

# VALIDACIÓN DE LOS PATRONES DE PRECIPITACIÓN DE INVIERNO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA UTILIZANDO DATOS DE MODELOS Y OBSERVACIONES

Susana NIETO ISIDRO\* y Concepción RODRÍGUEZ-PUEBLA\*\*

\* *Departamento de Matemática Aplicada. Universidad de Salamanca.*

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

## RESUMEN

Nuestro interés en este trabajo se centra en estudiar la validez de la estructura espacial y temporal de la precipitación estacional de invierno en la Península Ibérica, utilizando diferentes tipos de datos. Para ello se comparan los patrones de precipitación promedio y la estructura espacial y temporal obtenida con el análisis de la variabilidad de los datos observados, con los patrones obtenidos a partir de los datos de reanálisis del NCEP/NCAR y de los modelos considerados (ECHAM4/OPYC3 y HadCM3) para el mismo área y periodo temporal. Se comprueba el buen acuerdo espacial y temporal entre los datos observados y de reanálisis, mientras que para los modelos se encuentra acuerdo entre las estructuras espaciales, pero no reflejan la variabilidad temporal en el área.

**Palabras clave:** precipitación, variabilidad espacial y temporal, validación de modelos climáticos, Análisis de Componentes Principales.

## ABSTRACT

*The objective of this paper is to validate the winter precipitation patterns by comparison of the results derived from observations, reanalysis (NCEP/NCAR) and climatic modelling (ECHAM4/OPYC3 and HadCM3). Principal Component Analysis was applied to obtain the spatial and temporal structures. The results indicate good agreement among the spatial patterns. Very high significant correlation was obtained between observed data and reanalysis; however, model data do not reconstruct the observed variability over the Iberian Peninsula.*

**Key words:** precipitation, spatial variability, Principal Component Analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

Nuestro interés en el estudio de la precipitación estacional en la Península Ibérica tiene como fin último no sólo la descripción de su comportamiento y la comprensión de su estructura espacial y temporal, sino el análisis de modelos climáticos para comprobar si recogen las principales características de la precipitación y si pueden ser utilizados para realizar predicciones sobre el comportamiento futuro de la precipitación en este área.

Como primer paso en este estudio, analizaremos el comportamiento de la precipitación observada y sus principales características, así como la estructura espacial y temporal que presenta en el periodo considerado. Tomando esta estructura como base, nos centraremos en estudiar la validez

de la estructura proporcionada por otro tipo de datos que están disponibles en la actualidad: datos interpolados a partir de los datos observados, y datos resultantes de la aplicación de diferentes modelos climáticos. La validación de los datos de reanálisis permitirá utilizar estos últimos como criterio de comparación de la bondad del ajuste de cualquier resultado que exceda el área de la Península Ibérica. Y en cuanto a los datos de los modelos, si la validación es adecuada, podremos utilizarlos como base de nuestro futuro modelo de predicción.

Sin embargo, veremos en el análisis de los resultados que, mientras los datos de reanálisis sí se muestran adecuados para la descripción del comportamiento de la precipitación, no ocurre así con los datos de modelos: mostraremos que, aunque sí se describe adecuadamente la estructura espacial de la precipitación, el comportamiento temporal no se describe adecuadamente, y los datos procedentes de los modelos considerados no son fiables para una futura predicción de la precipitación en este área.

## 2. DATOS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS

En este estudio utilizamos datos de diferentes procedencias. Por una parte, datos de precipitación observada en la Península Ibérica, que han sido proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología de España y el Instituto de Meteorología y Geofísica de Portugal. Se trata de datos de precipitación acumulada para la estación de invierno (diciembre, enero y febrero), para un total de 55 localidades de la Península Ibérica, y que abarcan 52 años, desde 1949 hasta el 2000.

Otros datos utilizados en el estudio son los datos de reanálisis procedentes del proyecto NCEP/NCAR (KALNAY *et al.*, 1996) para el mismo periodo temporal (1949-2000). Se trata de datos de precipitación estacional de invierno para el área de la Península Ibérica; hemos considerado una malla de 63 puntos (desde -11.25E hasta 3.75E para la longitud y desde 35.25N hasta 45.75N para la latitud), para que sean similares a los datos observados.

En cuanto a los datos de los modelos, se han utilizado dos modelos globales acoplados, el modelo ECHAM4/OPYC3 (Report No.6 y Report No. 7 del IPCC) y el modelo HadCM3 (GORDON *et al.*, 1998). Se han utilizado los datos de precipitación estacional de invierno para el mismo periodo temporal (1949-2000) y correspondientes a la misma ventana que cubre el área de la Península Ibérica (una malla de 42 datos para el ECHAM4/OPYC3 y de 30 datos para el HadCM3).

Para el estudio del comportamiento promedio de la precipitación se ha obtenido por una parte la distribución espacial media para cada uno de los puntos considerados, y para todo el periodo de estudio. En cuanto a la distribución temporal, se ha obtenido una serie de precipitación media, en la que se ha calculado un dato para cada año, y para todos los puntos considerados.

Además, se ha realizado un análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación. El tipo de análisis utilizado principalmente para el estudio de la variabilidad espacial es el Análisis de Componentes Principales, que permite obtener mapas de la distribución espacial (llamados Funciones Ortogonales Empíricas, EOF's. VON STORCH y ZWIERS, 1999; ATCHLEY y BRYANT, 1998). Se explica así la mayor parte de la variabilidad espacial mediante unos pocos patrones básicos que se corresponden con los principales modos de variación. Además, se obtienen las series

temporales asociadas a estos patrones (llamadas Componentes Principales), que se han comparado entre sí y con las series originales mediante un análisis de correlación.

La mayoría de los análisis realizados se han llevado a cabo mediante programas propios escritos con el lenguaje de programación Python (de libre distribución) utilizando las funciones apropiadas del módulo *Numerical Python*, así como algunas de las funciones definidas en el paquete *pyclimate* (<http://www.pyclimate.org>).

### 3. RESULTADOS

Vamos a presentar los resultados de los análisis en dos partes: en la primera, mostraremos la estructura de la precipitación promedio, tanto para los datos observados como para los datos procedentes del reanálisis y los datos de los modelos. En este caso, veremos como la estructura espacial es similar para todos los tipos de datos, pero veremos que no ocurre así con la estructura temporal.

#### 3.1. Análisis de las características de la precipitación promedio

Con el objeto de descubrir las principales características del comportamiento de la precipitación estacional de invierno en la Península Ibérica, hemos realizado un estudio inicial de su estructura espacial y temporal promedio. Los resultados obtenidos con este estudio previo son los siguientes:

- Se calcula la distribución espacial de la precipitación media de los datos observados para todo el periodo de análisis en cada localidad de estudio, obteniendo la estructura espacial promedio que se muestra en el mapa 1.
- Podemos ver que las mayores precipitaciones se producen en el norte y oeste de la Península, mientras que las menores precipitaciones se producen en la zona este y sureste, en la zona de Levante.
- A continuación se muestra el patrón de distribución de la precipitación media de los datos de reanálisis para los puntos de la malla considerada (mapa 2). Se observa que estos patrones de distribución media de la precipitación son muy similares, mostrando la misma distribución espacial en la Península Ibérica.
- Analizamos la precipitación promedio para los datos de los modelos, que se corresponde con una malla de malla de 42 datos para el ECHAM4/OPYC3 y de 30 datos para el HadCM3. Estas estructuras promedio se muestran en el mapa 3 para el ECHAM4/OPYC3 y el 4 para el HadCM3, y podemos observar que se corresponde bastante bien a la distribución real de la precipitación.
- Se han calculado también y comparado las series temporales promedio. La correlación entre la serie de la precipitación promedio observada y la serie de precipitación promedio del NCEP es de 0.92, lo cual indica que también es similar la distribución temporal promedio de la precipitación de invierno. Las series se presentan juntas en la gráfica 1, en la que se puede observar muy buena asociación entre ambas.

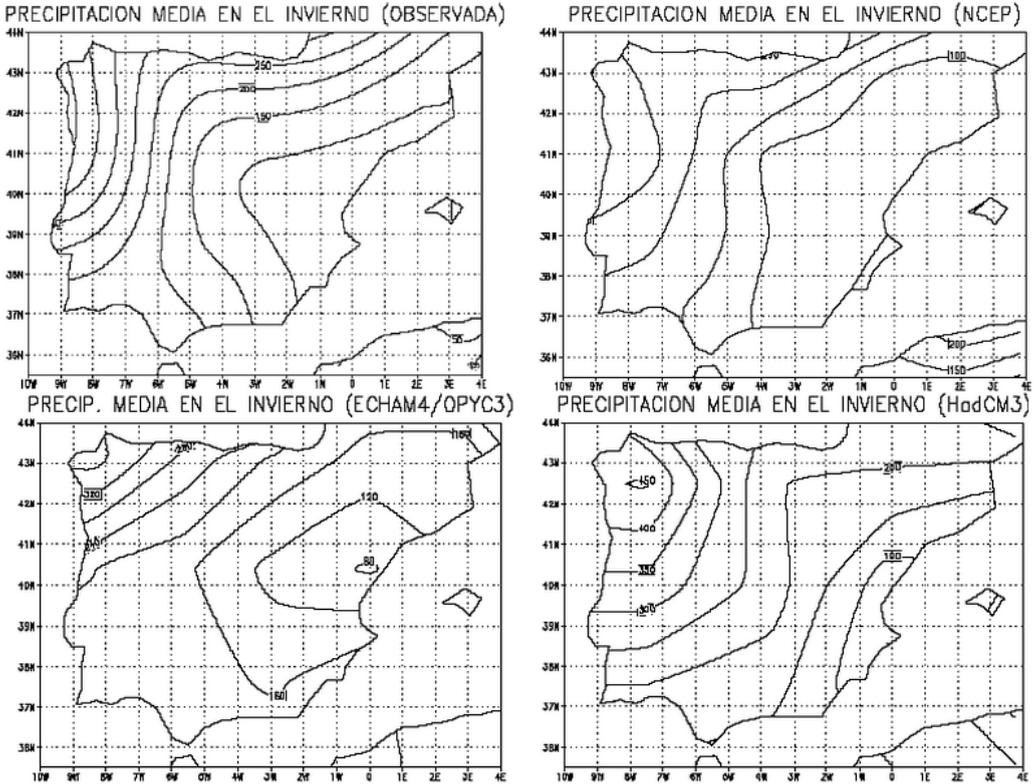


Figura 1: Mapas 1 a 4 (explicación en el texto).

- Sin embargo, no se obtiene un buen acuerdo para las series temporales de precipitación media de los modelos. Se ha realizado la comparación de la precipitación media del ECHAM4/OPYC3 con la precipitación media observada (gráfica 2), la precipitación media del HadCM3 con la precipitación media observada (gráfica 3) y las precipitaciones medias de los modelos entre sí (gráfica 4). En todos los casos las correlaciones son muy bajas: la más alta corresponde al modelo ECHAM4/OPYC3 y no supera el  $-0.16$ . Por lo tanto, la descripción de comportamiento temporal promedio no es adecuada, y tampoco el comportamiento de los modelos es similar.

### 3.2. Análisis de variabilidad espacial y temporal

Una vez analizado el comportamiento promedio de la precipitación, pasamos a estudiar la variabilidad. Para ello, hemos obtenido los principales patrones que describen la variabilidad espacial (utilizando el Análisis de Componentes Principales), así como la variabilidad temporal (con las

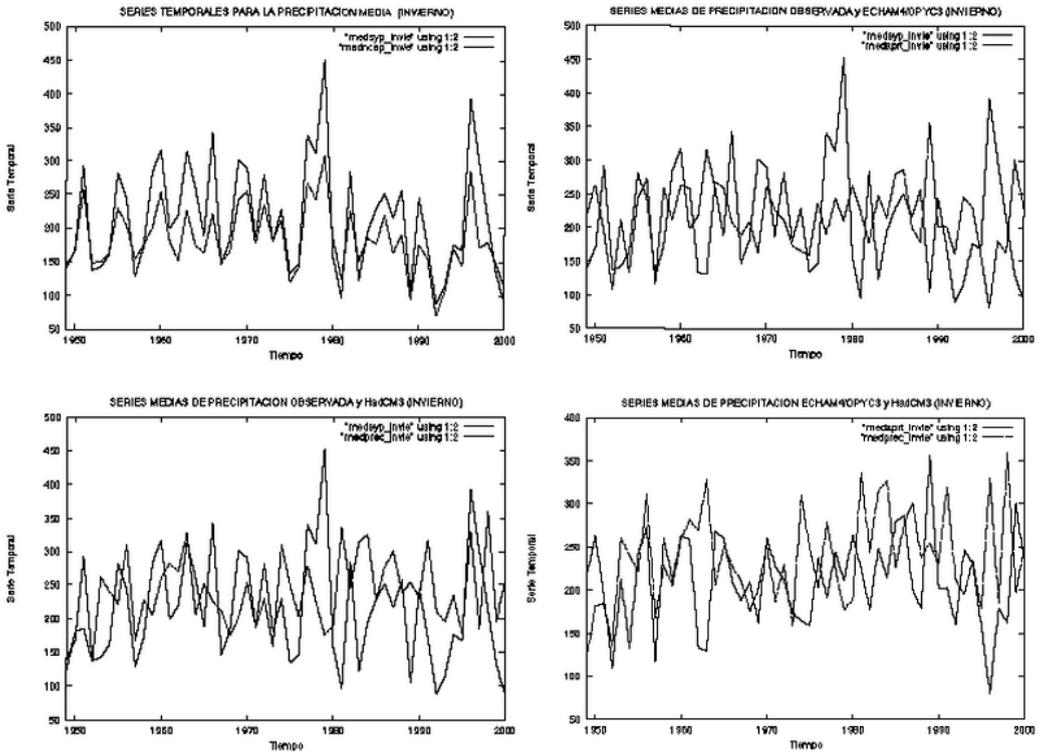


Figura 2: Gráficas 1 a 4 (explicación en el texto).

series temporales asociadas a los EOFs más importantes). A partir de los resultados de este análisis podremos analizar las posibles causas de la variabilidad de la precipitación, así como realizar comparaciones posteriores con la estructura proporcionada por los distintos tipos de datos.

- Se realiza en primer lugar el análisis de variabilidad espacial de la precipitación observada, mediante el Análisis de Componentes Principales, obteniéndose las Funciones Ortogonales Empíricas (Empirical Orthogonal Functions, EOFs). Se toman los tres primeros EOFs, que en total recogen aproximadamente el 78 % de la variabilidad de la precipitación, y se construyen los mapas correspondientes. Estos resultados del análisis de variabilidad espacial se muestran en los mapas 5, 6 y 7.
- El porcentaje de variabilidad explicado por cada uno de los EOFs considerados es del 58.92 % para el EOF1, 12.61 % para el EOF2 y 6.36 % para el EOF3.

Tabla 1: Correlación entre los 3 primeros PCs de precipitación observada y de reanálisis.

	PC1 observado	PC2 observado	PC3 observado
PC1 NCEP	<b>0.9120</b>	0.1817	0.2560
PC2 NCEP	-0.2197	<b>0.7197</b>	0.3932
PC3 NCEP	0.0139	0.3091	<b>-0.4008</b>

- Se obtienen también las series temporales asociadas a los patrones espaciales, llamadas Componentes Principales (Principal Components, Pcs), que compararemos con las procedentes de otros tipos de datos.
- Con el Análisis de Componentes Principales de los datos de reanálisis se obtiene la misma estructura espacial que con los datos observados, es decir, los mismos patrones de variabilidad espacial (EOFs), que se muestran en los mapas 8, 9 y 10 y que podemos comparar con los patrones mostrados previamente. Los porcentajes de variabilidad explicados por estos componentes son del 46.11 % para el EOF1, 17.84 % para el EOF2 y 13.68 % para el EOF3, y la variabilidad total explicada es aproximadamente del 77.6 %.
- Además, se encuentran las mismas series temporales (componentes principales), asociadas a los patrones de variabilidad anteriores, logrando en todos los casos un excelente acuerdo con las series correspondientes a los datos observados. Se muestra la correlación entre estos componentes principales en la tabla 1.
- Se han representado las series temporales observadas y del reanálisis juntas en las figuras 5, 6 y 7, donde se puede comprobar el buen acuerdo entre ellas.

Por otra parte, hemos calculado la estructura de la variabilidad espacial de la precipitación dada por los modelos, utilizando el mismo procedimiento para los datos de cada una de las mallas consideradas:

- Los resultados del Análisis de Componentes Principales indican que la estructura espacial es muy similar a la obtenida con los datos observados. Los mapas de la distribución espacial son los mapas 11, 12 y 13 para el ECHAM4/OPYC3, y los mapas 14, 15 y 16 para el HadCM3. Podemos ver que son bastante similares entre sí y coinciden con los mapas mostrados previamente.
- La variabilidad explicada por los tres patrones considerados es aproximadamente del 83.7 % para el ECHAM4/OPYC3 y del 80 % para el HadCM3, y los porcentajes de variabilidad dados por cada EOF son los siguientes: para el ECHAM4/OPYC3, el 44.60 % para el EOF1, 28.89 % para el EOF2 y 10.2 % para el EOF3; y para el HadCM3, el 43.45 % para el EOF1, para el EOF2 el 26.44 % y para el EOF3 el 10.05 %.

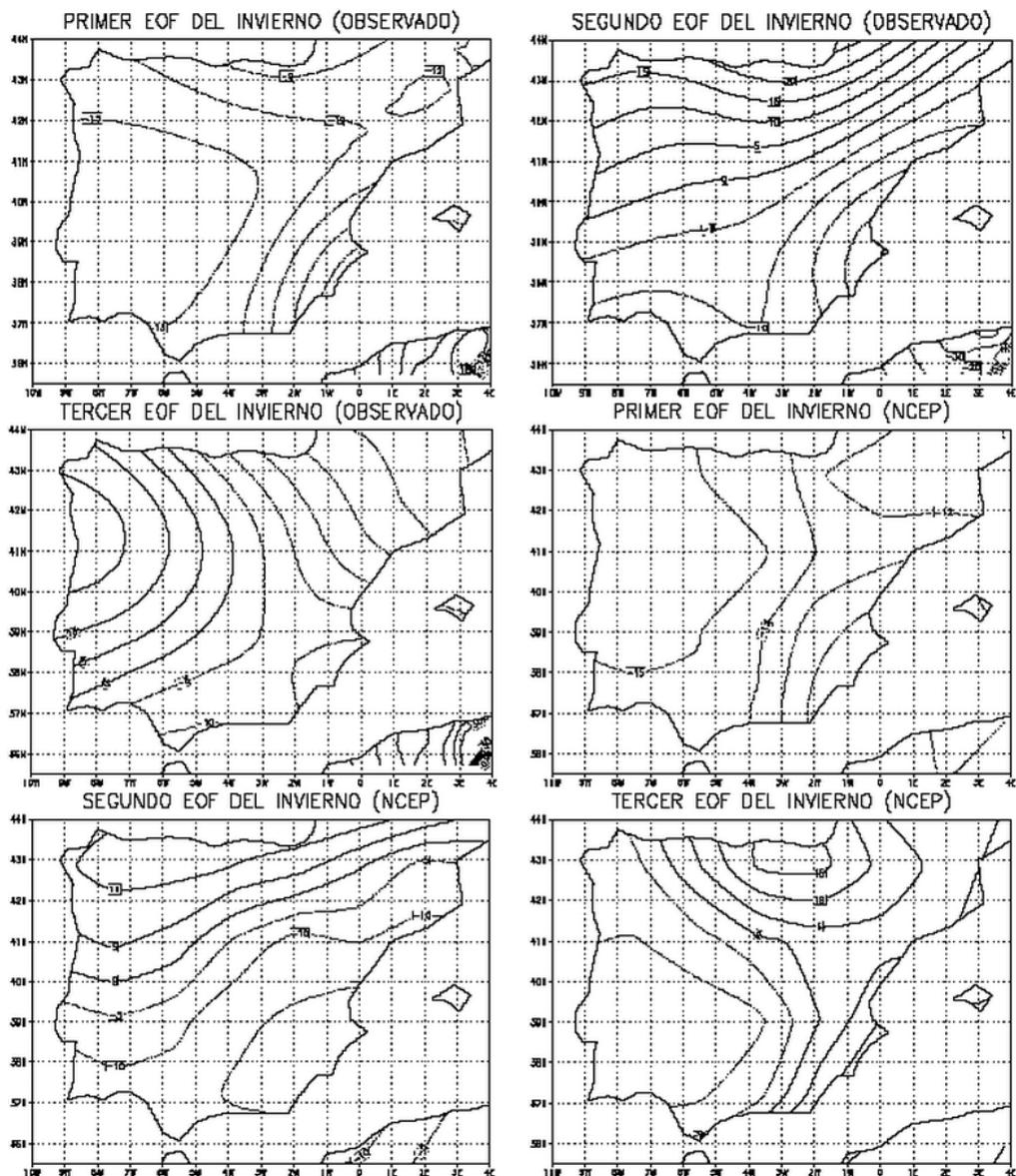


Figura 3: Mapas 5 a 10 (explicación en el texto).

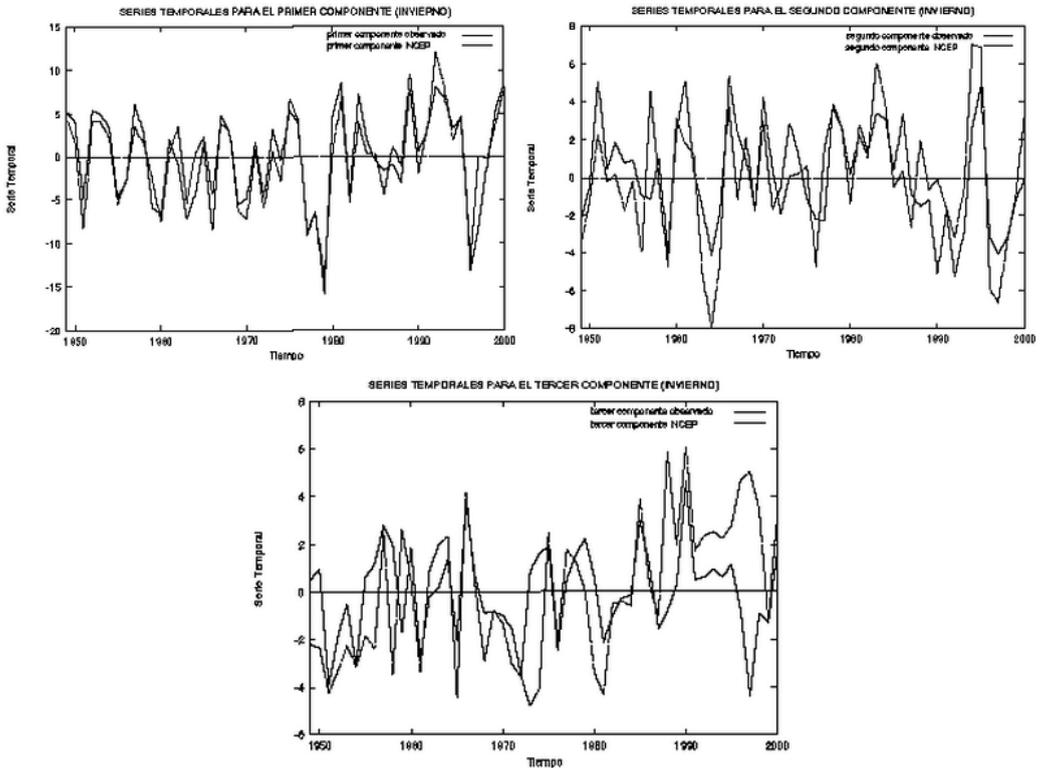


Figura 4: Gráficas 5 a 7 (explicación en el texto).

- Sin embargo, cuando se estudia la variabilidad temporal de los datos de los modelos, se obtienen unas correlaciones muy bajas entre los componentes principales de la precipitación observada y los componentes principales de los modelos, como podemos ver en las tablas 2 y 3. Eso significa que el comportamiento temporal no está adecuadamente reflejado en estos modelos, y que las series temporales asociadas son muy distintas a las obtenidas con los datos observados.

Por lo tanto, podemos ver que los datos de los modelos describen aproximadamente la estructura espacial de la precipitación observada, pero no proporcionan ningún acuerdo válido para la estructura temporal, que no aparece descrita de forma fiable. Dado que nuestro objetivo último es la predicción de la precipitación estacional, no resultaría adecuado utilizar los datos de precipitación de los modelos estudiados para incluirlos en un modelo de predicción climática sobre la Península Ibérica.

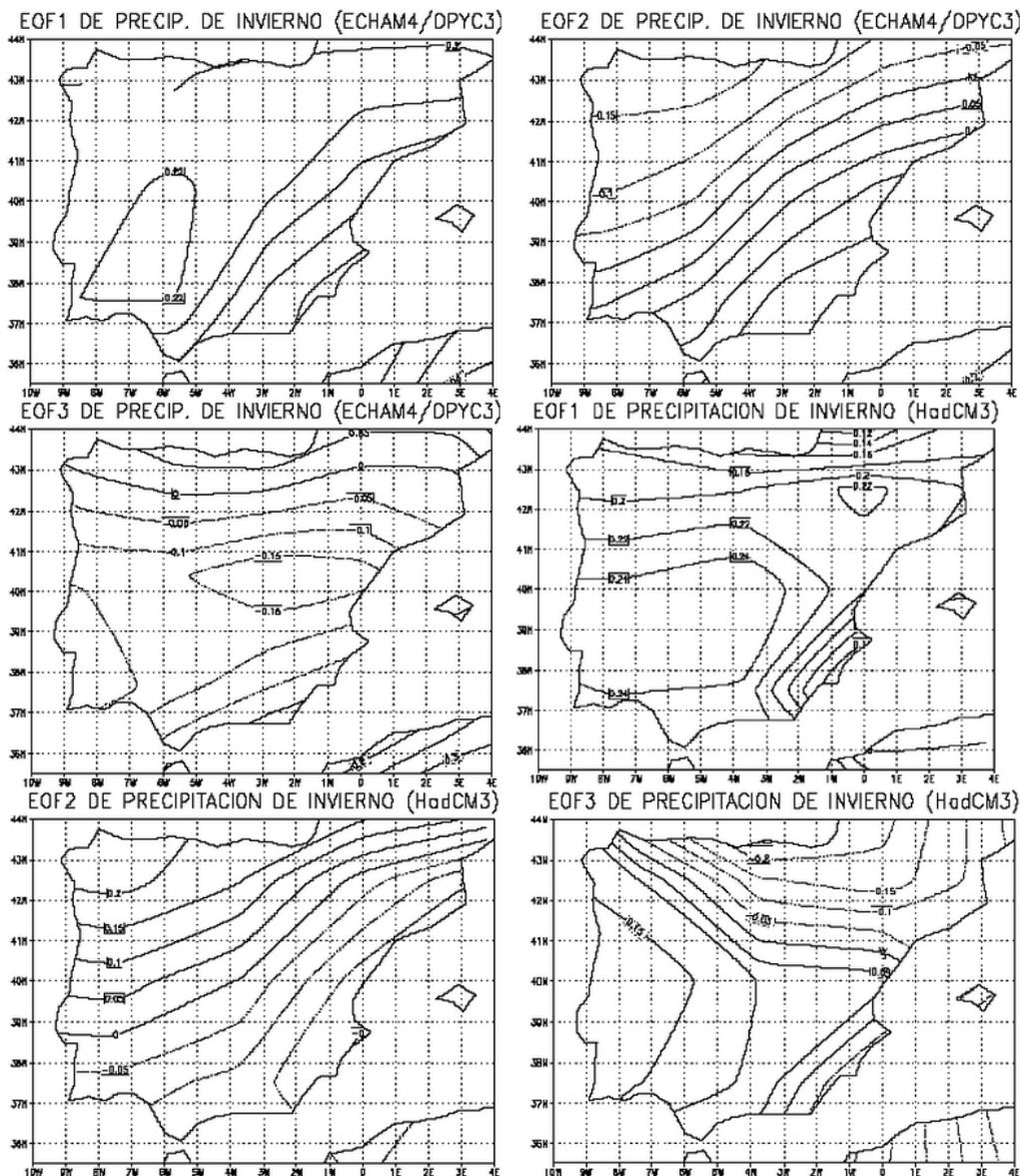


Figura 5: Mapas 11 a 16 (explicación en el texto).

Tabla 2: Correlación entre los 3 primeros PCs de precipitación observada y del ECHAM4/OPYC3.

	PC1 observado	PC2 observado	PC3 observado
PC1 ECHAM4/OPYC3	0.1812	0.1624	0.0931
PC2 ECHAM4/OPYC3	0.1734	0.2242	-0.1802
PC3 ECHAM4/OPYC3	-0.0334	0.2033	0.0948

Tabla 3: Correlación entre los 3 primeros PCs de precipitación observada y del HadCM3.

	PC1 observado	PC2 observado	PC3 observado
PC1 HadCM3	-0.1101	0.0569	-0.0676
PC2 HadCM3	-0.0518	0.0649	0.1370
PC3 HadCM3	-0.0260	-0.2480	-0.0999

#### 4. CONCLUSIONES

Podemos extraer diferentes conclusiones del estudio anterior:

1. Los datos de precipitación promedio del reanálisis han sido validados mediante diferentes análisis, y son adecuados para la descripción de la precipitación estacional en el área de la Península Ibérica. Esto ocurre tanto en su distribución espacial como en el comportamiento temporal.
2. En cuanto a los datos de los modelos considerados (ECHAM4/OPYC3 y HadCM3), la distribución espacial promedio se puede obtener de forma razonablemente buena con los modelos en el área de la Península Ibérica, reproduciendo de forma aceptable las estructuras de la precipitación observada. Sin embargo, el ajuste temporal de la precipitación promedio dada por los datos de estos modelos no resulta adecuado para la descripción del comportamiento de la precipitación.
3. En el análisis de variabilidad espacial y temporal, los datos del reanálisis siguen siendo adecuados, tanto en la distribución espacial como en el comportamiento temporal: los patrones espaciales son comparables, las correlaciones entre los componentes principales son elevadas, y el comportamiento de las series es muy similar.
4. En cuanto a los modelos, la distribución espacial de los patrones de variabilidad espacial es adecuada, pero no ocurre así con el ajuste temporal. No se han encontrado correlaciones significativas entre las series temporales asociadas a los modelos y las series temporales de los datos observados en ninguno de los análisis realizados.

5. Como conclusión final, podemos decir que mientras que los datos del reanálisis han sido validados de forma positiva, los datos proporcionados por los modelos considerados son sólo adecuados a nivel descriptivo para el estudio de la estructura espacial de la precipitación. Sin embargo no resultan en ningún caso adecuados para el estudio de la estructura temporal de la precipitación, y por lo tanto no son fiables para la predicción de la precipitación en la Península Ibérica.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos mostrar nuestro agradecimiento a los Institutos de Meteorología de España y Portugal, que han proporcionado los datos para realizar el estudio, así como a “The NCEP/NCAR (USA)” por los datos de reanálisis. También agradecemos su labor a los desarrolladores del “software” *GrADS* y *pyclimate* que hemos utilizado para el análisis de los datos y la posterior representación de los resultados del estudio.

Este trabajo se ha llevado a cabo gracias a la subvención de la C.I.C.Y.T., mediante el proyecto de investigación CLI99-0845-CO3-02, y de la Junta de Castilla y León, mediante el proyecto SA027/02.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ATCHLEY, W.R. y BRYANT, E.H. (eds.) (1975): *Multivariate Statistical Methods: Among-Groups Covariation*. Dowden, Hutchinson and Ross.
- JOHANSSON, A., BARNSTON, A., SAHA, S. y VAN DER DOOL, H. (1998): On the Level and Origin of Seasonal Forecast Skill in Northern Europa. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 104, pp. 103-127.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K., ROPELEWSKI, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, R. y JOSEPH D. (1996): The NCEP NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, pp. 437-471.
- PEIXOTO, J.P., y OORT, A.H. (1992): *Physics of Climate American Institute of Physics*.
- RODRIGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A.H., NIETO, S. y GARMENDIA, J. (1998): Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 299-316.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., NIETO, S., SÁENZ, J. y ZUBILLAGA, J., (1999): Influences of Teleconnection Indices on Iberian Peninsula Precipitation, *Proceedings of 8th Conference on Climate Variations*, American Meteorological Society, pp. 129-132.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A.H. y SÁENZ, J. (2001): Winter precipitation over the Iberian peninsula and its relationship to circulation indices. *Hidrology and Earth System Sciences*, 5(2), pp. 233-244.

SÁENZ, J., ZUBILLAGA, J. y RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. (2001): Interannual Variability of winter precipitation in Northern Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 21, pp. 1503-1513.

VON STORCH, H. y ZWIERS, H.W. (1999), *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press.