

# EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE TELECONEXIÓN QUE AFECTAN A LA PENÍNSULA IBÉRICA CON MODELOS CLIMÁTICOS DEL AR4.

Nube GONZÁLEZ-REVIRIEGO<sup>1</sup>, Concepción RODRÍGUEZ-PUEBLA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Física General y de la Atmósfera, Universidad de Salamanca*  
nube@usal.es, concha@usal.es

## RESUMEN

En el contexto de la variabilidad a escala global y las teleconexiones, se investiga cómo las salidas de los modelos climáticos globales son capaces de simular los índices de teleconexión. El estudio se centra en el cálculo de los índices de teleconexión que afectan directamente al clima de la Península Ibérica, como son la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), el Atlántico Oriental (EA), el Escandinavia (SCAND) y el Atlántico Oriental-Oeste de Rusia (EA/WR). Se utilizan los datos de geopotencial en 500-hPa de los modelos climáticos globales del World Climate Research Program Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (WCRP CMIP3) para los experimentos del siglo XX y de emisiones medias A1B. El método para obtener los índices de teleconexión se basa en una regresión por Mínimos Cuadrados Parciales. Se analizan las diferencias espaciales y temporales entre los índices simulados y los que proporcionan en el "Climate Prediction Center", mediante correlaciones espaciales y tendencias. Este estudio serviría para determinar los posibles cambios de dichos patrones bajo escenarios de cambio climático y cómo estos pueden afectar al clima de la Península Ibérica.

**Palabras clave:** Modelos climáticos CMIP3, Variabilidad y cambio climático, Patrones de Teleconexión Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales.

## ABSTRACT

In the context of global variability and teleconnections, we investigate how climate models are able to simulate the Teleconnection Indices. The analysis is focused on the Teleconnection Indices that have impact on Iberian Peninsula climate, which are the North Atlantic Oscillation (NAO), the East Atlantic (EA), the Scandinavian pattern (SCAND) and the East Atlantic West Russia (EATL/WRUS). We use 500-hPa geopotential height data from models of World Climate Research Program Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (WCRP CMIP3) of the twenty century (20C3M) and emissions A1B experiments. The procedure to obtain the Teleconnection Indices is based on Partial Least Square (PLS) regression. Comparison of the simulated indices and the ones from Climate Prediction Center is performed in spatial and temporal domains by computing the spatial correlation and trends of the indices. This evaluation could be used to determinate the Teleconnection Patterns changes under warming conditions and how they could affect the Iberian Peninsula climate.

**Key words:** Climate models CMIP3, Variability and climatic change, Teleconnection Patterns, Partial Least Square regression.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre variabilidad climática en el Hemisferio Norte (HN) evidencian sistemas de circulación predominantes y Variabilidad de Baja Frecuencia (VBF). Estas estructuras, caracterizadas mediante anomalías de geopotencial, reciben el nombre de Patrones de Teleconexión (PT) (WALLACE y GUTZLER, 1981). Los PT se expanden sobre vastas áreas y durante escalas de tiempo de semanas a años. Los PT están relacionados con cambios de gran escala en las ondas atmosféricas y en las corrientes en chorro, ejerciendo su influencia en la temperatura, precipitación y trayectoria de las tormentas. Debido a la influencia de los PT sobre el clima, su estudio resulta de gran interés. Por ello, son numerosas las investigaciones llevadas a cabo sobre las teleconexiones atmosféricas y oceánicas. Una manera de obtener los PT es mediante el Análisis de Componentes Principales (PCA), sin embargo, cuando se trabaja con modelos, resulta complicado identificar los modos de variación del geopotencial con los PT. Por esta razón, en este estudio, se utiliza el método de regresión por Mínimos Cuadrados Parcial para obtener los PT.

En el Climate Prediction Center (CPC) de los EEUU proporcionan los Índices de Teleconexión (IT) asociados a cada patrón espacial del HN para el clima actual. Un aspecto de interés será determinar si los patrones definidos en el clima actual seguirán manteniendo su estructura bajo un escenario de emisiones de CO<sub>2</sub> más elevado del actual (RAUTHE *et al.*, 2004; KUZMINA *et al.*, 2005; STEPHENSON *et al.*, 2006; MEEHL *et al.*, 2007; HANDORF Y DETHLOFF, 2009). Así, el objetivo de este estudio es analizar cómo los modelos globales reproducen los IT del HN que afectan a la Península Ibérica (PI) y como se proyectarían en condiciones de aumento de CO<sub>2</sub>.

## 2. DATOS

Los datos de partida de este estudio son las salidas de los modelos globales proporcionadas por el World Climate Research Programme's Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (WCRP's CMIP3), que reúne los datos procedentes de las simulaciones utilizadas en el cuarto informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (AR4 IPCC) (MEEHL *et al.*, 2007). En concreto, en este estudio se utilizan datos mensuales de geopotencial en 500-hPa ( $Z_{500}$ ) correspondientes a los experimentos del siglo XX (20C3M) y de escenario de emisiones medias de CO<sub>2</sub> A1B para cada uno de los modelos que participan en el proyecto antes mencionado. También se utilizan los datos mensuales de geopotencial en 500-hPa del reanálisis del National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) (KALNAY *et al.*, 1996). Ambos tipos de datos están referidos al Hemisferio Norte (20°N-90°N) e interpolados a la malla común del reanálisis del NCEP/NCAR con resolución espacial de 2.5°×2.5°.

El estudio se ha realizado teniendo en cuenta el periodo 1950-1999 para los datos del reanálisis y del experimento 20C3M de los modelos; este periodo común permite comparar los resultados obtenidos con ambos datos. En el caso del experimento A1B el periodo considerado es 2001-2050. Además, se utilizan los datos mensuales de los IT para el HN definidos por el CPC (CPC, 2008). A partir de estos datos se obtienen los PT del HN mediante correlaciones entre los IT del CPC y el campo de anomalías estandarizadas mensuales de  $Z_{500}$  del reanálisis. Estos PT se tomarán como patrones de referencia para obtener los IT simulados.

### 3. METODOLOGÍA

Como ya se indica en la introducción, el objetivo de este estudio es obtener los IT simulados por los modelos. Para este fin, se utiliza el método de regresión por Mínimos Cuadrados Parciales (Partial Least Square regression, PLS) donde los predictores o variables independientes son los PT mensuales del CPC y los predictandos o variables dependientes son los datos del campo de anomalías estandarizadas de  $Z_{500}$  mensual de los modelos. Como resultado, se obtienen los coeficientes de la regresión, los cuales se corresponden con los IT simulados por los modelos. Por lo tanto, es preciso resolver el siguiente sistema de ecuaciones para un determinado año:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_{11}X_{11} + a_{12}X_{12} + \dots + a_{1p}X_{1p} \\ Y_2 &= a_{21}X_{21} + a_{22}X_{22} + \dots + a_{2p}X_{2p} \\ &\vdots \\ Y_{12} &= a_{121}X_{121} + a_{122}X_{122} + \dots + a_{12p}X_{12p} \end{aligned}$$

Las  $Y_1, \dots, Y_{12}$  representan los datos mensuales del campo de anomalías estandarizadas de  $Z_{500}$  de los modelos. Esto es, cada  $Y_i$  contiene las anomalías de todos los puntos que configuran la malla espacial para un tiempo concreto, en este caso, para cada mes. Las  $X_{ij}$  corresponden a los diez PT mensuales definidos por el CPC para el HN. Es decir, cada  $X_{ij}$  es un vector espacial al igual que ocurría con los  $Y_i$ . Así, el subíndice  $i$  ( $i=1 \dots 12$ ) representa cada una de las doce configuraciones espaciales mensuales y el subíndice  $j$  ( $j=1 \dots p$ ) indica cada uno de los diez PT definidos para el HN. Cabe señalar aquí, que cada uno de los diez PT definidos por el CPC tiene 12 configuraciones espaciales diferentes, una para cada mes, que se repiten a lo largo de los años. Por último, los coeficientes  $a_{ij}$  serán los IT simulados por los modelos. Hay diez índices diferentes ( $j=1 \dots p$ ) y cada uno de ellos varía mensualmente ( $i=1 \dots 12$ ). Este sistema de ecuaciones se repite para todos los años de los dos experimentos y para todos los modelos del CMIP3. Cada uno de los índices simulados por los modelos ( $a_{ij}$ ) tomará valores diferentes para cada mes y año.

Una vez obtenidos los IT de cada modelo para el experimento 20C3M, se calculan los PT simulados mediante las correlaciones entre los índices simulados y el campo de anomalías mensuales estandarizadas  $Z_{500}$  de los modelos. A continuación, se lleva a cabo una selección de modelos. Para ello, el criterio utilizado fue la similitud espacial entre la NAO, que es el primer modo de variabilidad del HN, simulada y “observada”. Dicha similitud fue cuantificada mediante el coeficiente de correlación espacial entre ambas configuraciones espaciales. Se consideraron aquellos modelos cuya correlación fuese igual o superior a 0.90 para la estación de invierno (DJF). Los modelos que cumplen con la condición anterior se muestran en la Tabla 1. Las características de estos modelos están detalladas en el capítulo 8 del cuarto informe del IPCC (RANDALL *et al.*, 2007).

Los IT simulados muestran una gran variabilidad, lo cual ocasiona un problema para la identificación de la tendencia. Por otra parte, los estudios con modelos climáticos recomiendan hacer predicciones y estudios estadísticos mediante conjuntos o “ensembles” de modelos (CHRISTENSEN *et al.*, 2009). Todavía no existen criterios objetivos para llevar a cabo la combinación de los modelos. En este estudio, se han promediado los IT correspondientes a cada modelo de la Tabla 1 y cada mes (Diciembre, Enero, Febrero). A partir de aquí, las referencias a los IT estarán referidas a este multi-modelo.

<b>Modelo</b>	<b>Resolución (atmósfera)</b>	<b>País</b>	<b>Referencia</b>
BCCR-BCM2.0	T63 L31	Noruega	Furevik et al. (2003)
CCCMA-CGCM3.1(T63)	T63 L31	Canadá	Flato et al. (2000)
CNRM-CM3	T63 L45	Francia	Salas-Mèlia et al. (2005)
CSIRO-MK3.5	T63 L18	Australia	Gordon et al. (2002)
GFDL-CM2.1	2.5°×2.0° L24	EEUU	Delworth et al. (2006)
MPI-ECHAM5	T63 L31	Alemania	Jungclaus et al. (2006)
MRI-CGCM2.3	T42 L30	Japón	Yukimoto et al. (2006)
UKMO-HADCM3	3.75°×2.5° L19	Reino Unido	Gordon et al. (2000)
UKMO-HADGEM1	1.875°×1.25° L38	Reino Unido	Johns et al. (2004)

Tabla 1: Modelos del CMIP3, en orden alfabético, utilizados para este estudio (<http://www-pcmdi.llnl.gov/>). En columnas, de izquierda a derecha, nombre del modelo, resolución horizontal y vertical del mismo, país y principal referencia que describe el modelo.

Los métodos estadísticos utilizados en la evaluación espacial y temporal de los índices simulados son: análisis de las correlaciones espaciales y estudio de la tendencia de los índices mediante el test Z de Mann-Kendall, ambas evaluaciones para el CPC y el multi-modelo. La significación de los coeficientes de correlación ha sido contrastada mediante el procedimiento estadístico de “bootstrap” con el fin de proporcionar intervalos de confianza para los resultados.

#### 4. RESULTADOS

Se presentan resultados para los siguientes IT: NAO, EA, EATL/WRUS y SCAND, que son los que influyen en el clima de la PI (RODRIGUEZ-FONSECA y RODRIGUEZ-PUEBLA, 2010).

En primer lugar, vamos a presentar una evaluación de los PT del multi-modelo para los experimentos 20C3M y A1B y a continuación, se determinan los cambios y la tendencia de los IT para ambos experimentos.

##### 4.1 Evaluación de los Patrones de Teleconexión

Para realizar esta evaluación tomamos como referencia los PT del CPC. La Figura 1 muestra los PT del CPC y de los dos experimentos del multi-modelo.

El multi-modelo, para los dos experimentos, localiza los centros de acción de los distintos patrones, aunque no con la misma intensidad y extensión que la proporcionada por los patrones del CPC. Mediante la correlación espacial se indica la habilidad del multi-modelo para representar la configuración espacial (Tabla 2). Los valores obtenidos indican un buen acuerdo, mejor en el caso del experimento 20C3M que para el A1B.

	<b>20C3M</b>	<b>A1B</b>
<b>NAO</b>	0.957±0.001	0.840±0.005
<b>EA</b>	0.923±0.003	0.711±0.008
<b>EATL/WRUS</b>	0.894±0.004	0.775±0.007
<b>SCAND</b>	0.881±0.004	0.818±0.007

Tabla 2: Coeficientes de correlación espacial entre los patrones espaciales de Teleconexión del CPC y los simulados por el multi-modelo en los dos experimentos 20C3M y A1B.

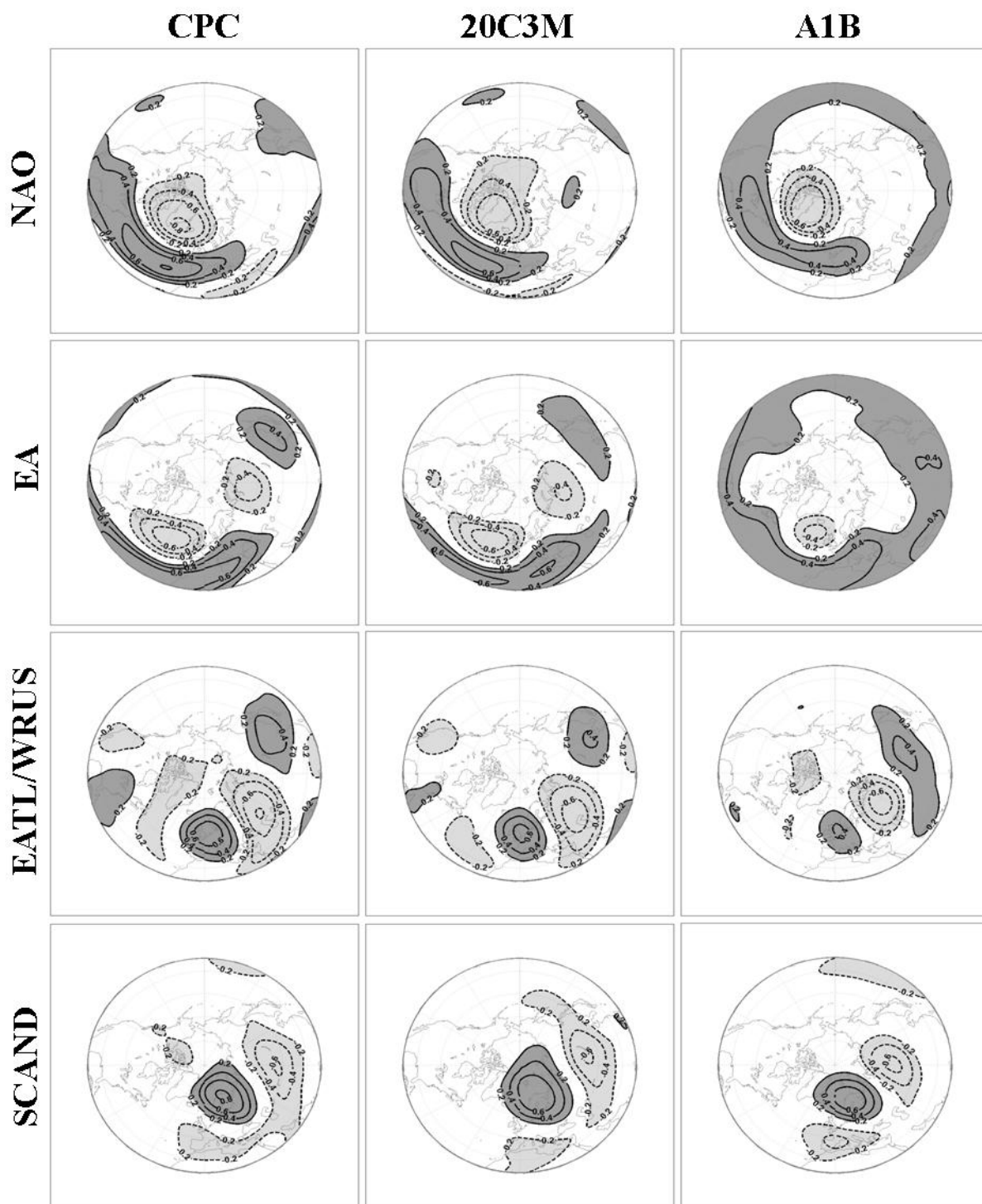


Figura 1: Patrones espaciales de teleconexión del CPC (primera columna) y simulados por los modelos para los escenarios 20C3M (segunda columna) y A1B (tercera columna). Cada una de las filas está referida a un Índice de Teleconexión diferente, de la parte superior hasta la inferior, los índices representados son, NAO, EA, EATL/WRUS y SCAND respectivamente.

Para el experimento 20C3M, los coeficientes de correlación son mayores para los patrones de la NAO y del EA y un poco inferiores para el EATL/WRUS y SCAND. Para el experimento de emisiones A1B, los coeficientes de correlación disminuyen con respecto a los del siglo XX. Esto se debe a que el calentamiento produce los siguientes efectos: en el caso de la NAO, su centro subtropical se desplaza hacia latitudes más al norte (OSBORN, 2004; KUZMINA *et al.*, 2005) y se expande el área de influencia; el patrón del EA disminuye su intensidad, extendiéndose el centro subtropical a lo largo de todas las longitudes. En cuanto a los patrones del EATL/WRUS y SCAND las estructuras espaciales se debilitan con respecto a las que se obtienen para el CPC. Que la intensidad de los centros de acción se debilite puede ser debido a la disminución de variabilidad de los IT por el hecho de promediar los modelos. Sin embargo, los cambios de localización de los centros tienen gran importancia por sus consecuencias en regímenes de vientos y propiedades de humedad y temperatura de las masas de aire que llegan a la PI.

#### **4.2 Evaluación de los Índices de Teleconexión**

La evaluación de los IT se realiza en la componente de tendencia pues en este estudio el interés se centra en los impactos que los cambios de tendencia de los IT producen en el clima de la PI. La Figura 2 muestra la evolución de los IT para los experimentos 20C3M y A1B. Como en el caso anterior, para la comparación se toman como referencia los IT del CPC, los cuales aparecen en la columna de la izquierda. Los IT del multi-modelo se muestran de la siguiente forma, por una parte, las líneas continuas representan cada uno de los IT y su tendencia, las cajas se corresponden con la desviación estándar que se obtiene al promediar los modelos y las líneas verticales indican los valores más extremos que han proporcionado los diferentes modelos.

En estas figuras destacamos: la disminución de variabilidad de los IT del multi-modelo con respecto a los del CPC, esto es debido a que al promediar se reduce gran parte de variabilidad de las series; las tendencias significativas de los IT para el experimento A1B. Para obtener el grado de significación de la tendencia se pueden utilizar diferentes test, en este estudio se cuantifica mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall (PRESS *et al.*, 1996), cuyos resultados se presentan en la Tabla 3. Valores de Z superiores, en valor absoluto, a dos, indican que la tendencia es significativa para un nivel de significación superior al 95%.

Los IT del CPC indican tendencias significativas y positivas para la NAO y el EA, mientras que los otros dos índices no indican tendencias significativas. Para el experimento 20C3M los valores de Z de los IT EA y NAO son próximos al nivel de significación considerado. En el caso de los IT del multi-modelo correspondiente al escenario de emisiones A1B, se obtienen tendencias significativas y positivas para la NAO y el EA. Para caracterizar la variación de estos índices con el tiempo se ha determinado la pendiente de la regresión mediante el método no paramétrico de Sen, obteniendo los siguientes cambios: el multi-modelo proyecta, bajo el escenario A1B, un incremento de del índice NAO de 0.10 por década y para el EA de 0.13 por década. Teniendo en cuenta que la NAO está relacionada opuestamente con la precipitación y que EA está relacionado directamente con la temperatura, estos resultados podrían ser responsables del descenso de la precipitación (RODRIGUEZ-PUEBLA y NIETO, 2009) y del aumento de la temperatura en la PI para la estación de invierno.

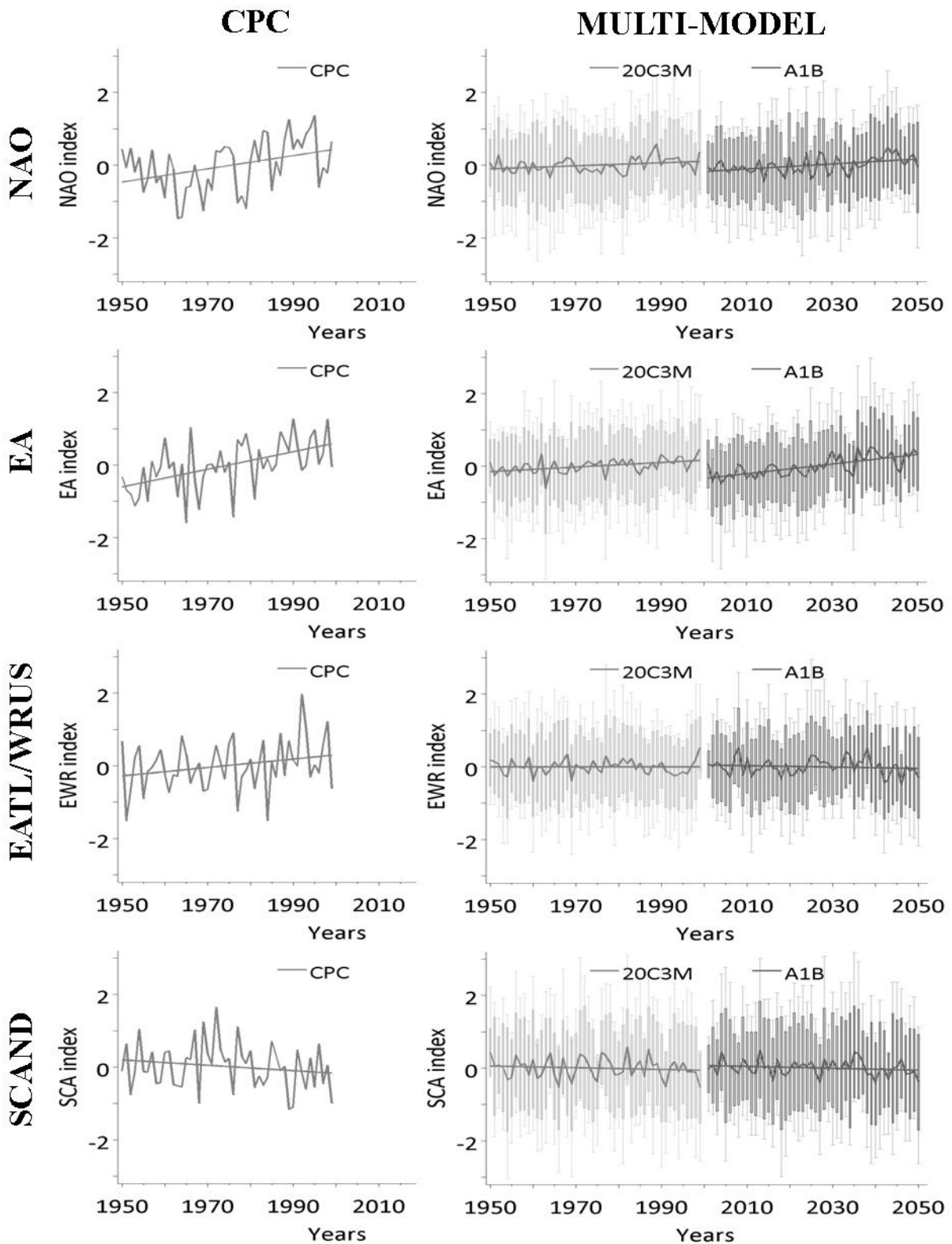


Figura 2: Series temporales de los índices, de arriba a abajo, NAO, EA, EATL/WRUS y SCAND, del CPC (primera columna) y del multi-modelo (segunda columna). En las gráficas del multi-modelo están representados los experimentos 20C3M (1950-99) y A1B (2001-50).

Las líneas gruesas representan la serie temporal y la tendencia, las cajas representan la desviación estándar de entre todos los modelos utilizados en el multi-modelo y las barras de error representan los valores extremos de los índices.

	<b>CPC</b>	<b>20C3M</b>	<b>A1B</b>
<b>NAO</b>	2.61	1.87	2.80
<b>EA</b>	3.71	3.40	5.03
<b>EATL/WRUS</b>	1.50	-0.50	-0.58
<b>SCAND</b>	-1.12	-0.64	-1.08

Tabla 3: Parámetro Z del test Mann-Kendall que indica la significación de la tendencia de la serie. Se muestran valores de los cuatro Índices de Teleconexión por filas, y por columnas, se muestran, de izquierda a derecha, las series del CPC, y de los experimentos del siglo XX y de emisiones A1B.

## 5. CONCLUSIONES

En este estudio se evalúan los índices de teleconexión (IT) que influyen en el clima de la Península Ibérica usando modelos del CMIP3 correspondientes a los experimentos 20C3M y de emisiones medias A1B, utilizando los IT del CPC como referencia. Uno de los aspectos de interés del estudio es la utilidad de la metodología de Regresión por Mínimos Cuadrados Parcial (PLS) para obtener los IT simulados. Entre los resultados obtenidos se destacan los siguientes: para el experimento del siglo XX las configuraciones espaciales de los Patrones de Teleconexión están altamente correlacionadas con las definidas por el CPC; en el caso del experimento de emisiones A1B, los coeficientes de correlación disminuyen ligeramente debido a que las estructuras de los patrones experimentan modificaciones, como por ejemplo, el centro subtropical de la NAO se desplaza hacia latitudes más al Norte y se produce una extensión del centro subtropical del EA por todas las longitudes tropicales del Hemisferio Norte. Los IT proyectan un incremento de la tendencia de la NAO en 0.1 por década y del EA en 0.13 por década. Estos resultados impactarían en el clima de la Península Ibérica, justificando así la disminución de precipitación y el aumento de la temperatura en el periodo invernal.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los grupos de modelización, al Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI) y el WCRP's Working Group on Coupled Modelling (WGCM) por hacer accesible los datos del WCRP CMIP3 multi-model, al NCEP/NCAR por sus datos de reanálisis, al Climate Prediction Center por los Índices de Teleconexión y a los desarrolladores del software CDAT. Este trabajo se ha realizado con la ayuda de los proyectos de investigación: CGL2008-04619 del Ministerio de Ciencia e Innovación, SA123/A08 de la Junta de Castilla y León con fondos Europeos del FEDER y MOVAC ref.200800050084028 del Ministerio de Medio Ambiente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

CPC (2008). Climate Prediction Center. On-Line: <http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>



CHRISTENSEN J.H., RUMMUKAINEN M. y LENDERINK (2009). *Formulation of very-high resolution regional climate model ensembles for Europe*. En: *Ensembles climate change and its impacts. Summary of research and results from the ENSEMBLES Project*. pp. 47-58

DELWORTH T.L. y otros (2006). *GFDL's CM2 global coupled climate models. Part I: formulation and simulation characteristics*. J. Climate, 19, pp. 643-674.

FLATO G.M., BOER G.J., LEE W.G., McFARLANE N.A., RAMSDEN D., READER MC. y WEAVER A.J. (2000). *The Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis global coupled model at its climate*. Climate Dyn., 16, pp. 451-467.

FUREVIK T., BENTSEN M., DRANGE H., KVAMSTO N. y SORTEBERG A. (2003). *Description and evaluation of the Bergen climate model: ARPEGE coupled with MICOM*. Climate Dyn., 21, pp. 27-51.

GORDON C., COOPER C., SENIOR C.A., BANKS H.T., GREGORY J.M., JOHNS T.C., MITCHELL J.F.B. y WOOD R.A. (2000). *The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of Hadley Centre coupled model without flux adjustments*. Climate Dyn., 16, pp. 147-168.

GORDON H.B. y otros (2002). *The CSIRO Mk3 climate system model*. CSIRO Atmos. Res. Tech. Rep., 60, 130.

HANDORF D. y DETHLOFF K. (2009). *Atmospheric teleconnections and flow regimes under future climate conditions*. Eur. Phys. J. Special Topics, 174, pp. 237-255.

JOHNS T., DURMAN C., BANKS H., ROBERTS M., McLAREN A., RIDLEY J. y otros (2004). *HadGEM1-model description and analysis of preliminary experiments for the IPCC Fourth Assessment Report*. Teach. Rep, 55, UK. Met Office, Exeter, UK.

JUNGCLAUS J.H. y otros (2006). *Ocean circulation and tropical variability in the coupled model ECHAM5/MPI-OM*. J. Climate, 19, pp. 3952-3972.

MEEHL, G.A., COVEY C., DELWORTH T., McAVANEY B., MITCHELL J.F.B., STOUFFER R.J. y TAYLOR K.E. (2007). *The WCRP CMIP3 multimodel dataset: a new era in climate change research*. Bulletin of the American Meteorological Society, 88, pp. 1383-1394.

MEEHL G.A., STOCKER T. F., COLLINS W. D., FRIEDLINGSTEIN P., GAYE A. T., GREGORY J. M. y otros (2007). *Global Climate Projections*. En: SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B. y otros (Eds). *Climate Change 2007: The physical science basic. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

KALNAY E., KANAMITSU M., KISTLER R., COLLINS W., DEAVEN D., GANDIN L. y otros (1996). *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*. Bulletin of the American Society, 77, pp. 437-471.

KUZMINA S.I., BENGTTSSON L., JOHANNESSEN O.M., DRANGE H., BOBYLEV L. y MILES M. W. (2005). *The North Atlantic Oscillation and greenhouse-gas forcing*. Geophys. Res. Lett., 32, L04703, doi:10.1029/2004GL021064.

OSBORN T.J. (2004). *Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse gas forcing*. Climate Dyn., 22, pp. 605-623.

RANDALL D.A., WOOD R.A., BONY S., COLMAN R., FICHEFET T. y otros (2007). *Climate Models and Their Evaluation*. En: SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., AVERYT K.B. y otros (Eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

RAUTHE M., HENSE A. y PAETH H. (2004). *A model Intercomparison study of climate change-signals in extratropical circulation*. Int. J. Climatol., 24, pp. 643-662.

RODRIGUEZ-FONSECA B. y RODRIGUEZ-PUEBLA C. (2010). *Teleconexiones climáticas en el entorno de la Península Ibérica. Predictabilidad y cambios esperados*. En: PEREZ F.F. y BOSCOLO R. (Eds). *Clima en España: Pasado, presente y futuro. Informe de evaluación del cambio climático regional*. Red Temática CLIVAR-España. pp. 53-68.

SALAS-MELIÁ D., CHAUVIN F., DEQUE M. y otros (2005). Description and validation of the CNRM-CM3 global coupled model. CNRM, Note de Centre no. 103, 36 pp.

PRESS W., TENKOLSKY S., VETTERLING W. y FLANERY B. (1996). *Numerical recipes in Fortran 77: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press.

RODRIGUEZ-PUEBLA C. y NIETO S. (2009). *Trends of precipitation over the Iberian Peninsula and the North Atlantic Oscillation under climate change conditions*. Int. J. Climatol., publicada online en Wiley InterScience. DOI: 10.1002/joc.2035.

STEPHENSON D.B., PAVAN V., COLLINS M., JUNGE M.M. y QUADRELLI R. (2006). *North Atlantic Oscillation response to transient greenhouse gas forcing and the impact on European winter climate: a CMIP2 multi-model assessment*. Climate Dyn., 27, pp. 401-420.

WALLACE J.M. y GUTZLER D.S. (1981). *Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter*. Mon. Wea. Rev., 109, pp. 784-812.

YUKIMOTO S. y otros (2006). *Present-day climate and climate sensitivity in the Meteorological Research Institute coupled GCM version 2.3 (MRI-CGCM2.3)*. J. Meteor. Soc. Japan 84: 333-363.