

¿SON ADECUADOS LOS ACTUALES MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES PARA LA DESCRIPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA?

Susana NIETO ISIDRO* y Concepción RODRÍGUEZ-PUEBLA**

* *Departamento de Matemática Aplicada*

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

RESUMEN

Se presenta una comparación de los resultados proporcionados por distintos modelos climáticos (ECHAM4/OPYC3 y HadCM3) con los datos observados para describir el comportamiento de la precipitación de invierno en la Península Ibérica. También se analiza la relación de esta estructura de la precipitación con la dinámica de la atmósfera, a partir del análisis de los datos de presión a nivel del mar de los modelos. Los resultados muestran la adecuación de la estructura espacial, mientras que la estructura temporal y espectral es menos apropiada.

Palabras clave: Modelos climáticos, validación, modos de variabilidad, precipitación estacional, presión a nivel del mar.

ABSTRACT

In this study, an analysis was made of the correspondences and/or discrepancies between observed winter precipitation data and the data from ECHAM4/OPYC3 and HadCM3 climatic models, and we analyse the relation between precipitation and atmospheric dynamics, using the sea level pressure data from the models. As regards the climatic models considered, in general the results point to their suitability for describing the spatial distribution of winter precipitation, whereas the spectral association is less appropriate.

Key words: *Climatic Models, validation, variability patterns, seasonal precipitation, sea level pressure.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estado actual de la modelización climática

La generación de modelos climáticos es actualmente uno de los principales empeños de las organizaciones climáticas nacionales e internacionales. Existen diversos proyectos en marcha, no sólo para la creación de modelos con diferentes características, sino para la generación de escenarios futuros con condiciones diversas sobre el forzamiento, los niveles de CO₂, etc. Así por ejemplo, podemos citar los trabajos del DKRZ (*Deutsches Klimarechenzentrum*) de Alemania, el HCCPR (*Hadley Centre for Climate Prediction and Research*) del Reino Unido, o los americanos GFDL (*Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*) o NCAR (*National Centre for Atmospheric Research*), así como otros centros situados en Canadá (*Canadian Center for Climate Modelling and Analysis*, CCCma), Australia, Japón, etc. Información sobre estos modelos se puede encontrar en la página web del IPCC <http://www.ipcc.ch> (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

De forma paralela al desarrollo de diversos modelos climáticos, existen también proyectos de comparación entre los resultados de estos modelos. El primer proyecto de este tipo fue el denominado AMIP (*Atmospheric Model Intercomparison Project*), seguido del CMIP (*Coupled Atmospheric Model Intercomparison Project*), y otras iniciativas recientes como el proyecto DEMETER en Europa, etc.

Por otra parte, también se están desarrollando modelos regionales, en los que se tiene en cuenta de forma más concreta las características de la región de estudio. Uno de los modelos regionales más extendidos es el MM5, que está siendo desarrollado en diversos países, entre los que se encuentra España.

1.2. Relación entre los modelos y las observaciones

Una de las posibles aplicaciones del desarrollo de modelos climáticos, tanto globales como regionales, es la predicción del comportamiento futuro de diversas variables climáticas de interés, como es el caso de la temperatura o la precipitación. Por ello, es de gran interés validar estas predicciones, analizando las posibles discrepancias existentes con el comportamiento observado de estas variables, en diversas zonas de la Tierra. Esta labor de validación podrá dar información a los desarrolladores de los modelos sobre su acierto a la hora de generar los diferentes datos, permitirá modificar dichos modelos cuando sea necesario, e incrementará la precisión de las predicciones que se realicen sobre el comportamiento futuro de las variables climáticas.

Además, la Península Ibérica posee unas especiales características orográficas y geográficas que pueden provocar algunas dificultades en la adaptación de los resultados procedentes de los modelos climáticos para la descripción de ciertas variables, como es el caso de la precipitación. Dada la resolución espacial de los modelos actuales, las mallas correspondientes a la Península Ibérica son en general de pequeño tamaño, de manera que las diferencias entre las zonas terrestres y marítimas pueden no estar bien representadas. Estas características tienen importantes implicaciones a la hora de utilizar los resultados de los modelos climáticos en los modelos de predicción.

1.3. Variables del estudio

El objetivo principal de nuestro trabajo es analizar las características de una variable de gran interés, la precipitación estacional en la Península Ibérica, tanto desde el punto de vista espacial (es decir, la distribución de la precipitación en el área de estudio), como desde el punto de vista temporal (la evolución de la precipitación en el periodo temporal considerado) y desde el punto de vista espectral (determinando las principales oscilaciones o ciclos presentes en las series temporales analizadas). Una vez realizado ese análisis, se compararán los resultados obtenidos con los datos procedentes de los modelos climáticos, para observar su idoneidad a la hora de describir la precipitación estacional en esta área.

Esta variable climática se ha escogido por su gran importancia en la actividad económica de la Península Ibérica, y debido también a su distribución heterogénea, lo que permite validar de un modo completo los resultados de los modelos. Sin embargo, se trata también de una variable muy aleatoria, con una gran dispersión y muy afectada por factores locales, lo cual puede enmascarar la adecuación de los modelos.

Por ello, en una segunda parte del trabajo se avanza un paso en el análisis, estudiando no sólo la precipitación, sino una variable muy relacionada con ella, que es la presión a nivel del mar, dada por los modelos. Este estudio se realizará, no sólo en el área de la Península Ibérica, sino en un área superior, que incluya parte del Atlántico Norte, para que queden de manifiesto los posibles centros de acción que puedan afectar a la precipitación. Esta presión a nivel del mar, además de presentar una menor variabilidad que la precipitación, nos permite analizar los resultados de los modelos sobre el comportamiento dinámico de la atmósfera en este área, y validar si estos modelos reproducen adecuadamente los principales índices de teleconexión que afectan a la precipitación en la Península Ibérica.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Datos empleados en el estudio

Se han empleado datos procedentes de tres fuentes distintas: datos observados, datos de reanálisis (para comprobar la representatividad de las observaciones) y datos procedentes de modelos climáticos globales. El intervalo temporal es siempre 1949-2000 para todos los datos, un total de 52 años, y se considera como periodo estacional de invierno a los meses de diciembre, enero y febrero.

En cuanto a las dimensiones espaciales, se han considerado dos situaciones diferentes, una para el estudio de la precipitación y otro para el estudio de la dinámica con la presión a nivel del mar. Para la precipitación, se ha empleado una ventana que incluye sólo a la Península Ibérica, para poder comparar con los datos observados, que se corresponde aproximadamente a longitud entre 11°W y 4°E, y latitud entre 35°N y 46°N. Para la presión a nivel del mar, se considera una ventana que incluye gran parte del Norte del Atlántico, para poder estudiar la distribución de los centros de acción: esa ventana corresponde a longitud entre 60°W y 30°E, y latitud entre 30°N y 80°N.

Los datos observados de precipitación proceden de los Institutos de Meteorología de España y Portugal, y se corresponden a un total de 55 localidades de toda la Península Ibérica. Se trata de datos de precipitación acumulada mensual, y para nuestro estudio emplearemos la precipitación acumulada trimestral (en el periodo estacional de invierno).

En el caso de los datos de reanálisis, se han empleado como equivalentes a los datos observados en el estudio de la presión a nivel del mar. Se ha optado por utilizar los datos procedentes del proyecto del NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*), dado que su longitud temporal era la adecuada para nuestro estudio. Información sobre este proyecto se puede encontrar en la página del NCEP/NCAR <http://wesley.wwb.noaa.gov/reanalysis.html>. Los datos de presión a nivel del mar proporcionan una malla de 777 datos. Más información sobre las características de este modelo de reanálisis se pueden encontrar en KALNAY *et al.*, 1996.

Los modelos climáticos considerados en este estudio son dos: el modelo ECHAM4/OPYC3, desarrollado mediante la cooperación entre el MPI (*Max-Planck-Institut für Meteorologie*) y el DKRZ en Alemania, y el modelo HadCM3, desarrollado por el HCCPR (*Hadley Centre for Climate Prediction and Research*) del Reino Unido. Se trata de modelos acoplados océano-

atmósfera, sin forzamiento. Los dos componentes del modelo ECHAM4/OPYC3 están documentados por separado en el Report No.6 “*ECHAM3 - Atmospheric General Circulation Model*” editado por el DKRZ, y el Report No.7 “*The OPYC Ocean General Circulation Model*” de J.M. OBERHUBER, ambos de 1992. En cuanto al modelo HadCM3, una descripción de sus características se encuentra en GORDON *et al.* (2000), POPE *et al.* (2000) y COLLINS *et al.* (2001).

Los datos utilizados en este estudio han sido proporcionados por el IPCC en su página de distribución de datos: <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>. Se trata de datos de precipitación, que proporcionan mallas de 35 datos para el modelo ECHAM4/OPYC3 y de 30 datos para el modelo HadCM3, y datos de presión a nivel del mar en la ventana grande, con mallas de 660 datos y 525 datos respectivamente para los modelos ECHAM4/OPYC3 y HadCM3.

2.2. Métodos de análisis de los datos

En cuanto a los métodos utilizados en el análisis, para el estudio de la distribución espacial de la precipitación se ha utilizado el Análisis de Componentes Principales (ACP), representando en un mapa las correlaciones entre cada una de las Funciones Ortogonales Empíricas (EOFs, *Empirical Orthogonal Functions*) y la serie de precipitación media para cada uno de los tipos de datos (ATCHLEY y BRYANT, 1975), (VON STORCH y ZWIERS, 1999), y comparando estos mapas entre sí. Este ACP nos proporciona tanto los mapas correspondientes a los principales patrones de variabilidad, como las series temporales asociadas a estos patrones.

El estudio temporal se realiza en el dominio espectral, en el campo de las frecuencias (CHATFIELD, 1980). Se ha optado por estudiar las características de los espectros de las series temporales y buscar la asociación entre los ciclos significativos presentes en las series temporales.

A la hora de incluir la influencia de la presión a nivel del mar en el estudio, se ha optado por realizar dos aproximaciones complementarias. En primer lugar, se ha realizado un Análisis de Componentes Principales a estos datos de presión a nivel del mar para mostrar sus patrones principales de variación y ver si coinciden para los distintos tipos de datos. Por otra parte, se ha calculado la correlación entre las series temporales asociadas a estos patrones de presión y las asociadas a los patrones de precipitación hallados previamente: esta correlación nos permitirá ver si existe relación entre la variabilidad de la precipitación y la variabilidad de la presión dentro de los modelos (es decir, si el modelo mantiene la coherencia interna entre ambas variables).

3. RESULTADOS PARA LA PRECIPITACIÓN

En la figura 1 se muestran los resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP) para los datos de precipitación observada en la Península Ibérica. Representamos las llamadas Funciones Ortogonales Empíricas (EOFs) proporcionadas por el ACP. Para evitar el efecto del distinto tamaño de las mallas, se ha representado la correlación entre las series temporales asociadas a los EOFs y el campo de precipitaciones: se ha sombreado la zona correspondiente a correlaciones superiores en valor absoluto a 0,8 para el EOF1 y a 0,5 para los otros dos, y las líneas de contorno se corresponden a intervalos de 0,1.

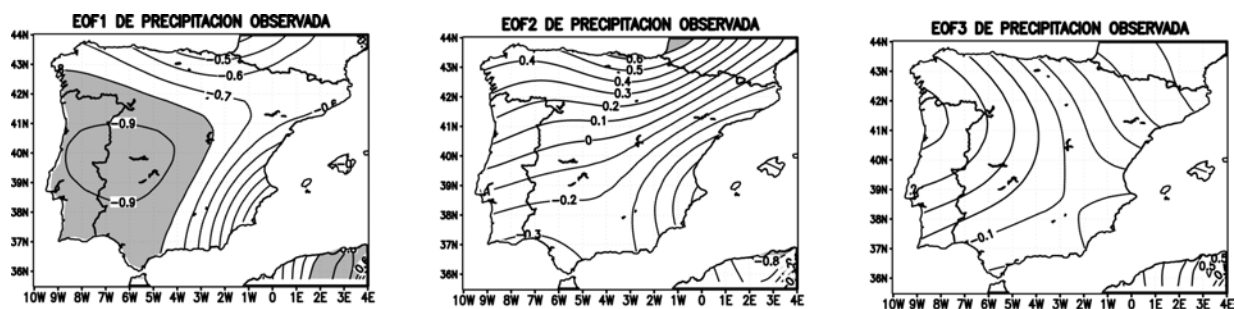


Fig. 1. Patrones de variabilidad espacial de la precipitación observada de invierno

Podemos observar en la figura anterior cómo el primer modo de variabilidad hace referencia a la precipitación en el suroeste de la Península Ibérica, el segundo modo de variabilidad está relacionado con el gradiente norte-sur de la precipitación, y el tercer modo de variabilidad se corresponde al gradiente este-oeste.

Este mismo Análisis de Componentes Principales se ha realizado a los datos de precipitación procedentes de los modelos, utilizando el mismo procedimiento de representación y los resultados se muestran en la figura 2:

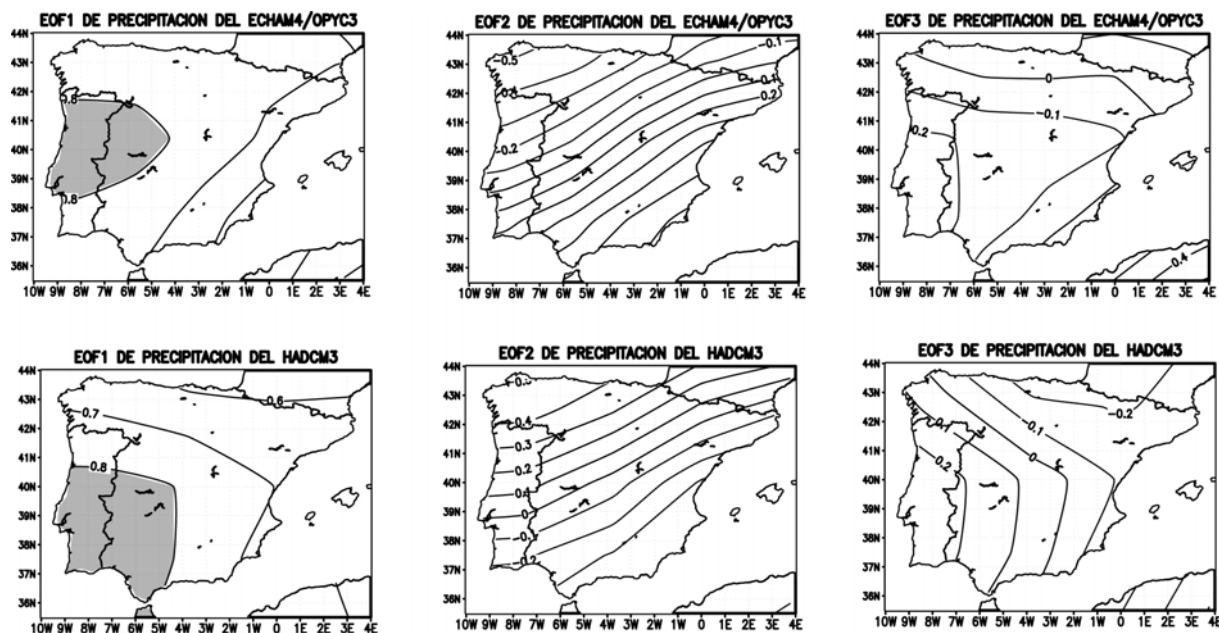


Fig. 2. Patrones de variabilidad espacial de la precipitación de invierno de los modelos

Podemos ver que, en general, la distribución espacial obtenida para los modos de variabilidad de los modelos climáticos es bastante adecuada, mostrando un buen acuerdo en las características principales de los tres patrones principales. Se mantienen el patrón de la precipitación del suroeste de la Península Ibérica, el patrón norte-sur y el patrón este-oeste de la precipitación observada.

En la tabla 1 se muestra cuál es la variabilidad asociada a cada uno de estos modos, para los distintos tipos de datos:

Tabla 1. Variabilidad asociada a los patrones de precipitación

PRECIPITACION	EOF1	EOF2	EOF3	TOTAL
OBSERVADA	58,8%	12,6%	6,4%	77,8%
ECHAM4/OPYC3	44,6%	28,9%	10,5%	84,0%
HADCM3	43,4%	26,4%	10,1%	79,9%

Obtenemos una buena representación de la variabilidad de la precipitación para los diferentes tipos de datos, pues con sólo estos tres primeros modos está asociada a ellos un 80% aproximadamente de la variabilidad total de los datos. Por lo tanto, una primera conclusión del estudio es un buen acuerdo entre las descripciones dadas por los modelos climáticos de la distribución espacial de la precipitación estacional de invierno.

Sin embargo, a la hora de realizar predicciones, lo que nos interesa es el comportamiento temporal de los datos, o, en este caso, su comportamiento espectral. Se trata de analizar si los ciclos significativos que podamos encontrar en las series temporales de precipitación observada son recogidos adecuadamente en las series temporales de precipitación de los modelos. Para ello, analizamos la forma de los espectros correspondientes a las series temporales asociadas a los patrones de variabilidad: estas series reciben el nombre de Componentes Principales (PCs). Además, dado que la mayor parte de la variabilidad está asociada al primer modo, vamos a realizar esta comparación con el PC1 de precipitación para todos los tipos de datos.

En la figura 3 se muestra el espectro del PC1 de precipitación observada. Podemos comprobar cómo presenta picos de densidad espectral en los periodos correspondientes a los 10 años, 4-5 años y 2-3 años. Éstas serán las oscilaciones más importantes en la serie temporal asociada al primer modo de variabilidad.

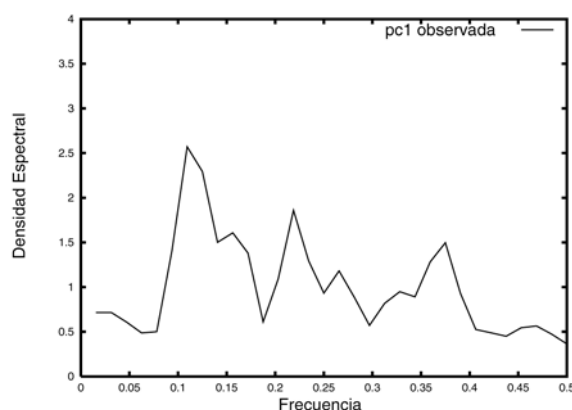


Fig. 3. Espectro del PC1 de precipitación observada de invierno

En la figura 4 se muestran los espectros del PC1 de los dos modelos considerados, el ECHAM4/OPYC3 a la izquierda, y el HadCM3 a la derecha. En cada gráfica, los espectros de los modelos están representados con línea discontinua, y están comparados con el espectro de precipitación observada mostrado anteriormente (línea continua). Podemos ver cómo en general no coinciden los picos de densidad espectral de estas series temporales.

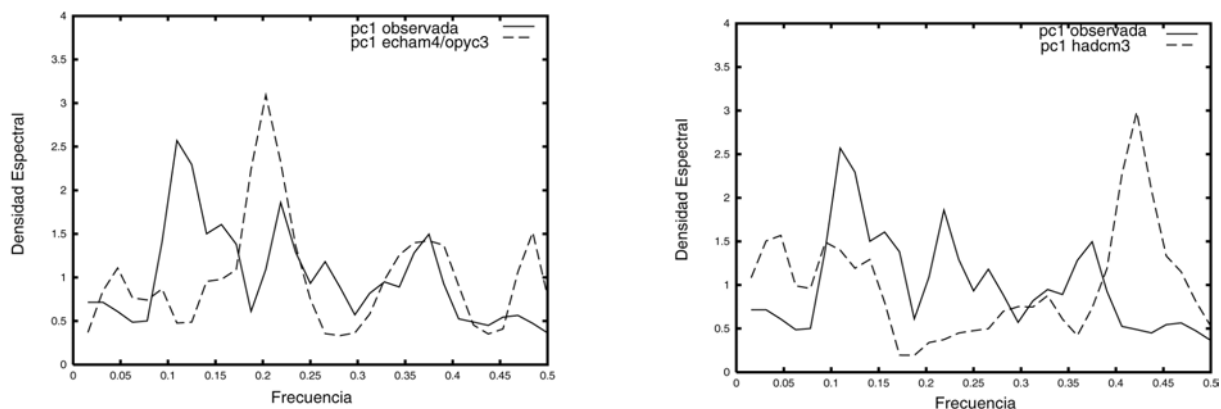


Fig. 4. Comparación entre el espectro del PC1 del modelo ECHAM/OPYC3 (izquierda) y HadCM3 (derecha), línea discontinua, y del PC1 de precipitación observada, línea continua

4. RESULTADOS PARA LA PRESIÓN A NIVEL DEL MAR

A la hora de estudiar el comportamiento de la presión a nivel del mar, se han empleado los datos procedentes del reanálisis del NCEP/NCAR como datos equivalentes a los datos observados. Esta identificación de los datos presión de reanálisis con los observados está justificada dada la coincidencia de comportamiento de ambas, como queda de manifiesto en trabajos previos (NIETO *et al.*, 2004).

Los tres primeros patrones de variabilidad espacial para la presión a nivel del mar del reanálisis se muestran en la figura 5. De nuevo se muestran las correlaciones entre la serie temporal correspondiente a cada patrón de variabilidad y el campo de presiones: la zona sombreada se corresponde a correlaciones superiores en valor absoluto a 0,5, y las líneas de contorno se representan cada 0,1.

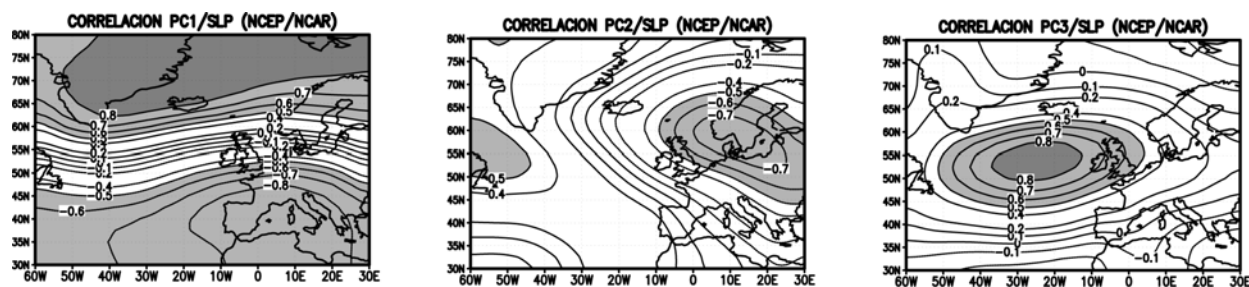


Fig. 5. Patrones de variabilidad espacial de la presión a nivel del mar del reanálisis

El primer patrón de variabilidad obtenido parece corresponder a la distribución norte-sur de la presión a nivel del mar en el Atlántico, mostrando una depresión subpolar y un anticiclón subtropical. Se observa además un fuerte gradiente norte-sur de correlaciones que se sitúa en una banda este-oeste situada aproximadamente entre los 45°N y los 65°N.

El segundo patrón se corresponde con una estructura dipolar, en la que se observa un centro de acción situado en Escandinavia, y otro cercano a Norteamérica. En el tercer patrón se puede observar un fuerte centro de acción que se encuentra en el este del Atlántico Norte.

En la figura 6 se muestran los tres patrones de variabilidad espacial de los modelos ECHAM4/OPYC3 (fila superior) y HadCM3 (fila inferior):

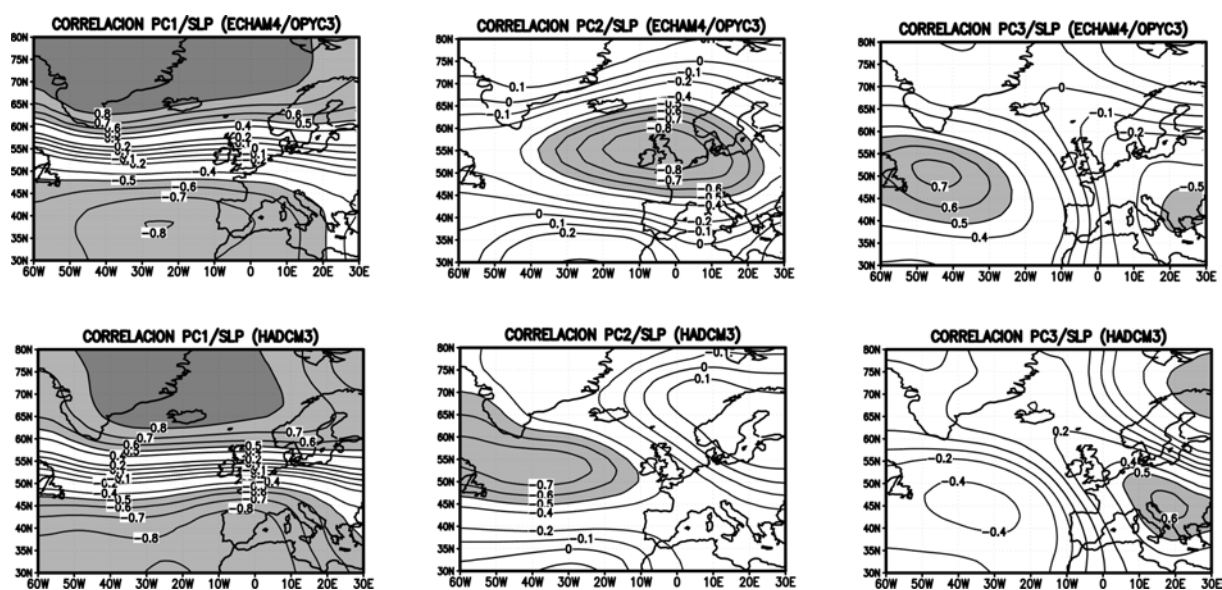


Fig. 6. Patrones de variabilidad espacial de la presión a nivel del mar de los modelos

Si analizamos esta figura, podemos ver en primer lugar cómo se mantiene el comportamiento del primer patrón de variabilidad espacial, que es muy similar al obtenido para la presión a nivel del mar del reanálisis. Además, se ha producido un cambio de orden en los dos últimos patrones: el dipolo situado sobre Europa y en el Atlántico (que antes aparecía como segundo patrón para los datos de reanálisis) ahora se sitúa en el tercer patrón para los dos modelos climáticos, y el centro de acción sobre el Atlántico Norte ahora constituye el segundo patrón (ligeramente desplazado al oeste en el caso del modelo HadCM3, y al este en el modelo ECHAM4/OPYC3). En la tabla 2 se presenta la variabilidad asociada a cada uno de estos patrones:

Tabla 2. Variabilidad asociada a los patrones de presión

PRESIÓN	EOF1	EOF2	EOF3	TOTAL
REANÁLISIS	52,2%	14,3%	12,8%	79,3%
ECHAM4/OPYC3	49,2%	15,1%	11,1%	75,4%
HADCM3	49,4%	13,7%	10,0%	73,1%

Para obtener la coherencia interna de cada modelo, se muestra en la siguiente tabla 3 la correlación entre los PCs de precipitación hallados previamente, y los PCs de presión a nivel del mar asociados a estos EOFs. En el caso del reanálisis, se compara con los PCs de la precipitación observada.

Tabla 3. Correlación entre PCS de presión y precipitación

	NCEP/NCAR	ECHAM4/OPYC3	HadCM3
PC1 precip – PC1 presión	-0,7529	0,6054	0,8248
PC2 precip – PC2 presión	0,5263	-0,7494	0,3003
PC3 precip – PC3 presión	-0,5005	0,5826	0,6295

Analizando la tabla 3, comprobamos cómo hay una asociación fuerte entre los modos de variabilidad de la precipitación y los modos de variabilidad de la presión a nivel del mar, por lo que los modelos parecen mantener una cierta coherencia interna para las relaciones entre presión y precipitación. Esto justifica la utilización de los métodos de “downscaling” para predicciones estadísticas de la precipitación en la Península Ibérica.

5. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones del trabajo, podemos extraer las siguientes:

- Los datos de precipitación de invierno de los modelos climáticos considerados son en general adecuados para describir el comportamiento espacial de la precipitación de invierno de la Península Ibérica. Los principales patrones de variabilidad espacial obtenidos son similares entre sí, describiendo porcentajes aproximados de variabilidad de la precipitación.
- El análisis espectral y de coherencia entre la precipitación observada y la de los modelos muestra ajustes moderados que dependen del modelo considerado y del rango de frecuencias. La variabilidad asociada a los ciclos de 2-3 años, 4-5 años y 10 años no está en general representada adecuadamente en los modelos.
- Los modelos parecen mantener una coherencia interna en las relaciones entre presión a nivel del mar y precipitación en el periodo estacional de invierno. Los modos de variabilidad espacial de la presión a nivel del mar de los modelos y del reanálisis son muy similares entre sí, mostrando una dinámica atmosférica de centros de acción con las mismas características.

Otros pasos que se están dando en esta dirección son la ampliación del número de modelos climáticos estudiados, el estudio de la correlación heterogénea entre la precipitación y la presión a nivel del mar, y la relación de estos resultados con los principales índices de teleconexión que afectan a la precipitación de invierno en la Península Ibérica. Algunos de estos resultados se pueden consultar con más detalle en NIETO *et al.* (2004).

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo con el soporte económico del Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno español, mediante el proyecto de investigación REN2002-04584-C04-02.

Agradecemos los datos proporcionados por las distintas organizaciones climáticas, así como a los desarrolladores de Python, pyclimate, GraDS, GNUplot, y en general, el software utilizado.

7. REFERENCIAS

- ATCHLEY, W.R. and BRYANT, E.H. (Eds.) (1975). *Multivariate Statistical Methods: Among-Groups Covariation*, Dowden, Hutchinson and Ross
- BARSTON, A.G. and LIVEZEY, R.E. (1987). "Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns". *Month. Weath. Rev.*, 115, pp. 1083-1126.
- CHATFIELD, C. (1980). *The analysis of time series, an introduction*, Chapman and Hall.
- DKRZ-MODEL USER SUPPORT GROUP (1993). *Report No 6: The ECHAM3 Atmospheric General Circulation Model*. Deutsches Klimarechezentrum.
- GORDON, C. *et al.* (2000). "The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments". *Climate Dynamics*, 16, pp. 0147-0168
- KALNAY, E. *et al.* (1996). "The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, pp. 437-471.
- NIETO, S.; FRÍAS, M.D. and RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. (2004). "Assessing two different climatic models and the NNR data for the description of winter precipitation in the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology*, 24, pp. 361-376.
- OBERHUBER, J.M. (1993). *Report No 7: The OPYC Ocean General Circulation Model. The Description of a Coupled, Snow, Sea-Ice, Mixed Layer and Isopycnal Ocean Model*. Deutsches Klimarechezentrum. Model User Support Group.
- POPE, V.D. *et al.* (2000). "The impact of new physical parametrizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3". *Climate Dynamics*, 16, pp. 123-146.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C.; ENCINAS, A.H. and SÁENZ, J. (2001). "Winter precipitation over the Iberian peninsula and its relationship to circulation indices". *Hidrology and Earth System Sciences*, 52, pp. 233-244.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. *et al.* (1999). Influences of Teleconnection Indices on Iberian Peninsula Precipitation. In: *Proceedings of 8th Conference on Climate Variations, American Meteorological Society* 129-132.
- VON STORCH, H. and ZWIERS, H.W. (1999). *Statistical analysis in climate research* Cambridge University Press.