

MODELOS CLIMÁTICOS Y TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN

Susana Nieto⁽¹⁾, Concepción Rodríguez- Puebla⁽²⁾

⁽¹⁾Dpto. de Matemática Aplicada. Universidad de Salamanca. sni@usal.es

⁽²⁾Dpto. de Física General y de la Atmósfera. Universidad de Salamanca. concha@usal.es

INTRODUCCIÓN

Entre los objetivos de los estudios sobre el cambio climático se encuentran aquellos que tratan de identificar tendencias y otras señales de variabilidad utilizando modelos climáticos. Una de las dificultades en relación a la interpretación de las tendencias se debe a las desviaciones y errores entre los datos simulados respecto a los observados. Por ello nos hemos planteado el estudio sobre la adecuación de un conjunto de modelos climáticos globales para representar el comportamiento de la precipitación de invierno en la Península Ibérica. Para efectuar este trabajo sobre las discrepancias entre modelos y observaciones hemos seleccionado modelos con distintas características y que forman parte del 4º informe del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC). En este caso nos centramos en la validación del comportamiento espacial promediando la evolución temporal de invierno, así como en la comparación de las tendencias de la serie temporal de invierno obtenida a partir del promedio arealar para datos observados y simulados.

DATOS Y METODOLOGÍA

La base de referencia es el comportamiento de la precipitación observada en la Península Ibérica. En particular, trabajaremos con datos de precipitación acumulada trimestral, que en el caso del invierno, se consideran los meses de diciembre, enero y febrero. Estos datos corresponden a 55 localidades distribuidas irregularmente por la Península Ibérica. Han sido proporcionados por los Institutos de Meteorología de España y Portugal, y se considera el periodo comprendido entre los años 1949-2004. También usamos como referencia los datos de precipitación de invierno para la misma zona de la Península Ibérica y para el mismo periodo temporal procedentes del reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay et al, 1996).

Los datos de modelos climáticos utilizados en este estudio se enmarcan dentro del *Fourth Assessment Report* del IPCC, y los distribuye el “Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison” (PCMDI), <http://www.pcmdi.llnl.gov/>. Los modelos climáticos considerados son los nueve siguientes adoptando la denominación oficial:

- GFDL-CM2.0; desarrollado en E.E.U.U. por el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory. Sus características están desarrolladas en Delworth et al. (2002); the GFDL GAMD Team (2004), Dixon et al. (2003) y Knutson and Manabe (1998).
- PCM1; (Parallel Climate Model versión 1) desarrollado en E.E.U.U. por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) en colaboración con el DOE (*Department of Energy*). Más datos en Washington et al. (2000) and Dai et al. (2004).
- MIROC3.2; desarrollado en Japón por el Center for Climate System Research of the University of Tokyo (CCSR) y el National Institute for Environmental Studies (NIES). Más información en K-1, (2004).
- CNRM-CM3; modelo desarrollado en Francia por el Centre National de Recherches Meteorologiques. Más información en Déqué et al. (1994).
- MRI-CGCM2.3.2; desarrollado en Japón por el Meteorological Research Institute Más información en Yukimoto and Noda (2002).
- CGCM3.1; desarrollado en Canadá por el Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis. Más información en Flato et al. (2000).

- CSIRO-MK3.0; desarrollado en Australia por el Atmospheric Research Center Más información en Gordon et al. (2002).
- ECHAM5/MPI-OM desarrollado en Alemania por el Max Planck Institute for Meteorology, Más información en Roeckner et. al. (2003).
- CCSM3; desarrollado en E.E.U.U por el National Center for Atmospheric Research (NCAR). Más información en Collins et al. (2005).

Se trata de modelos globales elaborados en distintos centros y con distintas características, no sólo en la simulación del modelo, sino a su resolución espacial, integración temporal, etc.

Con el objeto de obtener un número común de datos para los distintos modelos y evitar los efectos de las diferentes resoluciones espaciales, se ha sometido a todos ellos a un proceso de “regrid”, interpolando espacialmente y ajustando los datos a una malla común: la malla considerada es de $2^\circ \times 2^\circ$. Obtenemos así un conjunto con el mismo número de datos (48 puntos de malla) tanto para cada uno de los modelos considerados como para los datos procedentes del reanálisis.

La ventana de trabajo en la que consideramos los datos de los distintos modelos y del reanálisis y que incluye a la Península Ibérica es la comprendida entre las latitudes 35°N y 46°N y las longitudes 11°W y 4°E . El periodo temporal objeto del estudio se corresponde con el utilizado para los datos observados, es decir entre 1949 y 2004.

RESULTADOS

Presentamos en las figuras 1 y 2 las características principales del comportamiento promedio espacial y temporal de la precipitación observada de invierno en la Península Ibérica, que es la base de comparación para el resto de los datos.

En la figura 1 se muestra la evolución de la serie temporal correspondiente al promedio de precipitación en las 55 localidades de la Península Ibérica. En esta serie observamos una ligera tendencia lineal decreciente (pendiente -0.20 mm/año), poco significativa como indica el test de Mann-Kendall (Z-test de -0.60):

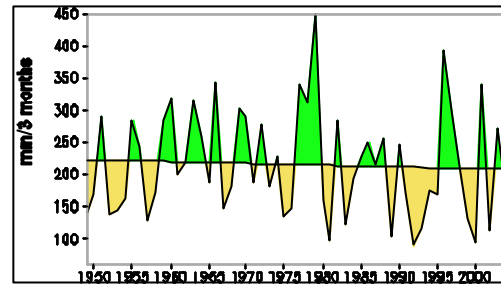


Fig. 1.-Evolución temporal del promedio espacial de precipitación observada de invierno en la Península Ibérica.

En la figura 2, se presenta la distribución espacial interpolada a partir de las 55 localidades (marcadas en la figura como un punto), correspondiente al promedio temporal de precipitación de invierno en la península Ibérica. Esta figura indica que la zona de mayores precipitaciones se corresponde a la zona oeste-noroeste de la Península Ibérica, obteniendo las menores precipitaciones en el este, sobre todo en la costa levantina. Las líneas de contorno están representadas cada 50mm, de manera que las precipitaciones mayores superan los 450mm en la costa atlántica de Galicia. Esta configuración espacial la representa, también, los datos de precipitación de invierno del reanálisis y los nueve modelos climáticos considerados.

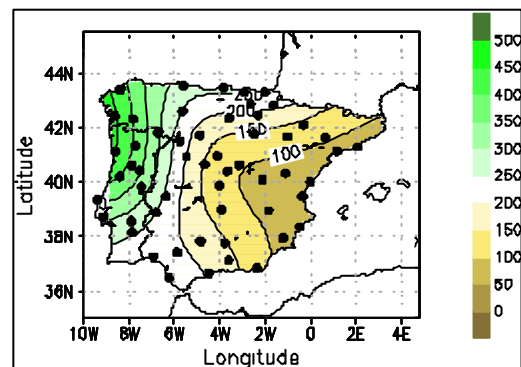


Fig. 2.-Distribución espacial del promedio temporal de precipitación observada de invierno en la Península Ibérica.

En la figura 3 se muestra la evolución temporal correspondiente al promedio arealar de precipitación de invierno obtenido para todos los puntos que forman la malla que cubre la Península Ibérica para los datos del reanálisis y de un subconjunto de los nueve modelos. Se puede observar una tendencia decreciente para los modelos GFDL, CNRM, CSIRO, ECHAM5 y

CCSM3. En general, los modelos y el reanálisis presentan una menor variabilidad que la proporcionada por los valores observados. Además, los datos del reanálisis y de algunos modelos como el CCSM3 tienden a subestimar la precipitación de invierno, mientras que la mayor parte de los modelos tienden a sobreestimarla, sobre todo el GFDL y CNRM.

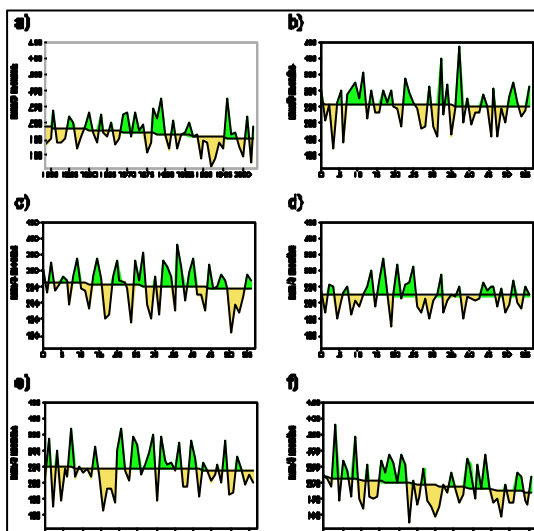


Fig. 3.- Evolución temporal del promedio espacial de precipitación de invierno en la Península Ibérica para a) reanálisis y los modelos b) GFDL; c) CNRM; d) CSIRO; e) ECHAM5 y f) CCSM3.

Las tendencias decrecientes presentes en estos modelos se han evaluado con un método lineal y mediante el test no paramétrico de Mann Kendall (Z-test), que nos cuantifica la significación. Los resultados para las pendientes (en mm/año) y para el Ztest se presentan en la tabla 1. La tendencia decreciente es más acusada en los modelos CNRM y el CCSM3, mientras que en otros es muy poco significativa, como es el caso del modelo GFDL y el CSIRO.

	PENDIENTE (MM/AÑO)	Z-TEST
GFDL	-0.14	-0.6
CNRM	-0.65	-1.9
CSIRO	-0.04	-0.1
ECHAM5	-0.02	-0.1
CCSM3	-1.00	-1.7

Tabla 1.- Valores de la pendiente y la tendencia decreciente (medida con el Ztest) para los modelos GFDL, CNRM, CSIRO, ECHAM5 y CCSM3.

La distribución espacial de la precipitación para estos modelos se muestra en la figura 4. Podemos observar semejanza en los gradientes de disminución de la precipitación desde el nor-oeste hacia el sur-este. Sin embargo, hay modelos que subestiman la precipitación como CCSM3 y el reanálisis mientras que otros la sobreestiman como CSIRO y ECHAM5. Los modelos GFDL y CNRM presentan valores más acordes con la precipitación observada. También, aparecen en esta figura 4 discrepancias en las zonas de menor precipitación que, en general, ocurren hacia Andalucía Oriental y los modelos sobreestiman la precipitación en esta zona de la Península Ibérica.

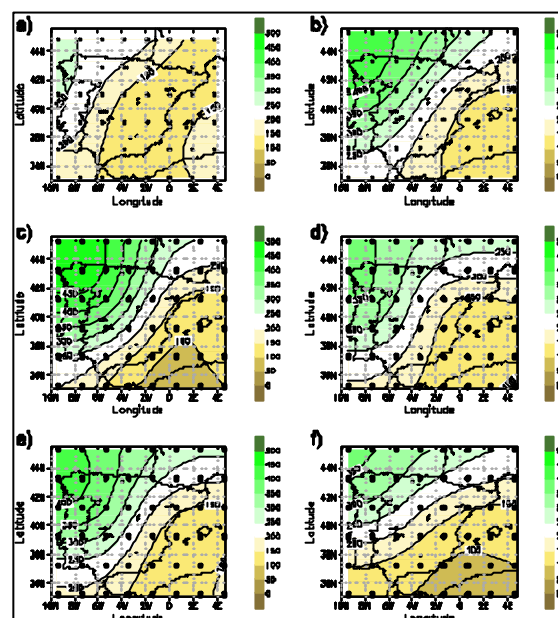


Fig. 4.- Distribución espacial del promedio temporal de precipitación de invierno en la Península Ibérica para a) reanálisis y los modelos b) GFDL; c) CNRM; d) CSIRO; e) ECHAM5; y f) CCSM3.

Hemos obtenido que otro conjunto de modelos presentan una tendencia de precipitación creciente. Son los modelos PCM1, MIROC, MRI, CGCM3 y ECHAM5, cuya evolución temporal de precipitación de invierno representamos en la figura 5.

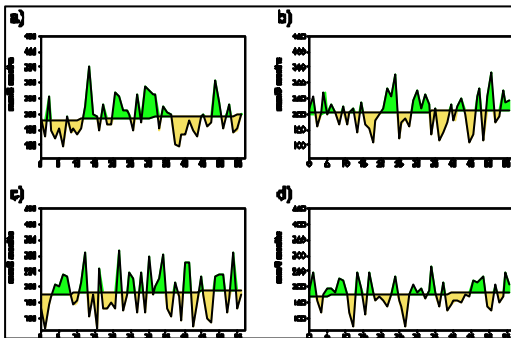


Fig. 5.- Evolución temporal del promedio espacial de precipitación en la Península Ibérica para los modelos a) PCM1; b) MIROC; c) MRI y d) CGCM3. Estos modelos presentan subestimación de la precipitación respecto a las observaciones.

La tendencia para estos modelos ha sido evaluada mediante un test de Mann-Kendall, obteniéndose los valores para las pendientes (en mm/año) y para el Z-test que se muestran en la tabla 2.

	PENDIENTE (MM/AÑO)	Z-TEST
PCM1	0.16	0.7
MIROC	0.29	0.8
MRI	0.35	0.5
CGCM3	0.13	0.1

Tabla 2.- Valores de la pendiente y la tendencia creciente (medida con el Z-test) para los modelos PCM1, MIROC, MRI y CGCM3.

La distribución espacial de la precipitación de invierno para estos modelos con tendencia creciente se presenta en la figura 6. Observamos que mantienen la configuración de las observaciones pero no resuelven detalles espaciales y, también, subestiman la precipitación.

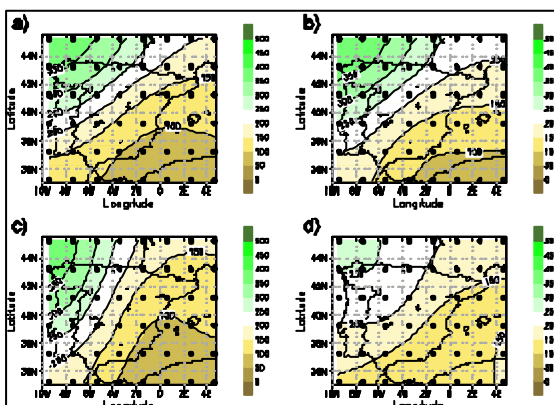


Fig. 6.-Distribución espacial del promedio temporal de precipitación en la Península Ibérica para los modelos a) PCM1; b) MIROC; c) MRI y d) CGCM3.

En definitiva, hemos obtenido discrepancias con distinto signo entre modelos respecto a los datos observados de la precipitación de invierno. Corregir las desviaciones de los modelos no es sencillo ya que es preciso analizar los mecanismos que causan estos errores. Para ello, llevamos a cabo un estudio con el fin de comprobar si los modelos son capaces de representar las variaciones de los campos climáticos de gran escala (Nieto and Rodríguez-Puebla 2006).

CONCLUSIONES

Debido a la necesidad creciente por comprender las causas de la tendencia del sistema climático, hemos iniciado un estudio comparativo de precipitación observada en invierno y los correspondientes resultados de simulaciones climáticas. Hemos obtenido que los modelos son capaces de representar las configuraciones espaciales pero no resuelven detalles asociados con la orografía. Además, hay discrepancias en la evolución temporal, en particular, en la componente de tendencia. Para poder proyectar los modelos en estudios de impactos del cambio climático, es preciso analizar las posibles fuentes de error de los modelos como, por ejemplo, los errores debidos a las resoluciones espaciales y a la caracterización adecuada de los procesos físicos responsables de las variaciones de precipitación en la península Ibérica.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a las organizaciones e instituciones que han hecho posible este trabajo, bien mediante la aportación de datos (Institutos Nacionales de Meteorología de España y Portugal, NCEP/NCAR, IPCC) o de herramientas gráficas y de programación (Python, PyClimate, GrADS, GNUPlot...). Esta labor está financiada por los Gobiernos Central (Proyecto de Investigación CGL2005-06600-CO3-01/CLI) y Autonómico (Junta de Castilla y León, Proyecto de Investigación SA039A05).

BIBLIOGRAFÍA

Collins W.D., C.M. Bitz, M.L. Blackmon, G.B. Bonan, C.S. Bretherton, J.A. Carton, P. Chang, S.C. Doney, J.J. Hack, T.B. Henderson, J.T. Kiehl, W.G. Large, D.S. McKenna, B.D. Santer, and R.D. Smith, 2005: The Community Climate System Model: CCSM3. (Submitted to *J. Climate*)

- Dai A., W.M. Washington, G.A. Meehl, T.W. Bettge and W.G. Strand, 2004: The ACPI climate change simulations. *Climatic Change*, **62**, 29-43.
- Delworth T.L., R.J. Stouffer, K.W. Dixon, M.J. Spelman, T.R. Knutson, A.J. Broccoli, P.J. Kushner and R.T. Wetherald, 2002: Review of simulations of climate variability and change with the GFDL R30 coupled climate model. *Climate Dyn.* **19**, 555-574.
- Déqué M., C. Dreveton, A. Braun, and D. Cariolle, 1994: The ARPEGE/IFS atmosphere model: A contribution to the French community climate modelling. *Climate Dyn.* **10**, 249-266.
- Dixon K.W., T.L. Delworth, T.R. Knutson, M.J. Spelman and R.J. Stouffer, 2003: A comparison of climate change simulations produced by two GFDL coupled climate models. *Glob. Planet. Change.* **37**, 81-102.
- Flato G.M., G.J. Boer, W.G. Lee, N.A. McFarlane, D. Ramsden, M.C. Reader and A.J. Weaver, 2000: The Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis Global Coupled Model and its Climate. *Climate Dyn.* **16**, 451-467.
- Gordon H.B., L.D. Rotstayn, J.L. McGregor, M.R. Dix, E.A. Kowalczyk, S.P. O'Farrell, L.J. Waterman, A.C. Hirst, S.G. Wilson, M.A. Collier, I.G. Watterson, and T.I. Elliott, 2002: The CSIRO Mk3 Climate System Model [Electronic publication]. *Aspendale: CSIRO Atmospheric Research. (CSIRO Atmospheric Research technical paper; no. 60)*.
- Kalnay E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **77**, 437-471.
- K-1 model developers, 2004: K-1 coupled model (MIROC) description. *Technical Report 1*, Center for Climate System Research, University of Tokyo.
- Knutson T.R. and S. Manabe, 1998: Model assessment of decadal variability and trends in the tropical Pacific ocean. *J. Climate.* **11**, 2273-2296.
- Nieto S. and Rodríguez-Puebla, 2006. Comparison of precipitation from observed data and general circulation models over the Iberian peninsula. *J. Climate (accepted)*
- Roeckner E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornbluh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, and A. Tompkins, 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model description. Max Planck Institute for Meteorology, Report 349. [available from MPI for Meteorology, Bundesstr. 53, 20146 Hamburg, Germany]
- The GFDL Global Atmospheric Model Development Team, 2004: The New GFDL Global Atmosphere and land model AM2-LM2: Evaluation with prescribed SST simulations. *J. Climate* **17**, 4641-4673.
- Washington W.M., J.W. Weatherly, G.A. Meehl, A.J. Semtner, Jr., T.W. Bettge, A.P. Craig, W.G. Strand, Jr., J.M. Arblaster, V.B. Wayland, R. James, Y. Zhang, 2000: Parallel climate model (PCM) control and transient simulations. *Climate Dyn.* **16**, 755-774.
- Yukimoto S. and A. Noda, A., 2002: <http://www-cger.nies.go.jp/publication/I054/I054-5.pdf>, 37-44.