la varianza total. Estas configuraciones espaciales o funciones empírico ortogonales (VON STORCH y ZWIERS 1999) resultan bastante estables puesto que se obtienen en otras épocas del año. Sin embargo la causa de esta distribución es diferente para cada estación, mientras que en invierno son los patrones oscilación del Ártico (AO), oscilación del Atlántico norte (NAO) y Este del Atlántico (EA) los que tienen mayor influencia, en primavera comienza la influencia de patrones de circulación Europeos como el de Escandinavia (SCA) y Este del Atlántico/Oeste de Rusia (EA/WR), entre otros.

En la tabla 1 se indican los índices que muestran correlación significativa con la precipitación de primavera febrero-marzo-abril (FMA). Además de encontrar correlación significativa con los índices de teleconexión, propuestos por BARNSTON y LIVEZEY (1987), obtenemos que índices representativos del fenómeno El Niño (<http://iri.ldeo.columbia.edu>) y la temperatura del mar en latitudes tropicales (10S-10N), también se correlacionan con la precipitación de primavera. Las relaciones del fenómeno El Niño en la precipitación en el Mediterráneo occidental han sido comprobadas en otros trabajos (ROPELEWSKY Y HALPER 1987; 1996; LAITA Y GRIMALT, 1997; RODÓ et al. 1997; RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al.* 1998).

De los componentes representativos de las variaciones de precipitación en la estación FMA, el primer componente (RPC1) presenta un coeficiente Z de tendencia de -2.2, el segundo (RPC2) tiene una tendencia de -1.4 y el RPC3 de 1. La tendencia decreciente de RPC1 puede estar relacionada

Tabla 1: Coeficientes de correlación entre los componentes principales rotados RPCs y los índices: Oscilación del Ártico de febrero (AO2); Oscilación del Atlántico Norte de febrero (NAO2); Este Atlántico oeste de Rusia de marzo (EAWR3); chorro del este Atlántico de abril (EAJ4); Escandinavia de abril (SCA4); El Niño 1.2 de diciembre previo (NIÑO-D); anomalías de temperatura del mar tropical (10S-10N) de diciembre previo (T/ASST-D).

	AO2	NAO2	EAWR3	EAJ4	SCA4	NIÑO-D	T/ASST-D
RPC1	-0.52	-0.53					
RPC2				-0.52		-0.51	-0.47
RPC3			-0.44		0.41		

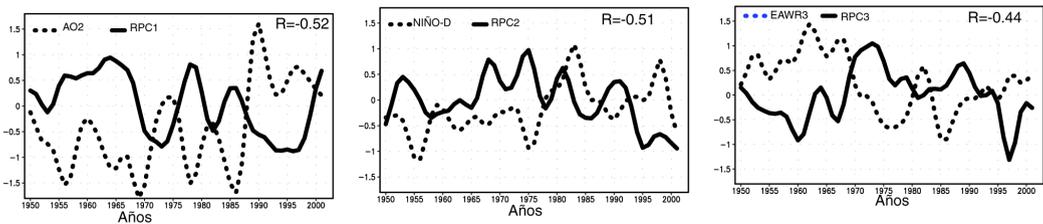


Figura 5: Componentes principales de los modos de variación rotados de la precipitación de FMA y series temporales de los índices Oscilación del Artico del mes de febrero (AO2), El Niño 1.2 de diciembre (NIÑO1.2-D) y Este del Atlántico/Oeste de Rusia de marzo (EAWR3).

con la tendencia creciente de AO2 ($Z=2.2$). El RPC2 está relacionado con los índices EAJ (chorro del Este del Atlántico); El Niño en la región 12 (TRENBERTH, 1997) del mes de diciembre previo (NIÑO-D); y con las anomalías de temperatura del mar del mes de diciembre previo (T/ASST-D); El índice NIÑO-D evidencia una tendencia creciente ($Z=1.05$) que parece estar asociada a la tendencia decreciente de la precipitación. También las SST del cinturón tropical muestra tendencia creciente ($Z=2.5$). En la figura 5 se representa la evolución de los PCs rotados junto con índices de teleconexión que están correlacionados con cada PC.

Considerando los índices que están asociados a cada componente principal hemos elaborado modelos empíricos mediante la técnica de regresión paso a paso. Estos modelos permitirán proyectar las variaciones climáticas a gran escala para obtener predicciones climáticas regionales. Para comprobar el ajuste de los modelos hemos construido mapas de regresión entre los resultados de los modelos y las precipitaciones locales, las configuraciones (no mostradas) reconstruyen con gran significación la distribución de la variabilidad de la precipitación.

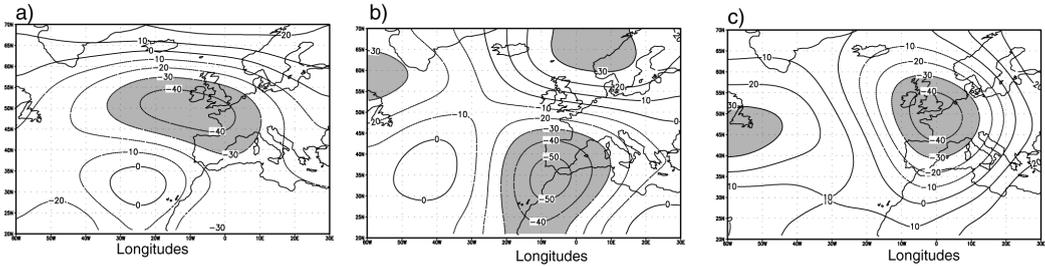


Figura 6: Mapa de correlación entre los componentes principales y el geopotencial a 700 hPa: a)RPC1; b) RPC2 y c) RPC3.

3.2. Relación entre los modos de variación de la precipitación y tipos de tiempo

Para obtener los centros de acción de la circulación responsables de las variaciones de la precipitación, hemos correlacionado las series de los componentes principales rotados de la precipitación de FMA con el campo de geopotencial a 700 hPa. Las zonas en las que aparece mayor correlación nos señalan los centros más sensibles en el campo de la circulación que ocasionan variaciones en el régimen de precipitación. Los centros obtenidos (figura 6) se asemejan, de forma bastante aproximada, a los tipos de tiempo descritos por FONT TULLOT (2000).

La correlación de RPC1 con los datos de geopotencial a 700 hPa (hgt700) proporciona una estructura que se asemeja al tipo de tiempo 6 o depresión en el golfo de Vizcaya, que ocasiona precipitaciones en la mitad oeste de la península y es un tiempo muy frecuente al comienzo de la primavera (FONT TULLOT, 2000). La correlación de RPC2 y hgt700 proporciona una estructura que se asemeja al tipo de tiempo 13 o depresión en el golfo de Cádiz que ocasiona lluvias en la mitad sur y en la vertiente Mediterránea. La correlación entre RPC3 y hgt700 proporciona una configuración que se asemeja al tipo de tiempo 10 o depresión en el golfo de Génova que ocasiona precipitaciones orográficas en la cornisa Cantábrica y a veces en la vertiente Mediterránea.

4. CONCLUSIONES

Observaciones mediante teledetección advierten sobre el aumento de superficie árida en el sureste de la península Ibérica. En este trabajo confirmamos esta observación pero utilizando procedimientos estadísticos con datos instrumentales de precipitación. En primer lugar, hemos regionalizado la península conforme a los modos de variación más significativos. Se explican las variaciones de precipitación mediante la obtención de relaciones con modos de variación de la circulación atmosférica y temperaturas superficiales del mar. Hemos obtenido que la tendencia de disminución de la precipitación está asociada con la tendencia de aumento de la temperatura del mar, el fenómeno el Niño y la oscilación del Ártico. Además, hemos cuantificado las relaciones entre las variaciones de precipitación y los índices de teleconexión mediante la elaboración de modelos empíricos.

Finalmente, se obtiene que los tipos de tiempo tradicionales como las depresiones en el golfo de Vizcaya, la del golfo de Cádiz y la del golfo de Génova son los responsables de las precipitaciones más frecuentes en la península durante los meses de febrero, marzo y abril.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los Institutos de Meteorología de España y Portugal por los datos de precipitación. A los suministradores de los datos del Proyecto de reanálisis de NCEP/NCAR y los índices de teleconexión disponibles en la web del CPC (Climate Prediction Center) de Estados Unidos. A los desarrolladores del “software” de dominio público GrADS. Y, finalmente, el apoyo económico de la CICYT y la Junta de Castilla y León mediante la concesión de proyectos de investigación que nos han permitido la adquisición de recursos informáticos (CLI99-0845-CO3-02), (SA027/02) y la participación en congresos.

6. REFERENCIAS

- BARNSTON, A.G. y LIVEZEY, R.E. (1987): Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.* 115, pp. 1083-1126.
- CORTE-REAL, J., QIAN, B. y XU, H. (1998): Regional climate change in Portugal: precipitation variability associated with large-scale atmospheric circulation. *Int. J. of Climatology*, 18, pp. 619-635.
- DOMMENGET, D. y LATIF, M. (2002): A cautionary note on the interpretation of EOFs. *J. of Climate*, 15, pp. 216-225.
- FONT TULLOT, I. (2000): *Climatología de España y Portugal*. INM. Madrid.
- GÓMEZ NAVARRO, L., MARTÍN VIDE, J. y WANNER, H. (1999): “Influencia de la NAO en la precipitación y en la probabilidad de días lluviosos de diciembre en la España peninsular”. En RASO, J.M. y MARTÍN, J. *La Climatología Española en los albores del siglo XXI*. Publicación de la Asociación Española de Climatología (AEC) serie A, nº 1, pp. 217-225.
- GUIJARRO, J.A. (1999): Teleconexiones climáticas y precipitación en la España Mediterránea. En RASO, J.M. y MARTÍN, J. *La Climatología Española en los albores del siglo XXI*. Publicación de la Asociación Española de Climatología (AEC) serie A, nº 1, pp. 243-251.
- HURRELL, J.W. (1995): Decadal trends in North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 264, pp. 676-679.
- LAITA, M. y GRIMALT, M. (1997): Vorticity and pressure anomalies in the western Mediterranean during El Niño/Southern Oscillation extremes. *Int. J. of Climatology*, 17, pp. 475-482.
- LAMB, P.J. y PEPLER, R.A. (1987): North Atlantic Oscillation and an application. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, pp. 1218-1225.
- PITA LÓPEZ, M.F., CAMARILLO NARANJO, J.M. y AGUILAR ALBA, M. (1999): La evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y sus relaciones con el índice de la NAO. En

RASO, J.M. y MARTÍN, J. *La Climatología Española en los albores del siglo XXI*. Publicación de la Asociación Española de Climatología (AEC) serie A, nº 1, pp. 399-408.

PRESS, W.H., TEUKOLSKY, S.A., VETTERLING, W.T. y FLANERY, B.P. (1995): *Numerical Recipes in Fortran77*.

RODO, X, BAERT, E. y COMIN, F.A. (1997): Variations in seasonal rainfall in southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Climate Dynamics*, 13, pp. 275-284.

RODRIGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A.H., NIETO, S. y GARMENDIA, J. (1998): Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *Int. J. of Climatology*, 18, pp. 299-316.

RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., FRÍAS, M.D. y ENCINAS, A.H. (2001 a): Relationships between dry and wet periods in Spring Precipitation over the Iberian Peninsula and Atmospheric Circulation. En BRUNET, M. y LÓPEZ BONILLO, D. *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer, pp. 397-404.

RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A.H. y SÁENZ, J. (2001) b: Winter precipitation over the Iberian peninsula and its relationships to circulation indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5, pp. 233-244.

RODWELL, M.J., ROWELL, D.P. y FOLLAND, C.K. (1999): Oceanic forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation and European climate. *Nature*, 398, pp. 320-323.

ROGERS, J.C. (1997): North Atlantic storm track variability and its association to the North Atlantic Oscillation and climate variability of Northern Europe. *J. of Climate*, 10, pp. 1635-1758.

ROPELEWSKI, C.F. y HALPERT, M.S. (1996): Quantifying Southern Oscillation precipitation relationships. *J. of Climate*, 9, pp. 1043-1059.

ROPELEWSKI, C.F. y HALPERT, M.S. (1987): Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, pp. 1606-162.

THOMPSON, D.W. y WALLACE, J.M. (1998): The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Letters*, 25, pp. 1297-1300.

TRENBERTH, K.E. (1997): The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, pp. 2771-2777.

VON STORCH, H. y ZWIERS, F.W. (1999): *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University press.

