

ESTUDIO DE TENDENCIAS DE PRECIPITACIÓN EN LA PENÍNSULA IBÉRICA A PARTIR DE DATOS DE MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES

Susana NIETO ISIDRO¹, Concepción RODRÍGUEZ-PUEBLA²

¹*Departamento de Matemática Aplicada, Universidad de Salamanca*

²*Departamento de Física de la Atmósfera, Universidad de Salamanca*

sni@usal.es, concha@usal.es

RESUMEN

En este trabajo se analiza la tendencia de la precipitación en la Península Ibérica para los climas del siglo XX y XXI, usando los datos de modelos climáticos y los escenarios de emisiones (SRES; *Special Report on Emission Scenarios*) actualmente en uso del CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project, phase 3*). Este análisis de la tendencia de la precipitación se realiza de forma indirecta haciendo uso de las relaciones entre las variables climáticas a gran escala asociadas con la precipitación, como la presión a nivel del mar.

Palabras clave: Precipitación, Presión al nivel del mar, Análisis de tendencia, Cambio Climático.

ABSTRACT

In this work we analyse the precipitation trend over the Iberian Peninsula for the 20th and 21st centuries using data from the current GCMs (*Global Climate Models*) and the emission scenarios (SRES, *Special Report on Emission Scenarios*) from the phase 3 of the CMIP (*Coupled Model Intercomparison Project*). This trend analysis will be carried out through large-scale climatic variables which were demonstrated to be related with precipitation, such as the sea level pressure.

Key words: Precipitation, Sea level pressure, Trend Analysis, Climate change.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del marco general de la investigación sobre el cambio climático, una de las principales líneas de actualidad es el estudio de las consecuencias de un posible cambio climático en diversas escalas, tanto locales como regionales. Este estudio es de especial interés para las instituciones que deben tomar decisiones sobre cuestiones tales como política de regadíos, planificación hidrológica o de consumo de agua, recursos energéticos, protección civil ante sequías prolongadas, lluvias torrenciales o incendios, tipos de uso de suelo, etc. Véase, por ejemplo, las iniciativas para la generación de escenarios regionales de cambio realizadas por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) del Gobierno español mediante el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) publicado en 2006, y que establece el marco general de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Según el texto de este Plan Nacional (que se puede consultar

en

http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pnacc.htm), una de las actuaciones a llevar a cabo incluye “el análisis de los resultados propuestos por los modelos climáticos globales en la geografía española”, como es la intención de este trabajo. Al abordar el estudio de las variables climáticas de interés, hemos optado por centrarnos en el análisis de la precipitación. Si bien esta variable posee una fuerte componente aleatoria y depende en gran parte de factores locales, es de gran importancia para valorar el posible impacto del cambio climático en la Península Ibérica, dada su amplia repercusión en muy diversos campos económicos y sociales, sobre todo en los recursos hídricos. Así, tal y como indica el MMA “los recursos hídricos en España, en su más amplia acepción, son considerados un factor de máxima prioridad”, dado que el desarrollo de “muchos otros sectores tales como el turismo, la agricultura, el sector forestal, etc. está condicionado por las opciones de adaptación posible en los escenarios hidrológicos proyectados”.

Por otra parte, hay diferentes planteamientos para obtener información sobre el comportamiento actual o previsto de variables locales como la precipitación a partir de las salidas generadas por los actuales modelos climáticos globales. Uno de ellos es extraer directamente los datos de las variables de interés proporcionadas por los modelos climáticos para la zona geográfica de estudio. Sin embargo, la resolución de los modelos no siempre es lo suficientemente adecuada para asegurar la fiabilidad de las conclusiones obtenidas sobre variables fuertemente aleatorias (como la precipitación), en áreas pequeñas como la Península Ibérica. Otra de las opciones es derivar el comportamiento de las variables a escala local a partir de otras variables a escala global como la presión a nivel del mar en el Atlántico, que está fuertemente relacionada con la precipitación en la Península Ibérica. En este caso, resulta muy útil considerar los patrones de circulación atmosférica asociados a las principales características de las variables locales.

Para el caso de la precipitación, su comportamiento también puede ser estudiado mediante la generación de índices o indicadores, que se pueden relacionar con el comportamiento de variables a gran escala, y que permiten extraer las principales características de sus variaciones temporales con mayor facilidad (RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al*, 1998), (RODRÍGUEZ-PUEBLA *et al*, 2001), (VICENTE-SERRANO y CUADRAT, 2008). Estos índices, para que sean de utilidad, deben contener además no sólo la información sobre la variación temporal, sino también la información asociada a la variabilidad espacial de la variable a estudiar. Por ello, nos hemos decantado por el uso como índice de la serie temporal asociada al principal patrón espacial de la precipitación, patrón obtenido mediante el uso de Componentes Principales, como detallaremos más adelante.

2. DATOS UTILIZADOS Y METODOLOGÍA APLICADA EN ESTE ESTUDIO

2. 1. Datos utilizados

Los datos de los modelos climáticos globales utilizados son los proporcionados por el WCRP (*World Climate Research Programme*) de las Naciones Unidas en su proyecto de comparación de modelos acoplados denominado CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 3*). Dado el gran número de modelos climáticos que distribuye el PCDMI (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*) en su página web <http://www-pcmdi.llnl.gov/>, se ha procedido a una selección de dichos modelos, analizando aquellos que mejor representan el

comportamiento observado en la zona del Atlántico Norte y Europa que incluye a la Península Ibérica.

Para caracterizar este comportamiento de las variables observadas en el Atlántico Norte se ha optado por utilizar los datos proporcionados por el proyecto de reanálisis del NNR (*NCEP/NCAR Reanalysis 1, National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*) en su página web <http://www.cdc.noaa.gov/> (KALNAY *et al.*, 1996), (KISTLER *et al.*, 2001). Ya se ha mostrado en diversos estudios como los realizados previamente (NIETO *et al.*, 2004), que para el caso de variables como la precipitación y la presión a nivel del mar, el acuerdo de los datos observados y los datos del reanálisis es bastante elevado en la zona de interés que incluye la Península Ibérica.

En cuanto a las variables de gran escala utilizadas, se trata principalmente de la presión a nivel del mar muy relacionada con la precipitación en la Península Ibérica, como ya se mostró en trabajos previos (NIETO y RODRÍGUEZ-PUEBLA, 2006). Otras variables que pueden ser consideradas en un estudio serían la corriente en chorro, el *storm track*, el transporte meridional de humedad, el transporte zonal de humedad, etc., si bien la que presenta mayores correlaciones es la presión a nivel del mar (que a partir de ahora simbolizaremos por SLP), por lo que constituye el objeto principal de este estudio.

El análisis se ha realizado para dos periodos temporales distintos. Consideraremos como clima presente el correspondiente a los datos anuales de las diversas variables desde 1950 hasta el año 2000, y como clima futuro el correspondiente a la primera mitad del siglo XXI, desde el año 2000 hasta el 2050. Esta distribución temporal también ha limitado la selección de los modelos a estudiar, puesto que no todos los modelos que poseen datos en el periodo actual han desarrollado experimentos para el periodo futuro. Dentro del climafuturo, se han tenido en cuenta tres posibles escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero de los proporcionados en el SRES, descritos con detalle en (NAKICENOVIC y STEWART, 2000). Estos tres escenarios son el escenario A1B, el escenario A2 y el escenario B1: al obtener previsiones teniendo en cuenta a todos ellos se cubre suficientemente el amplio espectro de suposiciones demográficas, sociales, etc., previsto por los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

En cuanto al área de estudio, el trabajo se realiza en dos “ventanas” o mallas diferentes. Por una parte, la ventana local correspondiente a la Península Ibérica, situada entre las coordenadas geográficas de latitudes 35°N y 46°N y longitudes 11°W y 4°E. Además, para las variables a gran escala, se considera una ventana que cubre el área del Atlántico Norte y Europa, y que abarca desde 20° hasta 80°N en latitud y desde 60°O hasta 30°E en longitud. Esta ventana más grande permite identificar con mayor claridad los centros de acción característicos de los patrones espaciales de variación de algunas variables a gran escala, como la presión a nivel del mar, que afectan a la climatología de la Península Ibérica. Este es el caso del patrón de variación espacial característico de la Oscilación del Atlántico Norte o NAO, (BARSTON y LIVEZEY, 1987), (HURRELL, 1995), (HURRELL y VAN LOON, 1997) y cuya influencia en la climatología de la Península Ibérica y en el comportamiento de las variables locales en esta zona para distintas agrupaciones estacionales y anuales está bien establecido, como veremos con más detalle en el transcurso de este trabajo.

2. 2. Métodos

Se han utilizado diversos métodos de estudio en este trabajo, en función de las necesidades y objetivos de cada parte. Así, como método de reducción de la variabilidad de los datos geofísicos, identificación de patrones espaciales y generación de series temporales adecuadas como índices, se ha utilizado el Análisis de Componente Principales, también denominado Análisis EOF (*Empirical Orthogonal Functions*) (WILKS, 2006), (JOLLIFE, 2002), (VON STORCH, 1995), (PREISENDORFER y MOBLEY, 1988). Además, antes de realizar este Análisis EOF se ha utilizado una corrección sobre los campos a gran escala que consiste en multiplicar el campo original por la raíz cuadrada del coseno de la latitud, (WU y STRAUS, 2004). La aplicación de este factor de corrección nos permite ajustar el impacto que tiene el diferente tamaño de las cuadrículas de las mallas a las distintas latitudes para los campos considerados a una gran escala.

Por otra parte, con el objeto de seleccionar los modelos más adecuados a los datos observados se comparan los patrones espaciales mediante la correlación espacial de los puntos de malla. Esta correlación se ha podido llevar a cabo después de someter a los datos iniciales de los modelos a un proceso de “*regrid*” para que las mallas de datos de los distintos modelos climáticos sean comparables. Este “*regrid*”, así como la lectura y extracción de los datos procedentes de modelos, la concatenación de ficheros, etc., se ha llevado a cabo con la herramienta específica de gestión de datos climáticos CDAT (*Climate Data Analysis Tool*) proporcionada por el PCMDI en su página web <http://www-pcmdi.llnl.gov/software-portal/cdat>. Para ello, se ha escogido como malla de referencia para el “*regrid*” la proporcionada por los datos de reanálisis, que en las latitudes y longitudes consideradas produce una malla de 37x25=925 puntos de malla para la ventana del Atlántico Norte y Europa: el resto de los modelos climáticos ha sido ajustado a este tamaño de malla.

La relación entre las series obtenidas con los datos de reanálisis o las relaciones internas entre variables procedentes del mismo modelo climático. Dado que los distintos modelos no son comparables temporalmente, para la comparación entre series temporales de variables procedentes de distintos modelos climáticos se ha recurrido al análisis espectral (CHATFIELD, 1980). Para el estudio de la tendencia de estas series se ha utilizado el test no paramétrico de Mann-Kendall, (PRESS *et al*, 1996). Este test no paramétrico es adecuado para aquellos conjuntos de datos que no se ajustan a la distribución normal, por lo que es de utilización en variables como la precipitación.

Los programas elaborados para gestionar la información generada por los modelos climáticos y realizar los diversos análisis han sido desarrollados en varios lenguajes de programación, entre ellos FORTRAN y el lenguaje de programación, usando las librerías estadísticas IMSL y Numerical Recipes, también usamos Python, de libre distribución y disponible en su página web <http://www.python.org/>, <http://www.pyclimate.org/> y las herramientas gráficas como GrADS (*Grid Analysis and Display System*) para la representación de mapas y patrones espaciales y series temporales (<http://grads.iges.org/grads/>)

3. RESULTADOS

3. 1. Tendencias en el periodo actual

En primer lugar mostramos en la Figura 1 la serie de precipitación anual promediada para toda la península Ibérica y la serie correspondiente al primer modo de variación de la serie de

precipitación anual observada. La serie correspondiente al primer componente principal (PC1) es un indicador de la mayor proporción de variabilidad de la precipitación (aproximadamente el 55%).

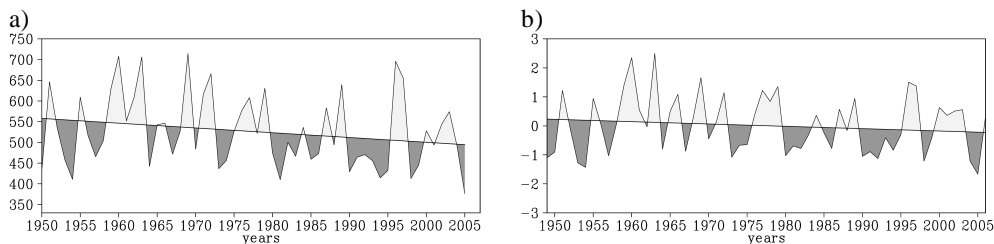


Fig 1. a) Serie anual de precipitación promediada para el área de la península Ibérica y b) PC1 de precipitación anual de los datos observados.

Podemos ver en esta Figura 1 una clara tendencia decreciente a lo largo de este periodo, más significativa para los valores de precipitación observados que para el PC1. Según el resultado del test Z de Mann-Kendall, para la serie de precipitación observada es de **-1.6**. Sin embargo, los datos de precipitación de los modelos climáticos correspondientes al siglo XX no indican tendencia, lo cual puede ser debido a la falta de resolución espacial de los modelos climáticos para una ventana pequeña como es la de la Península Ibérica: por ello, y dadas las relaciones entre variaciones climáticas regionales y la circulación atmosférica, vamos a representar las variaciones de precipitación mediante el comportamiento a gran escala de la presión al nivel del mar.

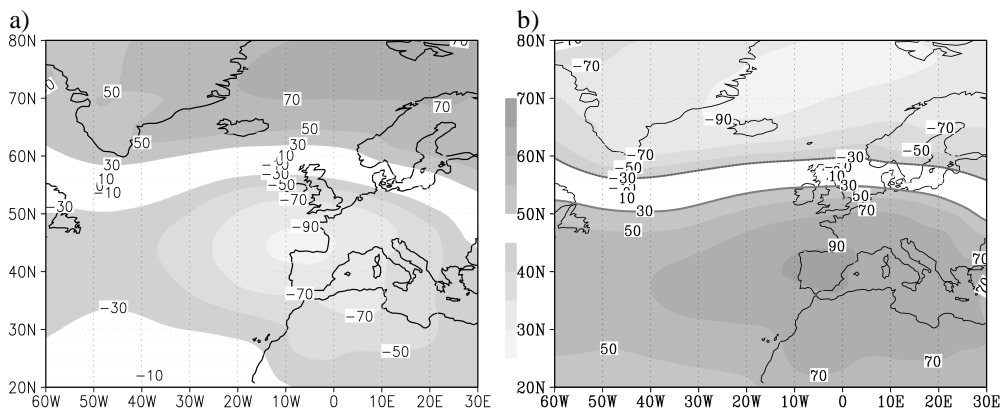


Fig 2. a) Mapa de correlación (%) heterogénea entre el PC1 de la precipitación para datos NNR y la presión al nivel del mar; b) Primer modo de variación de la presión o EOF1 (48%) de las series de invierno para datos NNR.

Para indicar esta asociación entre la precipitación y la presión se muestra en la Figura 2 el patrón de correlación heterogénea entre el PC1 de precipitación del reanálisis (NNR) y el campo de presión y el primer modo de variación de la presión, que lleva asociada un 48% de la varianza total de la SLP, para las series de invierno.

La comparación de las Figuras 2a y 2b nos permite justificar la utilización del modo de variación de la SLP para caracterizar las variaciones de precipitación. Además, la configuración espacial se asemeja al patrón característico de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Nos centraremos en el estudio de esta variable porque tiene un significado dinámico bien establecido: como ya mencionamos anteriormente, diversos estudios han encontrado relaciones entre la precipitación de invierno en la Península Ibérica e índices como la NAO, la AO (Oscilación del Ártico), EA (patrón del Este del Atlántico) y patrón de Escandinavia (SCAND). Además de los trabajos de las autoras de este texto ya mencionados, en esta línea podemos destacar los trabajos de (RODRÍGUEZ-FONSECA y SERRANO, 2002), que obtuvieron que los patrones NAO, EA y SCA son los que explican la mayor variabilidad de la precipitación en la Península Ibérica; los trabajos de (QIAN *et al*, 2000), que analizaron las relaciones entre los patrones de variabilidad de presión al nivel del mar en el Atlántico y Europa con la precipitación en Europa; también (QUADRELLI *et al*, 2001) caracterizaron la precipitación en el área Mediterránea, obteniendo que la mayor parte de la varianza la describen la NAO y EA. (HAYLOCK y GOODESS, 2004) relacionaron el índice número consecutivo de días secos con la circulación, obteniendo que la NAO es el patrón de circulación que más contribuye a explicar la variación de los índices de extremos de precipitación. También (TRIGO *et al*, 2004) y (GALLEGO *et al*, 2005) investigaron la influencia de la NAO en la precipitación de la Península Ibérica.

En la Figura 3 se representa la evolución temporal del PC1 de SLP correspondiente a la serie anual. Podemos ver como esta serie temporales presenta una tendencia creciente que es muy significativa según el test Z de Mann-Kendall (3.4).

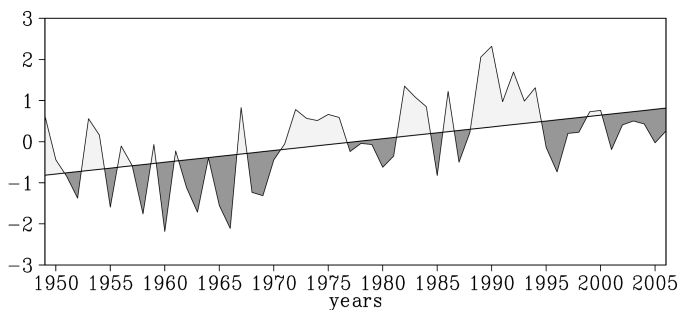


Fig 3. PC1 de presión al nivel del mar para datos del reanálisis

3. 2. Tendencia de la presión al nivel del mar de los modelos del siglo XX

La correspondencia entre los modelos y los datos del reanálisis se lleva a cabo en el primer modo de variación de la presión al nivel del mar (EOF1) de las series anuales. El estudio se ha realizado para 15 modelos pero presentamos los resultados para aquellos modelos que

presentan un comportamiento más cercano al de los datos de reanálisis. Hemos utilizado unos tests indicadores del error espacial como el coeficiente de correlación espacial y el error cuadrático medio (RMS). Los resultados de estos test junto con la varianza asociada a los modos de variación y la tendencia se muestran en la Tabla 1.

Modelo	Correlación espacial con el EOF1 de NNR	Varianza asociada al EOF1 (%)	RMS respecto al EOF1 de NNR	Coefficiente de tendencia Z de Mann-Kendall
BCCR-BCM2.0	0.97	54	0.20	-0.77
CCSM3	0.96	47	0.26	-1.13
UKMO-HadCM3	0.98	45	0.15	0.38
UKMO-HadGEM1	0.98	45	0.18	0.97
IPSL-CM4	0.97	47	0.21	0.76
MIROC3.2 (medres)	0.97	47	0.22	1.10
MRI-CGCM2.3.2	0.97	55	0.18	0.43
GFDL-CM2.1	0.93	47	0.26	0.84

Tabla 1. CORRELACIÓN ESPACIAL ENTRE EL EOF1 DE SLP DE LOS MODELOS Y EL EOF1 DE SLP DEL NNR, VARIANZA ASOCIADA A DICHO EOF1, ERROR CUADRÁTICO MEDIO RESPECTO A LA CONFIGURACIÓN DE LOS DATOS NNR Y VALORES DEL TEST Z DE MANN-KENDALL APLICADO AL PC1 DE SLP DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS PARA EL SIGLO XX.

Los resultados de la tendencia de los PC1 correspondientes al primer modo de variación de la SLP de los modelos indican que los modelos climáticos producen tendencias inferiores de la correspondiente a los datos de reanálisis y por lo tanto subestimarán la tendencia decreciente observada en la precipitación de la Península Ibérica.

3. 3. Tendencia de la presión al nivel del mar de los modelos para el siglo XXI

Considerando los modelos que mejor caracterizan el primer modo de variación de SLP se ha elaborado un multi-modelo para los escenarios A1B, A2 y B1 del clima del siglo XXI. Hemos obtenido el primer modo de variación correspondiente al multi-modelo de los diferentes escenarios. El multi-modelo es capaz de representar la distribución espacial del modo de variación correspondiente a los datos de reanálisis y también observamos que los distintos escenarios presentan una tendencia creciente. Los resultados de tendencia para los este escenarios considerados, medidos mediante el test Z de Mann-Kendall, se presentan en la Tabla 2.

	A2	A1B	B1
Multi-modelo	1.7	2.3	1.7

Tabla 2. VALORES DEL TEST DE MANN-KENDALL Z APLICADO AL PC1 DE SLP DEL MULTIMODELO CORRESPONDIENTE A LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS.

Los resultados indican que el escenario A1B es el que presenta tendencia creciente más significativa. La Figura 4 muestra el PC1 no solo de los multi-modelos del siglo XX sino del multi-modelo correspondiente al siglo XX y de los datos de reanálisis. En esta figura se observa la tendencia creciente de los tres escenarios y la ocurrencia de algunos años extremos positivos para el PC1 de SLP. A partir de este resultado deducimos el impacto negativo que cambio climático produciría en el régimen de precipitación en la península Ibérica y en la intensificación de las sequías.

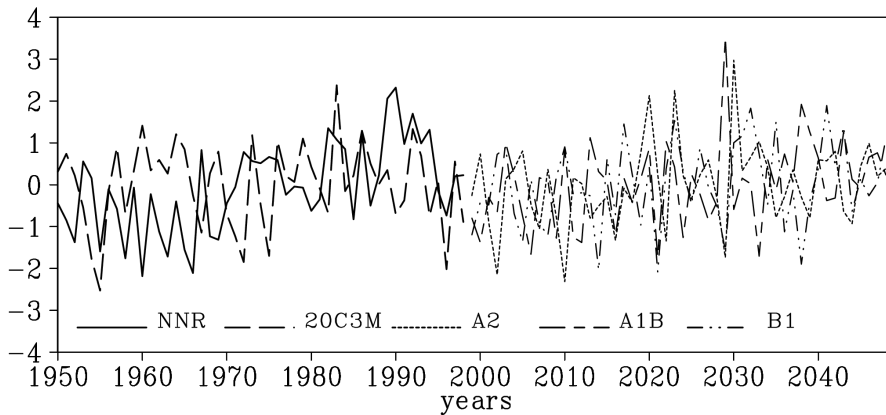


Fig 4. PC1 de presión al nivel del mar para datos del reanálisis y el multi-modelo correspondiente a los periodos del siglo XX y siglo XXI.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo analizan la tendencia decreciente de la precipitación en la península Ibérica mediante el estudio del modo de variación de la presión al nivel del mar que presenta mayor asociación con las variaciones de precipitación. Obtenemos tendencias crecientes para la presión en los datos de reanálisis, pero estos valores de tendencia están infra estimados por los modelos climáticos correspondientes a las simulaciones del siglo XX. Sin embargo, los escenarios futuros muestran la tendencia creciente del modo de variación de la presión, así como la ocurrencia de algunos extremos. Esta tendencia creciente es más significativa para el escenario A1B.

En este trabajo hemos analizado el modo de variación de la precipitación con más varianza asociada. Sin embargo el comportamiento de una variable compleja y fuertemente aleatoria como es la precipitación en la Península Ibérica requiere un análisis de otros patrones, los cuales estarían asociados con otros índices más específicos (MARTÍN-VIDE y LOPEZ-BUSTINS, 2006). Los resultados de este estudio son básicos para aplicar los métodos de “downscaling” de las salidas de los modelos climáticos globales a las características propias de las regiones de estudio pues, si bien los modelos reproducen bastante bien las principales características de los patrones a gran escala, como es el caso de la NAO, no poseen el mismo grado de acuerdo para la descripción de los comportamientos locales, lo cual dificulta la tarea de extraer conclusiones sobre el cambio climático y sus consecuencias a escala local.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los grupos modelizadores, al PCDMI (*Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison*) y al WGCM (*WCRP's Working Group on Coupled Modelling*) por su papel en la disponibilidad de los datos de los modelos del CMIP3, así como al NCEP/NCAR por los datos del reanálisis. Este trabajo ha sido posible gracias a diversos proyectos tanto nacionales como autonómicos, actualmente los proyectos del MEC *CGL2005-06600-CO3-01/CLI* y de la Junta de Castilla y León *SA039/A05*. Queremos agradecer también la labor de los desarrolladores de software específico, como CDAT, Python, Pyclimate y herramientas como GrADS etc.

6. REFERENCIAS

- BARSTON, A.G. and LIVEZEY, R.E. (1987). Classification, seasonality and persistence of low- frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review* **115**, 1083-1126.
- CHATFIELD, C. (1980). *The analysis of time series, an introduction*. Chapman and Hall.
- GALLEGO, M., GARCÍA, J. and VAQUERO, J. (2005). The NAO signal on daily rainfall series over the Iberian peninsula. *Climate Research*, **29**, 103-109.
- HAYLOCK, M. and GOODESS, C. (2004). Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, **24**, 759-776
- HURRELL, J.W. (1995). Decadal trends in North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, **264**, 676-679
- HURRELL, J.W. and VAN LOON, H. (1997). Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change* **36**, 301-326.
- JOLLIFE, I.T. (2002). *Principal Component Analysis*. Springer.
- KALNAY, E. *et al.* (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 437-470.
- KISTLER R., *et al.* (2001). The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **82**, 247-268.
- MARTIN-VIDE, J. and LOPEZ-BUSTINS, J.A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, **26**, 1455-1475.
- NAKICENOVIC, N. and SWART, R., eds., (2000). *Emissions Scenarios, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, UK. pp 570
- NIETO, S. and RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. (2006). Comparison of precipitation from observed data and general circulation models over the Iberian peninsula. *Journal of Climate*, **19**, 4254-4275
- NIETO, S., FRÍAS, M. and RODRÍGUEZ-PUEBLA, C. (2004). Assessing two different climatic models and the NCEP-NCAR reanalysis data for the description of winter precipitation in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, **24**, 361-376.
- PREISENDORFER, R.W. and MOBLEY, C.B. (1988). *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. Elsevier Science Publishers.
- PRESS W.H., TEUKOLSKY, S.A, VETTERLING, W.T. and FLANNERY, B.P. (1996) *Numerical Recipes in Fortran 77. The art of Scientific Computing*. Cambridge University Press.

- QIAN, B., CORTE-REAL, J. and XU, H. (2000). Is the North Atlantic Oscillation the most important atmospheric pattern for precipitation in Europe?. *Journal of Geophysical Research*, **105 NO D9**, 11,901-11,910.
- QUADRELLI, R., PAVAN, V. and MOLteni, F. (2001). Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies. *Climate Dynamics*, **17**, 457-466.
- RODRÍGUEZ-FONSECA, B. and SERRANO, E. (2002). Winter 10-day coupled patterns between geopotential height and Iberian Peninsula rainfall using the ECMWF precipitation reanalysis. *Journal of Climate*, **15**, 1309-1321.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A., NIETO, S. and GARMENDIA, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, **18**, 299-316.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., ENCINAS, A. and SÁENZ, J. (2001). Winter precipitation over the Iberian Peninsula and its relationship to circulation indices. *Hydrological Earth Systems Science*, **5**, 233-244.
- TRIGO, R. M., POZO, D., OSBORN, T. J., CASTRO, Y., GAMIZ, S. and ESTEBAN, M. (2004). North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, **24**, 925-944.
- VALERO, F., LUNA, M., MARTÍN, M., MORATA, A. and GONZÁLEZ-ROUCO, F. (2004). Coupled modes of large-scale climatic variables and regional precipitation in the western Mediterranean in autumn. *Climate Dynamics*, **22**, 307-323.
- VICENTE-SERRANO, S.M. (2006). Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000). *Hydrological Sciences Journal*, **51**, 83-97
- VICENTE-SERRANO, S.M. and CUADRAT, J.M. (2007). North Atlantic oscillation control of droughts in north-east Spain: evaluation since 1600 AD. *Climatic Change*, **85**, 357-379.
- VON STORCH, H. (1995). *Spatial patterns: EOFs and CCA*. in: VON STORCH, H. and NAVARRA, A. (eds.). *Analysis of climate variability*, Springer-Verlag.
- WILKS, D., (ed.), (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, IGS, 2 Ed.
- WU Q. and STRAUS, D.M. (2004). AO, COWL, and observed climate trends. *Journal of Climate*. **17**, 2139-2156